



APÉNDICE A.
TABLAS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA DE LOS ANILLOS DE
LA RED.

ANILLO A			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-A(1-2)	TORRE DE RECTORÍA	750

ANILLO B			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-B1	BIBLIOTECA CENTRAL	500
2	2SD-B1	DIRECCIÓN GENERAL DE CCH	150
SUBTOTAL			650
3	3SD-B2	CONSEJOS ACADÉMICOS (PUNTO N/A)	225
4	4SD-B2	ESTADIO DE PRÁCTICAS	300
5	5SD-B2	FRONTÓN CERRADO	150
6	6SD-B2	ESCUELA NACIONAL DE TRABAJO SOCIAL	225
SUBTOTAL			900
TOTAL			1550



ANILLO C			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-C1	FACULTAD DE ARQUITECTURA I	500
2	2SD-C1	FACULTAD DE ARQUITECTURA II	500
3	3SD-C1	CENTRO MÉDICO	225
4	4SD-C1	ALBERCA OLÍMPICA	300
5	5SD-C1	FACULTAD DE QUÍMICA C, POZO 1	225
			150
6	6SD-C1	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS II	500
7	7SD-C1	FACULTAD DE QUÍMICA B	500
8	8SD-C1	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS I	500
9	9SD-C1	VIVERO BAJO	112.5
SUBTOTAL			3512.5
10	10SD-C2	TORRE DE INGENIERÍA (PUNTO N/A)	500
11	11SD-C2	NAVE HIDRÁULICA	750
12	12SD-C2	FACULTAD DE INGENIERÍA, DIV. DE EST. DE POSGRADO B Y C	225
13	13SD-C2	INSTITUTO DE INGENIERÍA, EDIF. 12 Y 18	225
14	14SD-C2	FACULTAD DE INGENIERÍA, DIV. DE EST. DE POSGRADO A	112.5
15	15SD-C2	FACULTAD DE INGENIERÍA, VALDÉS VALLEJO	225
			1000
16	16SD-C2	FACULTAD DE INGENIERÍA, ANEXO TALLERES	300
17	17SD-C2	LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS	225
18	18SD-C2	FACULTAD DE INGENIERÍA, ANEXO	300
19	19SD-C2	FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN, EDIF. DE INFO.	150
20	20SD-C2	FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN	500
SUBTOTAL			4512.5
TOTAL			8025



ANILLO D			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-D1	INSTITUTO DE INGENIERÍA 1 Y 2	500
			112.5
2	2SD-D1	IIMAS	300
3	3SD-D1	FACULTAD DE VETERINARIA I	500
4	4SD-D1	INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA	500
5	5SD-D1	FACULTAD DE VETERINARIA II	500
6	6SD-D1	INSITTUTO DE FISIOLÓGÍA, BIOTERIO	300
SUBTOTAL			2712.5
7	7SD-D2	INSTITUTO DE FISIOLÓGÍA CELULAR, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS (PUNTO N/A)	1000
8	8SD-D2	INSTITUTO DE FISIOLÓGÍA CELULAR	500
9	9SD-D2	INSTITUTO DE QUÍMICA B	300
10	10SD-D2	INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES	750
11	11SD-D2	FACULTAD DE CIENCIAS I Y II	750
			500
SUBTOTAL			3800
TOTAL			6512.5



ANILLO E			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-E1	TORRE DE HUMANIDADES I, F. DE FILOSOFÍA Y LETRAS	500
2	2SD-E1	F. DE FILOSOFIA Y LETRAS, BIBLIOTECA SAMUEL RAMOS	112.5
3	3SD-E1	FACULTAD DE DERECHO, BIBLIOTECA ANTONIO CASO	112.5
4	4SD-E1	FACULTAD DE DERECHO	300
5	5SD-E1	FACULTAD DE ECONOMÍA	500
6	6SD-E1	FACULTAD DE DERECHO, ANEXO	225
7	7SD-E1	TORRE DE HUMANIDADES II	300
8	8SD-E1	UNIDAD DE POSGRADO	500
9	9SD-E1	FACULTAD DE INGENIERÍA	500
10	10SD-E1	DISEÑO INDUSTRIAL	150
11	11SD-E1	FACULTAD DE QUÍMICA A	500
12	12SD-E1	CELE	225
SUBTOTAL			3925
13	13SD-E2	INSTITUTO DE FÍSICA (PUNTO N/A)	500
14	14SD-E2	FACULTAD DE CIENCIAS, AMOXCALLI	750
			225
15	15SD-E2	QUÍMICA D, AULAS	225
16	16SD-E2	QUÍMICA D, TALLERES	225
17	17SD-E2	FACULTAD DE CIENCIAS, TLAHUISCALPAN	500
			500
18	18SD-E2	QUÍMICA E, GOBIERNO	300
19	19SD-E2	QUÍMICA E, ALIMENTOS	500
20	20SD-E2	POSGRADO DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN	225
SUBTOTAL			3950
TOTAL			7875



ANILLO F			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-F1	FACULTAD DE MEDICINA B Y C	500
2	2SD-F1	FACULTAD DE MEDICINA D	750
3	3SD-F1	FACULTAD DE MEDICINA, INVESTIGACIÓN	500
			225
4	4SD-F1	INSTITUTO DE GEOFÍSICA	500
5	5SD-F1	INSTITUTO DE GEOLOGÍA	300
6	6SD-F1	PLANTA HOMOGENIZADORA	112.5
7	7SD-F1	INSTITUTO DE GEOGRAFÍA	500
8	8SD-F1	UNIDAD DE BIBLIOTECAS	750
SUBTOTAL			4137.5
9	9SD-F2	GEOS (PUNTO N/A)	225
10	10SD-F2	INSTITUTO DE QUÍMICA A	300
11	11SD-F2	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES II	1000
12	12SD-F2	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES I	500
13	13SD-F2	DGSCA	1000
14	14SD-F2	CCADET	300
15	15SD-F2	CUAED	225
SUBTOTAL			3550
TOTAL			7687.5



ANILLO G			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-G1	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA II, CAFETERÍA	225
2	2SD-G1	FACULTAD DE ODONTOLOGIA B, SÓTANO	500
3	3SD-G1	FACULTAD DE MEDICINA A, AUTOCLAVE	225
4	4SD-G1	FACULTAD DE MEDICINA A	500
			150
5	5SD-G1	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	750
6	6SD-G1	FACULTAD DE MEDICINA, DPTO. DE PSIQ. Y SALUD MENTAL	75
7	7SD-G1	UNIDAD DE SERVICIOS DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN	750
SUBTOTAL			3175
8	8SD-G2	FACULTAD DE ODONTOLOGÍA, POSGRADO (PUNTO N/A)	500
9	9SD-G2	BIBLIOTECA DE VETERINARIA	150
10	10SD-G2	DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR	225
11	11SD-G2	FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES	500
12	12SD-G2	FILMOTECA UNAM	500
13	13SD-G2	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA Y ALUMBRADO	112.5
14	14SD-G2	TIENDA DE AUTOSERVICIO UNAM	1000
15	15SD-G2	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS	150
SUBTOTAL			3137.5
TOTAL			6312.5



ANILLO H			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-H1	FACULTAD DE PSICOLOGÍA A	225
2	2SD-H1	POSGRADO DE PSICOLOGÍA	500
SUBTOTAL			725
3	3SD-H1	FACULTAD DE PSICOLOGÍA B Y C (PUNTO N/A)	150
4	4SD-H1	DIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES	750
SUBTOTAL			900
TOTAL			1625



ANILLO I			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-I5	DIRECCION GENERAL DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS	225
2	2SD-I5	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN	112.5
3	3SD-I5	DIRECCIÓN GENERAL DE PERSONAL (NODO N/A)	112.5
SUBTOTAL			450
4	4SD-I5	TALLERES DE CONSERVACIÓN	500
SUBTOTAL			500
TOTAL			950



ANILLO J			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-J4	INCINERADOR DE BASURA	112.5
			75
2	2SD-J4	INVESTIGACIÓN Y MEDICINA DEL DEPORTE	150
3	3SD-J4	BOMBAS TANQUE BAJO	150
			75
4	4SD-J4	MULTIFAMILIAR	112.5
5	5SD-J4	BOMBAS DE RIEGO	112.5
6	6SD-J4	JARDÍN BOTÁNICO EXTERIOR (NODO N/A)	75
SUBTOTAL			787.5
7	7SD-J4	VIVERO ALTO, CABAÑA	75
8	8SD-J4	VIVERO ALTO, POZO 3	300
9	9SD-J4	UNIDAD DE SEMINARIOS	75
10	10SD-J4	MESA VIBRADORA	500
SUBTOTAL			950
TOTAL			1737.5



ANILLO K			
No.	Nomenclatura	Dependencia	Capacidad [kVA]
1	1SD-K4	INSTITUTO DE BIOMÉDICAS, BIOTERIO	?
2	2SD-K4	INSTITUTO DE BIOMÉDICAS	1000
			750
3	3SD-K4	INSTITUTO DE BIOMÉDICAS, GOBIERNO	500
SUBTOTAL			2250
4	7SD-J4	INSTITUTO DE ECOLOGÍA (NODO N/A)	225
5	8SD-J4	INSTITUTO DE BIOLOGÍA A Y B	225
6	9SD-J4	INSTITUTO DE BIOLOGÍA C Y D	225
7	10SD-J4	INSTITUTO DE BIOLOGÍA, BOTÁNICO	112.5
SUBTOTAL			787.5
TOTAL			3037.5

APENDICE B.

IMPEDANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO PARA LOS
DISTINTOS ARREGLOS DE LOS CABLES.

B.1. Caso 2: Dos circuitos en dos bancos de ductos.

B.1.1. Cálculo de impedancias de secuencia positiva y negativa.

El arreglo que presenta este caso se muestra en la Figura No. B.1:

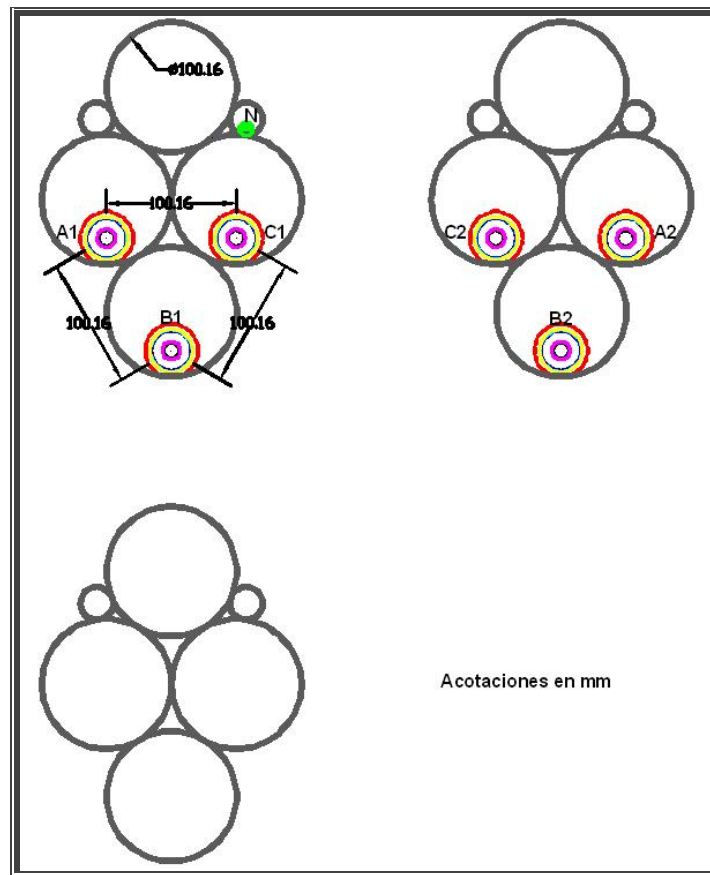


Figura No. B.1. Arreglo de dos circuitos en un banco de ductos.



Donde:

$$d_{A_1B_1} = d_{A_1C_1} = d_{B_1C_1} = d_{A_2B_2} = d_{A_2C_2} = d_{B_2C_2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B_1-PA_1} = d_{C_1-PA_1} = d_{A_1-PB_1} = d_{C_1-PB_1} = d_{A_1-PC_1} = d_{B_1-PC_1} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B_2-PA_2} = d_{C_2-PA_2} = d_{A_2-PB_2} = d_{C_2-PB_2} = d_{A_2-PC_2} = d_{B_2-PC_2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB_1-PA_1} = d_{PC_1-PA_1} = d_{PC_1-PB_1} = d_{PB_2-PA_2} = d_{PC_2-PA_2} = d_{PA_2-PB_2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{A_1-A_2} = d_{PA_1-PA_2} = d_{A_1-PA_2} = d_{PA_1-A_2} = 400.64 \text{ [mm]}$$

$$d_{B_1-A_2} = d_{PB_1-PA_2} = d_{B_1-PA_2} = d_{PB_1-A_2} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{C_1-A_2} = d_{PC_1-PA_2} = d_{C_1-PA_2} = d_{PC_1-A_2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{A_1-B_2} = d_{PA_1-PB_2} = d_{A_1-PB_2} = d_{PA_1-B_2} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{B_1-B_2} = d_{PB_1-PB_2} = d_{B_1-PB_2} = d_{PB_1-B_2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{C_1-B_2} = d_{PC_1-PB_2} = d_{C_1-PB_2} = d_{PC_1-B_2} = 265 \text{ [mm]}$$

$$d_{A_1-C_2} = d_{PA_1-PC_2} = d_{A_1-PC_2} = d_{PA_1-C_2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{B_1-C_2} = d_{PB_1-PC_2} = d_{B_1-PC_2} = d_{PB_1-C_2} = 265.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{C_1-C_2} = d_{PC_1-PC_2} = d_{C_1-PC_2} = d_{PC_1-C_2} = 200.32 \text{ [mm]}$$

$$d_{A_1N} = d_{PA_1-N} = 136.9 \text{ [mm]}, d_{B_1N} = d_{PB_1-N} = 180.75 \text{ [mm]}, d_{C_1N} = d_{PC_1-N} = 84.78 \text{ [mm]}$$

$$d_{A_2N} = d_{PA_2-N} = 304.81 \text{ [mm]}, d_{B_2N} = d_{PB_2-N} = 297.07 \text{ [mm]},$$

$$d_{C_2N} = d_{PC_2-N} = 210.41 \text{ [mm]}$$



B.1.1.1. Cálculo de la resistencia en corriente alterna del conductor a la temperatura de operación (90°C):

El valor de la resistencia es el mismo obtenido en la sección 4.1.1.1. Entonces:

$$R_{ca} = 0.2097 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.1.1.2. Cálculo de la reactancia inductiva del cable.

Para los cálculos de la parte reactiva de las impedancias de secuencia se sigue el mismo procedimiento descrito en la sección 4.1.1, con algunas modificaciones ya que se presentan dos circuitos afectando el cálculo de la reactancia inductiva (X_L). La expresión matemática para calcular la reactancia inductiva en este caso es la siguiente:

$$X_L = 0.0753 \ln \frac{DMG_{6C}}{RMG_{6C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.1})$$

Donde:

DMG_{6C} = Distancia Media Geométrica de los 6 conductores agrupados en [mm].

RMG_{6C} = Radio Medio Geométrico de los 6 conductores agrupados en [mm].

La DMG_{6C} se puede calcular de la siguiente forma:



$$DMG_{6C} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{BC}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.2})$$

Donde:

$$d_{AB} = \sqrt[4]{d_{A1B1} \cdot d_{A1B2} \cdot d_{A2B1} \cdot d_{A2B2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.3})$$

$$d_{AB} = \sqrt[4]{(100.16)(361.13)(361.3)(100.16)} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AB} = 190.2086 \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AC} = \sqrt[4]{d_{A1C1} \cdot d_{A1C2} \cdot d_{A2C1} \cdot d_{A2C2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.4})$$

$$d_{AC} = \sqrt[4]{(100.16)(300.48)(300.48)(100.16)} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AC} = 173.4822 \quad [\text{mm}]$$

$$d_{BC} = \sqrt[4]{d_{B1C1} \cdot d_{B1C2} \cdot d_{B2C1} \cdot d_{B2C2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.5})$$

$$d_{BC} = \sqrt[4]{(100.16)(265.16)(265)(100.16)} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{BC} = 162.9430 \quad [\text{mm}]$$

Así, sustituyendo en la Ec. B.2:

$$DMG_{6C} = \sqrt[3]{(190.2086)(173.4822)(162.9430)} \quad [\text{mm}]$$

$$DMG_{6C} = 175.1890 \quad [\text{mm}]$$



El RMG_{6C} se calcula de la siguiente forma:

$$RMG_{6C} = \sqrt[3]{RMG_A \cdot RMG_B \cdot RMG_C} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.6})$$

Donde:

$$RMG_A = \sqrt{RMG_{1C} \cdot d_{A1A2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.7})$$

$$RMG_A = \sqrt{(4.5859)(400.64)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_A = 42.8637 \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_B = \sqrt{RMG_{1C} \cdot d_{B1B2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.8})$$

$$RMG_B = \sqrt{(4.5859)(300.48)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_B = 37.1210 \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_C = \sqrt{RMG_{1C} \cdot d_{C1C2}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.9})$$

$$RMG_C = \sqrt{(4.5859)(200.32)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_C = 30.3092 \quad [\text{mm}]$$

Sustituyendo en la Ec. B.6:

$$RMG_{6C} = \sqrt[3]{(42.8637)(37.1210)(30.3092)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_{6C} = 36.3994 \quad [\text{mm}]$$



Sustituyendo en la Ec. B.1:

$$X_L = 0.0753 \ln\left(\frac{175.1890}{36.3994}\right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_L = 0.1185 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

De la misma forma que en la sección 4.1.1.2 se corrigió el valor de la resistencia y reactancia inductiva por medio de las Ec. 4.9 y Ec. 4.10 debido al efecto de las corrientes que circulan por la pantalla metálica se tiene:

$$X_m = 0.0754 \ln \frac{DMG_{6P}}{RM_{1P}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.10})$$

Donde:

$$R_P = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$DMG_{6P} = 175.1890 \text{ [mm]}$$

$$RM_{1P} = 32.6215 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.10:

$$X_m = 0.0754 \ln\left(\frac{175.1890}{32.6215}\right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



$$X_m = 0.1267 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Sustituyendo los valores de R_p y X_m en las Ec. 4.9 y 4.10:

$$R_A = 0.2097 + \frac{(0.1267)^2(7.2440)}{0.1267^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_A = 0.2119 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_{LA} = 0.1185 - \frac{0.1267^3}{0.1267^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_{LA} = 0.1184 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto las impedancias de secuencia positiva y negativa son:

$$Z_{1,2} = 0.2119 + j0.1184 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.1.2. Cálculo de la impedancia de secuencia cero.

El procedimiento para calcular la impedancia de secuencia cero será similar al realizado en la sección 4.1.2.



B.1.2.1. Cálculo de Z_c .

De la Ec. 4.14 se sabe que:

$$Z_c = R_{1,2} + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{RMG_{6C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$R_{1,2} = 0.2119 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_e = 0.178 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$RMG_{6C} = 36.3994 \text{ [mm]}$$

$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.14, se tiene:

$$Z_c = 0.2119 + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8.53 \times 10^3)}{36.3994} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_c = 0.3899 + j2.7972 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.1.2.2. Cálculo de Z_p .



De la Ec. 4.15 se sabe que:

$$Z_p = 3 \left(\frac{R_p}{n} \parallel \frac{R_n}{m} \right) + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000 D_e}{RM_{6P-N}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$RM_{6P-N} = \sqrt[4]{RM_{6P} \cdot RM_{GN} (DMG_{6P-N})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.11})$$

$$R_p = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_n = 0.333 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

$$RM_{6P} = \sqrt[3]{RM_{1P} \cdot DMG_{6P}^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.12})$$

$$RM_{6P} = \sqrt[3]{\frac{32.3 + 32.943}{2} (175.1890)^2} \text{ [mm]}$$

$$RM_{6P} = 100.0397 \text{ [mm]}$$

$$RM_{GN} = 4.0288 \text{ [mm]}$$

$$DMG_{6P-N} = \sqrt[6]{d_{PA1-N} \cdot d_{PB1-N} \cdot d_{PC1-N} \cdot d_{PA2-N} \cdot d_{PB2-N} \cdot d_{PC2-N}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.13})$$

$$DMG_{6P-N} = \sqrt[6]{(136.9)(180.63)(84.78)(304.81)(297.07)(210.41)} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{6P-N} = 184.8872 \text{ [mm]}$$



Sustituyendo en la Ec. B.11:

$$RM_{6P-N} = \sqrt[4]{(100.0397)(4.0288)(184.8872)^2} \text{ [mm]}$$

$$RM_{6P-N} = 60.9242 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.15, se tiene:

$$Z_p = 3 \left(\frac{7.2440}{6} \parallel 0.333 \right) + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{60.9242} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_p = 0.9611 + j2.6806 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.1.2.3. Cálculo de Z_m .

De la Ec. 4.16 se sabe que:

$$Z_m = R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{DMG_{6C-6P-N}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$DMG_{6C-6P-N} = \sqrt[5]{RMG_{6C} \cdot RM_{6P} \cdot RMG_N (DMG_{6CPN})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.14})$$

$$RMG_{6C} = 36.3994 \text{ [mm]}$$



$$RM_{6P} = 100.0397 \text{ [mm]}$$

$$RMG_N = 4.0288 \text{ [mm]}$$

$$DMG_{6CPN} = \sqrt[72]{d_{A1B1}^{24} \cdot d_{A1A2}^4 \cdot d_{B1A2}^8 \cdot d_{C1A2}^{12} \cdot d_{C1B2}^4 \cdot d_{B1C2}^4 \cdot d_{C1C2}^4 \cdot d_{A1N}^2 \cdot d_{C1N}^2 \cdot d_{B1N}^2 \cdot d_{A2N}^2 \cdot d_{C2N}^2 \cdot d_{B2N}^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.15})$$

$$DMG_{6CPN} = \sqrt[72]{100.16^{24} \cdot 400.64^4 \cdot 361.3^8 \cdot 300.48^{12} \cdot 265^4 \cdot 265.16^4 \cdot 200.32^4 \cdot 136.9^2 \cdot 180.63^2 \cdot 84.78^2 \cdot 304.81^2 \cdot 297.07^2 \cdot 210.41^2} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{6CPN} = 192.4444 \text{ [mm]}$$

Entonces:

$$DMG_{6C-6P-N} = \sqrt[5]{36.3994 \cdot 100.0397 \cdot 4.0288 \cdot (192.4444)^2} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{6C-6P-N} = 55.8135 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.16, se tiene:

$$Z_m = 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{55.8135} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_m = 0.1780 + j2.7005 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Finalmente para calcular la impedancia de secuencia cero, se sustituyen los valores de Z_m , Z_P y Z_C en la Ec. 4.13, se tiene:



$$Z_0 = 0.3899 + j2.7972 - \frac{(0.1780 + j2.7005)^2}{0.9611 + j2.6806} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto la impedancia de secuencia cero es:

$$Z_0 = 0.9327 + j0.2831 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.2. Caso 3: Tres circuitos en tres bancos de ductos.

B.2.1. Cálculo de impedancias de secuencia positiva y negativa.

El arreglo que presenta este caso se muestra en la Figura No. B.2:

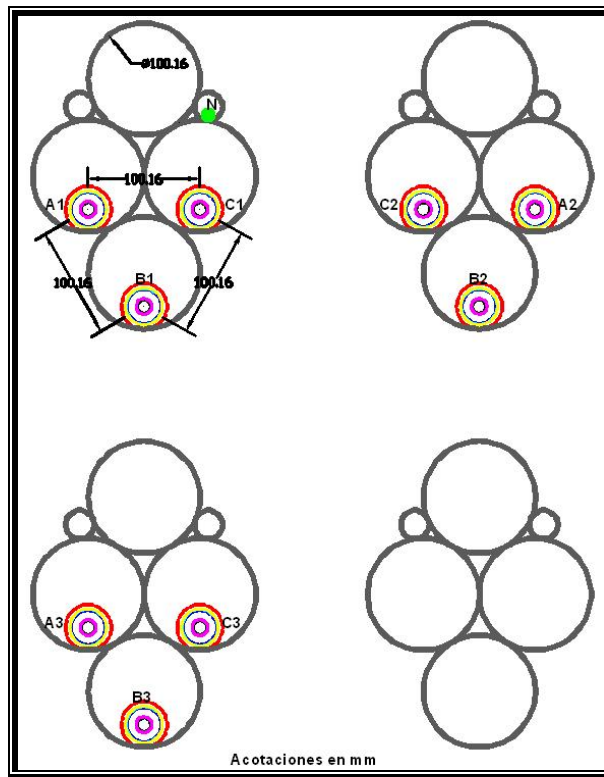


Figura No. B.2. Arreglo de tres circuitos en un banco de ductos.

Donde:

$$d_{A1B1} = d_{A1C1} = d_{B1C1} = d_{A2B2} = d_{A2C2} = d_{B2C2} = d_{A3B3} = d_{A3C3} = d_{B3C3} = 100.16 \text{ [mm]}$$



$$d_{B1-PA1} = d_{C1-PA1} = d_{A1-PB1} = d_{C1-PB1} = d_{A1-PC1} = d_{B1-PC1} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-PA2} = d_{C2-PA2} = d_{A2-PB2} = d_{C2-PB2} = d_{A2-PC2} = d_{B2-PC2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B3-PA3} = d_{C3-PA3} = d_{A3-PB3} = d_{C3-PB3} = d_{A3-PC3} = d_{B3-PC3} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB1-PA1} = d_{PC1-PA1} = d_{PC1-PB1} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB2-PA2} = d_{PC2-PA2} = d_{PC2-PB2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB3-PA3} = d_{PC3-PA3} = d_{PC3-PB3} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-A2} = d_{PA1-PA2} = d_{A1-PA2} = d_{PA1-A2} = 400.64 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-A2} = d_{PB1-PA2} = d_{B1-PA2} = d_{PB1-A2} = 361.3 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-A2} = d_{PC1-PA2} = d_{C1-PA2} = d_{PC1-A2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-B2} = d_{PA1-PB2} = d_{A1-PB2} = d_{PA1-B2} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-B2} = d_{PB1-PB2} = d_{B1-PB2} = d_{PB1-B2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-B2} = d_{PC1-PB2} = d_{C1-PB2} = d_{PC1-B2} = 265 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-C2} = d_{PA1-PC2} = d_{A1-PC2} = d_{PA1-C2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-C2} = d_{PB1-PC2} = d_{B1-PC2} = d_{PB1-C2} = 265.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-C2} = d_{PC1-PC2} = d_{C1-PC2} = d_{PC1-C2} = 200.32 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-A3} = d_{PA1-PA3} = d_{A1-PA3} = d_{PA1-A3} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-A3} = d_{PB1-PA3} = d_{B1-PA3} = d_{PB1-A3} = 291.4 \text{ [mm]}$$



$$d_{C1-A3} = d_{PC1-PA3} = d_{C1-PA3} = d_{PC1-A3} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-B3} = d_{PA1-PB3} = d_{A1-PB3} = d_{PA1-B3} = 463.26 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-B3} = d_{PB1-PB3} = d_{B1-PB3} = d_{PB1-B3} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-B3} = d_{PC1-PB3} = d_{C1-PB3} = d_{PC1-B3} = 463.26 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-C3} = d_{PA1-PC3} = d_{A1-PC3} = d_{PA1-C3} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-C3} = d_{PB1-PC3} = d_{B1-PC3} = d_{PB1-C3} = 291.31 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-C3} = d_{PC1-PC3} = d_{C1-PC3} = d_{PC1-C3} = 291.4 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-A3} = d_{PA2-PA3} = d_{A2-PA3} = d_{PA2-A3} = 547.94 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-A3} = d_{PB2-PA3} = d_{B2-PA3} = d_{PB2-A3} = 453.1 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-A3} = d_{PC2-PA3} = d_{C2-PA3} = d_{PC2-A3} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-B3} = d_{PA2-PB3} = d_{A2-PB3} = d_{PA2-B3} = 578.9 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-B3} = d_{PB2-PB3} = d_{B2-PB3} = d_{PB2-B3} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-B3} = d_{PC2-PB3} = d_{C2-PB3} = d_{PC2-B3} = 524.21 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-C3} = d_{PA2-PC3} = d_{A2-PC3} = d_{PA2-C3} = 479.67 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-C3} = d_{PB2-PC3} = d_{B2-PC3} = d_{PB2-C3} = 380.95 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-C3} = d_{PC2-PC3} = d_{C2-PC3} = d_{PC2-C3} = 424.09 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1N} = d_{PA1-N} = 136.9 \text{ [mm]}, d_{B1N} = d_{PB1-N} = 180.75 \text{ [mm]}, d_{C1N} = d_{PC1-N} = 84.78 \text{ [mm]}$$



$$d_{A2N} = d_{PA2-N} = 304.81 \text{ [mm]}, d_{B2N} = d_{PB2-N} = 297.07 \text{ [mm]},$$

$$d_{C2N} = d_{PC2-N} = 210.41 \text{ [mm]}, d_{A3N} = d_{PA3-N} = 470.74 \text{ [mm]},$$

$$d_{B3N} = d_{PB3-N} = 548.02 \text{ [mm]}, d_{C3N} = d_{PC3-N} = 458.3 \text{ [mm]}.$$

B.2.1.1. Cálculo de la resistencia en corriente alterna del conductor a la temperatura de operación (90°C):

El valor de la resistencia es el mismo obtenido en la sección 4.1.1.1. Entonces:

$$R_{ca} = 0.2097 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.2.1.2. Cálculo de la reactancia inductiva del cable.

Para los cálculos de la parte reactiva de las impedancias de secuencia se sigue el mismo procedimiento descrito en la sección 4.1.1, con algunas modificaciones ya que se presentan tres circuitos afectando el cálculo de la reactancia inductiva.

La expresión matemática para calcular la reactancia inductiva en este caso es la siguiente:



$$X_L = 0.0753 \ln \frac{DMG_{9C}}{RMG_{9C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.16})$$

Donde:

DMG_{9C} = Distancia Media Geométrica de los 9 conductores agrupados en [mm].

RMG_{9C} = Radio Medio Geométrico de los 6 conductores agrupados en [mm].

La DMG_{9C} se puede calcular de la siguiente manera:

$$DMG_{9C} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{BC}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.17})$$

Donde:

$$d_{AB} = \sqrt[9]{d_{A1B1} \cdot d_{A1B2} \cdot d_{A1B3} \cdot d_{A2B1} \cdot d_{A2B2} \cdot d_{A2B3} \cdot d_{A3B1} \cdot d_{A3B2} \cdot d_{A3B3}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.18})$$

$$d_{AB} = \sqrt[9]{(100.16)(361.13)(463.26)(361.3)(100.16)(578.9)(291.4)(453.1)(100.16)}$$
$$d_{AB} = 255.5136 \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AC} = \sqrt[9]{d_{A1C1} \cdot d_{A1C2} \cdot d_{A1C3} \cdot d_{A2C1} \cdot d_{A2C2} \cdot d_{A2C3} \cdot d_{A3C1} \cdot d_{A3C2} \cdot d_{A3C3}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.19})$$

$$d_{AC} = \sqrt[9]{(100.16)(300.48)(386.99)(300.48)(100.16)(479.67)(386.99)(479.6)(100.16)}$$
$$d_{AC} = 244.5266 \quad [\text{mm}]$$

$$d_{BC} = \sqrt[9]{d_{B1C1} \cdot d_{B1C2} \cdot d_{B1C3} \cdot d_{B2C1} \cdot d_{B2C2} \cdot d_{B2C3} \cdot d_{B3C1} \cdot d_{B3C2} \cdot d_{B3C3}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.20})$$

$$d_{BC} = \sqrt[9]{(100.16)(265.16)(291.31)(265)(100.16)(479.6)(463.26)(524.21)(100.16)}$$



$$d_{BC} = 237.4046 \text{ [mm]}$$

Así, sustituyendo en la Ec. B.17:

$$DMG_{9C} = \sqrt[3]{(255.5136)(244.5266)(237.4046)} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{9C} = 245.7026 \text{ [mm]}$$

El RMG_{6C} se calcula de la siguiente manera:

$$RMG_{6C} = \sqrt[3]{RMG_A \cdot RMG_B \cdot RMG_C} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.21})$$

Donde:

$$RMG_A = \sqrt[4]{RMG_{1C} \cdot d_{A1A2} \cdot d_{A1A3} \cdot d_{A2A3}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.22})$$

$$RMG_A = \sqrt[4]{(4.5859)(400.64)(373.8)(547.94)} \text{ [mm]}$$

$$RMG_A = 139.2797 \text{ [mm]}$$

$$RMG_B = \sqrt[4]{RMG_{1C} \cdot d_{B1B2} \cdot d_{B1B3} \cdot d_{B2B3}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.23})$$

$$RMG_B = \sqrt[4]{(4.5859)(300.48)(373.8)(479.6)} \text{ [mm]}$$

$$RMG_B = 125.3689 \text{ [mm]}$$

$$RMG_C = \sqrt[4]{RMG_{1C} \cdot d_{C1C2} \cdot d_{C1C3} \cdot d_{C2C3}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.24})$$



$$RMG_C = \sqrt[4]{(4.5859)(200.32)(291.4)(424.09)} \text{ [mm]}$$

$$RMG_C = 103.2224 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.21:

$$RMG_{9C} = \sqrt[3]{(139.2797)(125.3689)(103.2224)} \text{ [mm]}$$

$$RMG_{9C} = 121.6981 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.16, la reactancia inductiva del arreglo es la siguiente:

$$X_L = 0.0753 \ln\left(\frac{245.7026}{121.6981}\right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_L = 0.0530 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

De la misma forma que en la sección 4.1.1.2 se corrigió el valor de la resistencia y reactancia inductiva por medio de las Ec. 4.9 y Ec. 4.10 debido al efecto de las corrientes que circulan por la pantalla metálica se tiene:

$$X_m = 0.0754 \ln \frac{DMG_{9P}}{RM_{1P}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.25})$$

Donde:



$$R_p = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\text{DMG}_{9p} = 245.7026 \text{ [mm]}$$

$$\text{RM}_{1p} = 32.6215 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.25:

$$X_m = 0.0754 \text{Ln} \left(\frac{245.7026}{32.6215} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_m = 0.1522 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Sustituyendo los valores de R_p y X_m en las Ec. 4.9 y 4.10:

$$R_A = 0.2097 + \frac{(0.1522)^2 (7.2440)}{0.1522^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_A = 0.2129 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_{LA} = 0.0530 - \frac{0.1522^3}{0.1522^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_{LA} = 0.0529 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



Por lo tanto, las impedancias de secuencia positiva y negativa son:

$$Z_{1,2} = 0.2129 + j0.0529 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.2.2. Cálculo de la impedancia de secuencia cero.

El procedimiento para calcular la impedancia de secuencia cero será similar al realizado en la sección 4.1.2.

B.2.2.1. Cálculo de Z_c .

De la Ec. 4.14 se sabe que:

$$Z_c = R_{1,2} + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{\text{RMG}_{9C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$R_{1,2} = 0.2129 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_e = 0.178 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\text{RMG}_{9C} = 121.6981 \text{ [mm]}$$



$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.14, se tiene:

$$Z_C = 0.2129 + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{121.6981} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_C = 0.3909 + j2.5241 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.2.2.2. Cálculo de Z_p .

De la Ec. 4.15 se sabe que:

$$Z_p = 3 \left(\frac{R_p}{n} \parallel \frac{R_N}{m} \right) + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{RM_{6P-N}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$RM_{9P-N} = \sqrt[4]{RM_{9P} \cdot RM_N (DMG_{9P-N})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.26})$$

$$R_p = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_N = 0.333 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

$$RM_{9P} = \sqrt[3]{RM_{1P} \cdot DMG_{9P}^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.27})$$

$$RM_{9P} = \sqrt[3]{\frac{32.3 + 32.943}{2} (245.7026)^2} \text{ [mm]}$$

$$RM_{9P} = 125.3452 \text{ [mm]}$$

$$RMG_N = 4.0288 \text{ [mm]}$$

$$DMG_{9P-N} = \sqrt[9]{\frac{d_{PA1-N} \cdot d_{PB1-N} \cdot d_{PC1-N} \cdot d_{PA2-N} \cdot d_{PB2-N}}{d_{PC2-N} \cdot d_{PA3-N} \cdot d_{PB3-N} \cdot d_{PC3-N}}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.28})$$

$$DMG_{9P-N} = \sqrt[9]{(136.9)(180.63)(84.78)(304.81)(297.07)(210.41)(470.74)(548.02)(458.3)}$$
$$DMG_{9P-N} = 256.0006 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.26:

$$RM_{9P-N} = \sqrt[4]{(125.3452)(4.0288)(256.0006)^2} \text{ [mm]}$$

$$RM_{9P-N} = 75.8475 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.15, se tiene:

$$Z_p = 3 \left(\frac{7.2440}{9} \parallel 0.333 \right) + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{75.8474} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_p = 0.8847 + j2.6311 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



B.2.2.3. Cálculo de Z_m .

De la Ec. 4.16 se sabe que:

$$Z_m = R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{DMG_{6C-6P-N}} \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

Donde:

$$DMG_{9C-9P-N} = \sqrt[5]{RMG_{9C} \cdot RM_{9P} \cdot RMG_N (DMG_{9CPN})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.29})$$

$$RMG_{9C} = 121.6981 \text{ [mm]}$$

$$RM_{9P} = 125.3452 \text{ [mm]}$$

$$RMG_N = 4.0288 \text{ [mm]}$$

$$DMG_{9CPN} = \sqrt[160]{\begin{matrix} d_{A1B1}^{36} \cdot d_{A1A2}^4 \cdot d_{B1A2}^4 \cdot d_{C1A2}^{12} \cdot d_{A1B2}^4 \cdot d_{C1B2}^4 \cdot d_{B1C2}^4 \cdot \\ d_{C1C2}^4 \cdot d_{A1A3}^8 \cdot d_{B1A3}^8 \cdot d_{C1A3}^8 \cdot d_{B1C3}^4 \cdot d_{C1B3}^8 \cdot d_{A2A3}^4 \cdot \\ d_{B2A3}^4 \cdot d_{C2A3}^{12} \cdot d_{A2B3}^4 \cdot d_{C2B3}^4 \cdot d_{B2C3}^4 \cdot d_{C2C3}^4 \cdot d_{A1N}^2 \cdot \\ d_{C1N}^2 \cdot d_{B1N}^2 \cdot d_{A2N}^2 \cdot d_{C2N}^2 \cdot d_{B2N}^2 \cdot d_{A3N}^2 \cdot d_{C3N}^2 \cdot d_{B3N}^2 \end{matrix}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.30})$$

$$DMG_{9CPN} = \sqrt[160]{\begin{matrix} (100.16)^{36} (400.64)^4 (361.3)^4 (300.48)^{12} (361.13)^4 (265)^4 (265.16)^4 (200.32)^4 \\ (373.8)^8 (291.4)^8 (386.99)^8 (291.31)^4 (463.26)^8 (547.94)^4 (453.1)^4 (479.6)^{12} \\ (578.9)^4 (524.21)^4 (380.95)^4 (424.09)^4 (136.9)^2 (180.63)^2 (84.78)^2 (304.81)^2 \\ (297.07)^2 (210.41)^2 (470.74)^2 (548.02)^2 (458.3)^2 \end{matrix}}$$

$$DMG_{9CPN} = 287.0318 \text{ [mm]}$$



Entonces:

$$DMG_{9C-9P-N} = \sqrt[5]{36.3994 \cdot 100.0397 \cdot 4.0288 \cdot (287.0318)^2} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{9C-9P-N} = 87.2740 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.16, se tiene:

$$Z_m = 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{87.2740} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_m = 0.1780 + j2.5993 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Finalmente para calcular la impedancia de secuencia cero, se sustituyen los valores de Z_m , Z_P y Z_C en la Ec. 4.13, se tiene:

$$Z_0 = 0.3909 + j2.5241 - \frac{(0.1780 + j2.5993)^2}{0.8847 + j2.6311} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto la impedancia de secuencia cero es:

$$Z_0 = 0.8471 + j0.1216 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.3. Caso 4: Cuatro circuitos en cuatro bancos de ductos.

B.3.1. Cálculo de impedancias de secuencia positiva y negativa.

El arreglo que presenta este caso se muestra en la Figura No. B.3:

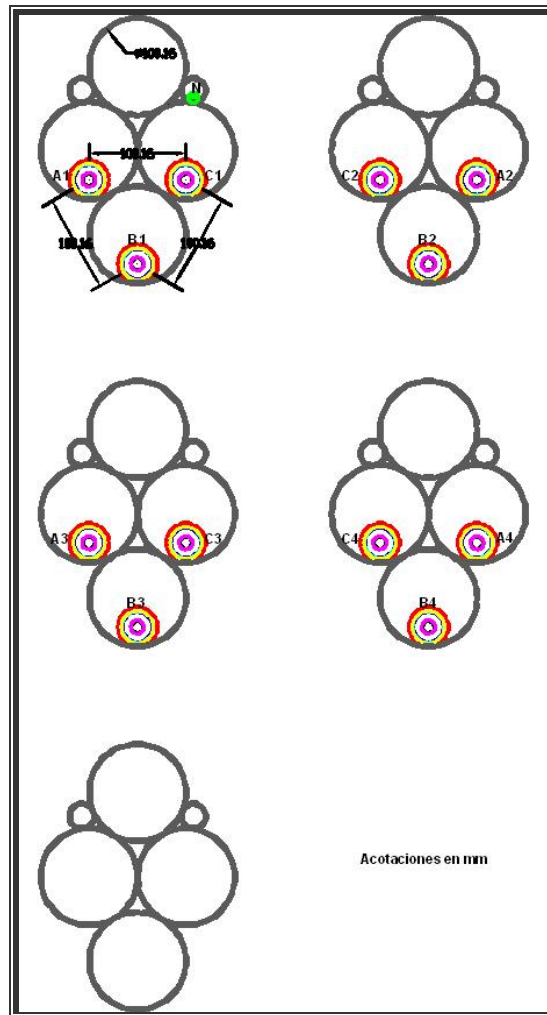


Figura No. B.3. Arreglo de cuatro circuitos en un banco de ductos.



Donde:

$$d_{A1B1} = d_{A1C1} = d_{B1C1} = d_{A2B2} = d_{A2C2} = d_{B2C2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{A3B3} = d_{A3C3} = d_{B3C3} = d_{A4B4} = d_{A4C4} = d_{B4C4} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-PA1} = d_{C1-PA1} = d_{A1-PB1} = d_{C1-PB1} = d_{A1-PC1} = d_{B1-PC1} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-PA2} = d_{C2-PA2} = d_{A2-PB2} = d_{C2-PB2} = d_{A2-PC2} = d_{B2-PC2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B3-PA3} = d_{C3-PA3} = d_{A3-PB3} = d_{C3-PB3} = d_{A3-PC3} = d_{B3-PC3} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{B4-PA4} = d_{C4-PA4} = d_{A4-PB4} = d_{C4-PB4} = d_{A4-PC4} = d_{B4-PC4} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB1-PA1} = d_{PC1-PA1} = d_{PC1-PB1} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB2-PA2} = d_{PC2-PA2} = d_{PC2-PB2} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB3-PA3} = d_{PC3-PA3} = d_{PC3-PB3} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{PB4-PA4} = d_{PC4-PA4} = d_{PC4-PB4} = 100.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-A2} = d_{PA1-PA2} = d_{A1-PA2} = d_{PA1-A2} = 400.64 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-A2} = d_{PB1-PA2} = d_{B1-PA2} = d_{PB1-A2} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-A2} = d_{PC1-PA2} = d_{C1-PA2} = d_{PC1-A2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-B2} = d_{PA1-PB2} = d_{A1-PB2} = d_{PA1-B2} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-B2} = d_{PB1-PB2} = d_{B1-PB2} = d_{PB1-B2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-B2} = d_{PC1-PB2} = d_{C1-PB2} = d_{PC1-B2} = 265 \text{ [mm]}$$



$$d_{A1-C2} = d_{PA1-PC2} = d_{A1-PC2} = d_{PA1-C2} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-C2} = d_{PB1-PC2} = d_{B1-PC2} = d_{PB1-C2} = 265.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-C2} = d_{PC1-PC2} = d_{C1-PC2} = d_{PC1-C2} = 200.32 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-A3} = d_{PA1-PA3} = d_{A1-PA3} = d_{PA1-A3} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-A3} = d_{PB1-PA3} = d_{B1-PA3} = d_{PB1-A3} = 291.4 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-A3} = d_{PC1-PA3} = d_{C1-PA3} = d_{PC1-A3} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-B3} = d_{PA1-PB3} = d_{A1-PB3} = d_{PA1-B3} = 463.26 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-B3} = d_{PB1-PB3} = d_{B1-PB3} = d_{PB1-B3} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-B3} = d_{PC1-PB3} = d_{C1-PB3} = d_{PC1-B3} = 463.26 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-C3} = d_{PA1-PC3} = d_{A1-PC3} = d_{PA1-C3} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-C3} = d_{PB1-PC3} = d_{B1-PC3} = d_{PB1-C3} = 291.31 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-C3} = d_{PC1-PC3} = d_{C1-PC3} = d_{PC1-C3} = 291.4 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-A4} = d_{PA1-PA4} = d_{A1-PA4} = d_{PA1-A4} = 547.94 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-A4} = d_{PB1-PA4} = d_{B1-PA4} = d_{PB1-A4} = 453.1 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-A4} = d_{PC1-PA4} = d_{C1-PA4} = d_{PC1-A4} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-B4} = d_{PA1-PB4} = d_{A1-PB4} = d_{PA1-B4} = 578.79 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-B4} = d_{PB1-PB4} = d_{B1-PB4} = d_{PB1-B4} = 479.6 \text{ [mm]}$$



$$d_{C1-B4} = d_{PC1-PB4} = d_{C1-PB4} = d_{PC1-B4} = 524.21 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1-C4} = d_{PA1-PC4} = d_{A1-PC4} = d_{PA1-C4} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{B1-C4} = d_{PB1-PC4} = d_{B1-PC4} = d_{PB1-C4} = 380.93 \text{ [mm]}$$

$$d_{C1-C4} = d_{PC1-PC4} = d_{C1-PC4} = d_{PC1-C4} = 424.09 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-A3} = d_{PA2-PA3} = d_{A2-PA3} = d_{PA2-A3} = 547.94 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-A3} = d_{PB2-PA3} = d_{B2-PA3} = d_{PB2-A3} = 453.1 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-A3} = d_{PC2-PA3} = d_{C2-PA3} = d_{PC2-A3} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-B3} = d_{PA2-PB3} = d_{A2-PB3} = d_{PA2-B3} = 578.9 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-B3} = d_{PB2-PB3} = d_{B2-PB3} = d_{PB2-B3} = 479.6 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-B3} = d_{PC2-PB3} = d_{C2-PB3} = d_{PC2-B3} = 524.21 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-C3} = d_{PA2-PC3} = d_{A2-PC3} = d_{PA2-C3} = 479.67 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-C3} = d_{PB2-PC3} = d_{B2-PC3} = d_{PB2-C3} = 380.95 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-C3} = d_{PC2-PC3} = d_{C2-PC3} = d_{PC2-C3} = 424.09 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-A4} = d_{PA2-PA4} = d_{A2-PA4} = d_{PA2-A4} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-A4} = d_{PB2-PA4} = d_{B2-PA4} = d_{PB2-A4} = 291.4 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-A4} = d_{PC2-PA4} = d_{C2-PA4} = d_{PC2-A4} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-B4} = d_{PA2-PB4} = d_{A2-PB4} = d_{PA2-B4} = 463.26 \text{ [mm]}$$



$$d_{B2-B4} = d_{PB2-PB4} = d_{B2-PB4} = d_{PB2-B4} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-B4} = d_{PC2-PB4} = d_{C2-PB4} = d_{PC2-B4} = 463.26 \text{ [mm]}$$

$$d_{A2-C4} = d_{PA2-PC4} = d_{A2-PC4} = d_{PA2-C4} = 386.99 \text{ [mm]}$$

$$d_{B2-C4} = d_{PB2-PC4} = d_{B2-PC4} = d_{PB2-C4} = 291.4 \text{ [mm]}$$

$$d_{C2-C4} = d_{PC2-PC4} = d_{C2-PC4} = d_{PC2-C4} = 373.8 \text{ [mm]}$$

$$d_{A3-A4} = d_{PA3-PA4} = d_{A3-PA4} = d_{PA3-A4} = 400.64 \text{ [mm]}$$

$$d_{B3-A4} = d_{PB3-PA4} = d_{B3-PA4} = d_{PB3-A4} = 361.3 \text{ [mm]}$$

$$d_{C3-A4} = d_{PC3-PA} = d_{C3-PA4} = d_{PC3-A4} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{A3-B4} = d_{PA3-PB4} = d_{A3-PB4} = d_{PA3-B4} = 361.13 \text{ [mm]}$$

$$d_{B3-B4} = d_{PB3-PB4} = d_{B3-PB4} = d_{PB3-B4} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{C3-B4} = d_{PC3-PB4} = d_{C3-PB4} = d_{PC3-B4} = 265 \text{ [mm]}$$

$$d_{A3-C4} = d_{PA3-PC4} = d_{A3-PC4} = d_{PA3-C4} = 300.48 \text{ [mm]}$$

$$d_{B3-C4} = d_{PB3-PC4} = d_{B3-PC4} = d_{PB3-C4} = 265.16 \text{ [mm]}$$

$$d_{C3-C4} = d_{PC3-PC4} = d_{C3-PC4} = d_{PC3-C4} = 200.32 \text{ [mm]}$$

$$d_{A1N} = d_{PA1-N} = 136.9 \text{ [mm]}, d_{B1N} = d_{PB1-N} = 180.75 \text{ [mm]},$$

$$d_{C1N} = d_{PC1-N} = 84.78 \text{ [mm]} d_{A2N} = d_{PA2-N} = 304.81 \text{ [mm]},$$

$$d_{B2N} = d_{PB2-N} = 297.07 \text{ [mm]}, d_{C2N} = d_{PC2-N} = 210.41 \text{ [mm]},$$



$$d_{A3N} = d_{PA3-N} = 470.74 \text{ [mm]}, d_{B3N} = d_{PB3-N} = 548.02 \text{ [mm]},$$

$$d_{C3N} = d_{PC3-N} = 458.3 \text{ [mm]}. d_{A4N} = d_{PA4-N} = 543.84 \text{ [mm]},$$

$$d_{B4N} = d_{PB4-N} = 596.62 \text{ [mm]}, d_{C4N} = d_{PC4-N} = 497.11 \text{ [mm]}.$$

B.3.1.1. Cálculo de la resistencia en corriente alterna del conductor a la temperatura de operación (90°C):

El valor de la resistencia es el mismo obtenido en la sección 4.1.1.1. Entonces:

$$R_{ca} = 0.2097 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.3.1.2. Cálculo de la reactancia inductiva del cable.

Para los cálculos de la parte reactiva de las impedancias de secuencia se sigue el mismo procedimiento descrito en la sección 4.1.1, con algunas modificaciones ya que se presentan cuatro circuitos afectando el cálculo de la reactancia inductiva.

La expresión matemática para calcular la reactancia inductiva en este caso es la siguiente:



$$X_L = 0.0753 \ln \frac{DMG_{12C}}{RMG_{12C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.31})$$

Donde:

DMG_{12C} = Distancia Media Geométrica de los 12 conductores agrupados en [mm].

RMG_{12C} = Radio Medio Geométrico de los 12 conductores agrupados en [mm].

La DMG_{12C} se calcula de la siguiente manera:

$$DMG_{12C} = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{AC} \cdot d_{BC}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.32})$$

Donde:

$$d_{AB} = \sqrt[16]{d_{A1B1} \cdot d_{A1B2} \cdot d_{A1B3} \cdot d_{A1B4} \cdot d_{A2B1} \cdot d_{A2B2} \cdot d_{A2B3} \cdot d_{A2B4} \cdot d_{A3B1} \cdot d_{A3B2} \cdot d_{A3B3} \cdot d_{A3B4} \cdot d_{A4B1} \cdot d_{A4B2} \cdot d_{A4B3} \cdot d_{A4B4}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.33})$$

$$d_{AB} = \sqrt[16]{(100.16)(361.13)(463.26)(578.79)(361.3)(100.16)(578.9)(463.26)(291.4)(453.1)(100.16)(361.3)(453.1)(291.4)(361.3)(100.16)} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AB} = 287.2426 \quad [\text{mm}]$$

$$d_{AC} = \sqrt[16]{d_{A1C1} \cdot d_{A1C2} \cdot d_{A1C3} \cdot d_{A1C4} \cdot d_{A2C1} \cdot d_{A2C2} \cdot d_{A2C3} \cdot d_{A2C4} \cdot d_{A3C1} \cdot d_{A3C2} \cdot d_{A3C3} \cdot d_{A3C4} \cdot d_{A4C1} \cdot d_{A4C2} \cdot d_{A4C3} \cdot d_{A4C4}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.34})$$

$$d_{AC} = \sqrt[16]{(100.16)(300.48)(386.99)(479.6)(300.48)(100.16)(479.67)(386.99)(386.99)(479.6)(100.16)(300.48)(479.6)(386.99)(300.48)(100.16)} \quad [\text{mm}]$$



$$d_{AC} = 273.3859 \text{ [mm]}$$

$$d_{BC} = \sqrt[16]{d_{B1C1} \cdot d_{B1C2} \cdot d_{B1C3} \cdot d_{B1C4} \cdot d_{B2C1} \cdot d_{B2C2} \cdot d_{B2C3} \cdot d_{B2C4} \cdot d_{B3C1} \cdot d_{B3C2} \cdot d_{B3C3} \cdot d_{B3C4} \cdot d_{B4C1} \cdot d_{B4C2} \cdot d_{B4C3} \cdot d_{B4C4}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.35})$$

$$d_{BC} = \sqrt[16]{(100.16)(265.16)(291.31)(380.93)(265)(100.16)(380.95)(291.4)(463.26)(524.21)(100.16)(265.16)(524.21)(463.26)(265)(100.16)} \text{ [mm]}$$

$$d_{BC} = 260.6721 \text{ [mm]}$$

Así, sustituyendo en la Ec. B.32:

$$DMG_{12C} = \sqrt[3]{(287.2426)(273.3859)(256.9472)} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{12C} = 272.2428 \text{ [mm]}$$

El RMG_{12C} se calcula de la siguiente manera:

$$RMG_{12C} = \sqrt[3]{RMG_A \cdot RMG_B \cdot RMG_C} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.36})$$

Donde:

$$RMG_A = \sqrt[7]{RMG_{1C} \cdot d_{A1A2} \cdot d_{A1A3} \cdot d_{A1A4} \cdot d_{A2A3} \cdot d_{A2A4} \cdot d_{A3A4}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.37})$$

$$RMG_A = \sqrt[7]{(4.5859)(400.64)(373.8)(547.94)(547.94)(373.8)(400.64)} \text{ [mm]}$$

$$RMG_A = 226.8132 \text{ [mm]}$$



$$RMG_B = \sqrt[3]{RMG_{1C} \cdot d_{B1B2} \cdot d_{B1B3} \cdot d_{B1B4} \cdot d_{B2B3} \cdot d_{B2B4} \cdot d_{B3B4}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.38})$$

$$RMG_B = \sqrt[3]{(4.5859)(300.48)(373.8)(479.6)(479.6)(373.8)(300.48)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_B = 201.1138 \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_C = \sqrt[3]{RMG_{1C} \cdot d_{C1C2} \cdot d_{C1C3} \cdot d_{C1C4} \cdot d_{C2C3} \cdot d_{C2C4} \cdot d_{C3C4}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. B.39})$$

$$RMG_C = \sqrt[3]{(4.5859)(200.32)(291.4)(424.09)(424.09)(373.8)(200.32)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_C = 166.8848 \quad [\text{mm}]$$

Sustituyendo en la Ec. B.36:

$$RMG_{12C} = \sqrt[3]{(226.8132)(201.1138)(166.8848)} \quad [\text{mm}]$$

$$RMG_{12C} = 196.7172 \quad [\text{mm}]$$

Por lo tanto, la reactancia inductiva del arreglo es la siguiente:

$$X_L = 0.0753 \ln \left(\frac{272.2428}{196.7172} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_L = 0.0245 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

De la misma forma que en la sección 4.1.1.2 se corrigió el valor de la resistencia y reactancia inductiva por medio de las Ec. 4.9 y Ec. 4.10 debido al efecto de las corrientes que circulan por la pantalla metálica se tiene:



$$X_m = 0.0754 \text{Ln} \frac{\text{DMG}_{12P}}{\text{RM}_{1P}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right] \quad (\text{Ec. B.40})$$

Donde:

$$R_p = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\text{DMG}_{9P} = 272.2428 \text{ [mm]}$$

$$\text{RM}_{1P} = 32.6215 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.40:

$$X_m = 0.0754 \text{Ln} \left(\frac{272.2428}{32.6215} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_m = 0.1600 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Sustituyendo los valores de R_p y X_m en las Ec. 4.9 y 4.10:

$$R_A = 0.2097 + \frac{(0.1600)^2 (7.2440)}{0.1600^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_A = 0.2132 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



$$X_{LA} = 0.0530 - \frac{0.1600^3}{0.1600^2 + 7.2440^2} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X_{LA} = 0.0244 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto las impedancias de secuencia positiva y negativa son:

$$Z_{1,2} = 0.2132 + j0.0244 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.3.2. Cálculo de la impedancia de secuencia cero.

El procedimiento para calcular la impedancia de secuencia cero será similar al realizado en la sección 4.1.2.

B.3.2.1. Cálculo de Z_c .

De la Ec. 4.14 se sabe que:

$$Z_c = R_{1,2} + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{RMG_{12C}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:



$$R_{1,2} = 0.2132 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_e = 0.178 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\text{RMG}_{12C} = 196.7172 \text{ [mm]}$$

$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.14, se tiene:

$$Z_C = 0.2132 + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{196.7172} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_C = 0.3912 + j2.4155 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.3.2.2. Cálculo de Z_p .

De la Ec. 4.15 se sabe que:

$$Z_p = 3 \left(\frac{R_p}{n} \parallel \frac{R_N}{m} \right) + R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{\text{RM}_{12P-N}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:



$$RM_{12P-N} = \sqrt[4]{RM_{12P} \cdot RMG_N (DMG_{12P-N})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.41})$$

$$R_p = 7.2440 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$R_N = 0.333 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$D_e = 8530 \text{ [m]}$$

$$RM_{12P} = \sqrt[3]{RM_{1P} \cdot DMG_{12P}^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.42})$$

$$RM_{12P} = \sqrt[3]{\frac{32.3 + 32.943}{2} (272.2428)^2} \text{ [mm]}$$

$$RM_{12P} = 134.2164 \text{ [mm]}$$

$$RMG_N = 4.0288 \text{ [mm]}$$

$$DMG_{12P-N} = \sqrt[12]{\frac{d_{PA1-N} \cdot d_{PB1-N} \cdot d_{PC1-N} \cdot d_{PA2N} \cdot d_{PB2-N} \cdot d_{PC2-N}}{d_{PA3N} \cdot d_{PB3-N} \cdot d_{PC3-N} \cdot d_{PA4N} \cdot d_{PB4-N} \cdot d_{PC4-N}}} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.43})$$

$$DMG_{12P-N} = \sqrt[12]{\frac{(136.9)(180.63)(84.78)(304.81)(297.07)(210.41)}{(470.74)(548.02)(458.3)(543.84)(596.62)(497.11)}} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{12P-N} = 309.1357 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. B.41:

$$RM_{12P-N} = \sqrt[4]{(134.2164)(4.0288)(309.1357)^2} \text{ [mm]}$$



$$RM_{12P-N} = 84.7850 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.15, se tiene:

$$Z_p = 3 \left(\frac{7.2440}{12} \parallel 0.333 \right) + 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{84.7850} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_p = 0.8219 + j2.6059 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

B.3.2.3. Cálculo de Z_m .

De la Ec. 4.16 se sabe que:

$$Z_m = R_e + j0.5209 \frac{f}{60} \log_{10} \frac{1000D_e}{DMG_{12C-12P-N}} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Donde:

$$DMG_{12C-12P-N} = \sqrt[5]{RMG_{12C} \cdot RM_{12P} \cdot RMG_N (DMG_{12CPN})^2} \text{ [mm]} \quad (\text{Ec. B.44})$$

$$RMG_{12C} = 196.7172 \text{ [mm]}$$

$$RM_{12P} = 134.2164 \text{ [mm]}$$

$$RMG_N = 4.0288 \text{ [mm]}$$



$$DMG_{12CPN} = \sqrt[288]{d_{A1B1}^{48} \cdot d_{A1A2}^8 \cdot d_{B1A2}^{12} \cdot d_{C1A2}^{24} \cdot d_{C1B2}^8 \cdot d_{B1C2}^8 \cdot d_{C1C2}^8 \cdot d_{A1A3}^{20} \cdot d_{B1A3}^{16} \cdot d_{C1A3}^{16} \cdot d_{A1B3}^{16} \cdot d_{B1C3}^4 \cdot d_{A1A4}^8 \cdot d_{B1A4}^8 \cdot d_{C1A4}^{24} \cdot d_{A1B4}^4 \cdot d_{C1B4}^8 \cdot d_{B1C4}^8 \cdot d_{C1C4}^8 \cdot d_{A2B3}^4 \cdot d_{B3A4}^4 \cdot d_{A1N}^2 \cdot d_{C1N}^2 \cdot d_{B1N}^2 \cdot d_{A2N}^2 \cdot d_{C2N}^2 \cdot d_{B2N}^2 \cdot d_{A3N}^2 \cdot d_{C3N}^2 \cdot d_{B3N}^2 \cdot d_{A4N}^2 \cdot d_{C4N}^2 \cdot d_{B4N}^2} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec.B.45})$$

$$DMG_{12CPN} = \sqrt[288]{(100.16)^{48} (400.64)^8 (361.3)^{12} (300.48)^{24} (265)^8 (265.16)^8 (200.32)^8 (373.8)^{20} (291.4)^{16} (386.99)^{16} (463.26)^{16} (291.31)^4 (547.94)^8 (453.1)^8 (479.6)^{24} (578.79)^4 (524.21)^8 (380.93)^8 (424.09)^8 (578.9)^4 (361.3)^4 (136.9)^2 (180.63)^2 (84.78)^2 (304.81)^2 (297.07)^2 (210.41)^2 (470.74)^2 (548.02)^2 (458.3)^2 (543.84)^2 (596.62)^2 (497.11)^2}$$

$$DMG_{12CPN} = 296.6874 \text{ [mm]}$$

Entonces:

$$DMG_{12C-12P-N} = \sqrt[5]{196.7172 \cdot 134.2164 \cdot 4.0288 \cdot (296.6874)^2} \text{ [mm]}$$

$$DMG_{12C-12P-N} = 98.6924 \text{ [mm]}$$

Sustituyendo en la Ec. 4.16, se tiene:

$$Z_m = 0.178 + j0.5209 \left(\frac{60}{60} \right) \log_{10} \left(\frac{1000(8530)}{98.6924} \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z_m = 0.1780 + j2.5715 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$



Finalmente para calcular la impedancia de secuencia cero, se sustituyen los valores de Z_m , Z_P y Z_C en la Ec. 4.13, se tiene:

$$Z_0 = 0.3912 + j2.4155 - \frac{(0.1780 + j2.5715)^2}{0.8219 + j2.6059} \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto, la impedancia de secuencia cero es:

$$Z_0 = 0.7962 + j0.0177 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

En la Tabla B.1 se muestra, a manera de resumen, los valores de las impedancias de secuencia calculados para los distintos arreglos que se presentan:

Arreglo	Impedancia [W/km]	
	Secuencia positiva y negativa	Secuencia cero
Un circuito	0.2107+j0.2325	1.0092+j0.2550
Dos Circuitos	0.2119+j0.1184	0.9327+j0.2831
Tres Circuitos	0.2129+j0.0529	0.8471+j0.1216
Cuatro Circuitos	0.2132+j0.0244	0.7962+j0.0177

Tabla No. B.1. Impedancias de secuencia de los distintos arreglos.



APÉNDICE C.
CÁLCULO DE LOS NIVELES DE CORTO CIRCUITO EN LAS
SUBESTACIONES GENERALES No. 1 Y 2.

Para obtener los niveles de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2, se solicitaron a la Compañía de Luz y Fuerza del Centro (extinta) los niveles de corto circuito en el bus de la Subestación de Distribución “Odón de Buen”.

Los datos proporcionados son los siguientes:

Niveles de Corto Circuito en la Subestación de Distribución "Odón De Buen" [MVA]	
$S_{CC3\phi}$	356.41
$S_{CC1\phi}$	347.65

Tabla No. C.1. Niveles de Corto Circuito en la Subestación de Distribución “Odón de Buen”. LyFC.

Es preciso aclarar que se decidió utilizar los valores en la Subestación de Distribución, debido que a los datos proporcionados en su momento por Compañía de Luz y Fuerza del Centro (extinta) y la Comisión Federal de Electricidad en las Subestaciones Generales No. 1 y 2 varían demasiado unos respecto de otros por lo que se tiene incertidumbre en los datos proporcionados.

La energía eléctrica es suministrada por medio de dos circuitos de distribución aéreos con una longitud de 4 km para la Subestación General No. 1 y de 3 km para la Subestación General No. 2. Las características del conductor que conforman los circuitos son:

- Cable ACSR, 336, 400 MCM, 26 hilos de Aluminio.
- Con las siguientes impedancias de secuencia positiva, negativa y cero:

Impedancias de secuencia del circuito aéreo [Ω/km]	
$Z_{1,2}$	$0.4924+j0.3785$
Z_0	$0.6702+j1.8772$

Tabla No. C.2. Impedancias de secuencia del circuito aéreo. LyFC.

En la siguiente figura se muestra el diagrama unifilar del arreglo:

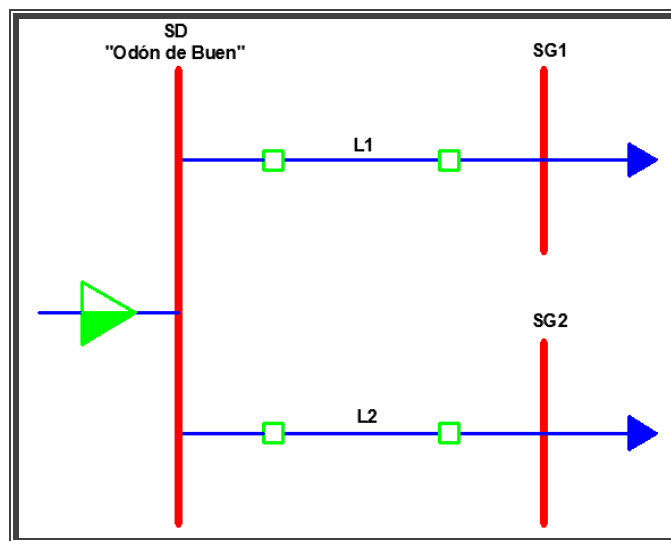


Figura No. C.1. Diagrama unifilar simplificado del arreglo del sistema de distribución actual de CU.



Con los datos proporcionados se puede calcular los niveles de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2. El procedimiento es el descrito a continuación:

Como parámetros se seleccionó una potencia base de 100[MVA] y una tensión base de 23[kV] y 220 [V], a partir de estos datos, se obtuvieron la impedancia y corriente base. En seguida se muestran las ecuaciones y datos obtenidos:

$$S_{\text{Base}} = 100 \text{ [MVA]}$$

$$V_{\text{Base}} = 23 \text{ [kV]}$$

$$Z_{\text{Base}} = \frac{\text{kV}_{\text{Base}}^2}{\text{MVA}_{\text{Base}}} \text{ [\Omega]} \quad (\text{Ec. C.1})$$

$$Z_{\text{Base}} = \frac{23^2}{100} = 5.29 \text{ [\Omega]}$$

$$I_{\text{Base}} = \frac{S_{\text{Base}}}{\sqrt{3}V_{\text{Base}}} \text{ [A]} \quad (\text{Ec. C.2})$$

$$I_{\text{Base}} = \frac{100000}{\sqrt{3}(23)} = 2510.22 \text{ [A]}$$

Por lo que, las impedancias de secuencia para la Subestación de Distribución “Odón de Buen”, son las siguientes:

Si la impedancia de secuencia positiva y negativa es:



$$X_{1,2} = \frac{E_{a1}^2}{S_{CC3\phi}} S_{Base} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. C.3})$$

Entonces:

$$X_{1,2} = \frac{1^2}{356.41} (100)$$

$$X_{1,2} = j0.2806 \text{ [pu]}$$

Y si la impedancia de secuencia cero es:

$$X_0 = \frac{3S_{Base}}{S_{CC1\phi}} E_{a1} - 2X_{1,2} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. C.4})$$

Entonces:

$$X_0 = \frac{3(100)}{347.65} 1 - 2(0.2806)$$

$$X_0 = j0.3018 \text{ [pu]}$$

Ahora se refieren las impedancias de las líneas a la nueva base de 5.29 $[\Omega]$ de la siguiente manera:

Para la línea L1:

$$Z_{1,2} = \frac{4(0.4924 + j3785)}{5.29}$$



$$Z_{1,2} = 0.3723 + j0.2862 \text{ [pu]}$$

$$Z_0 = \frac{4(0.6702 + j1.8772)}{5.29}$$

$$Z_0 = 0.1165 + j0.3265 \text{ [pu]}$$

Para la línea L2:

$$Z_{1,2} = \frac{3(0.4924 + j3785)}{5.29}$$

$$Z_{1,2} = 0.2792 + j0.2147 \text{ [pu]}$$

$$Z_0 = \frac{3(0.6702 + j1.8772)}{5.29}$$

$$Z_0 = 0.3800 + j1.0646 \text{ [pu]}$$

Entonces los diagramas de secuencia positiva, negativa y cero quedan de la siguiente forma:

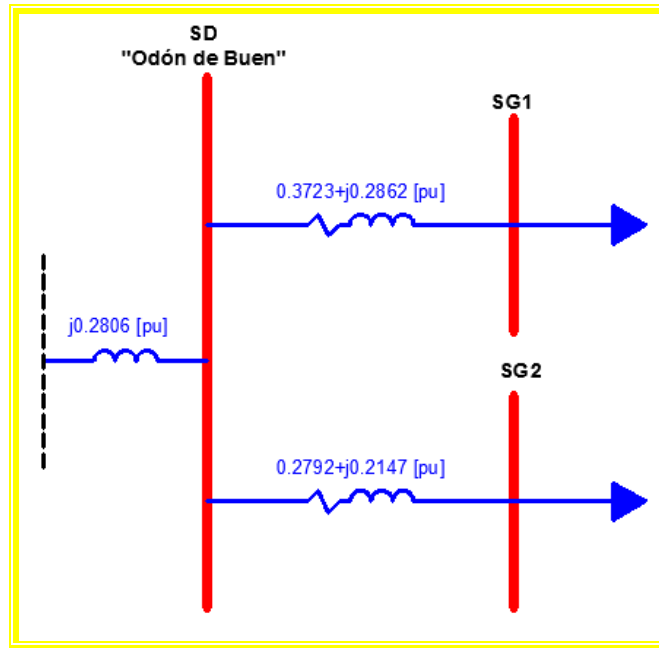


Figura No. C.2 Diagrama de impedancias de secuencia positiva y negativa.

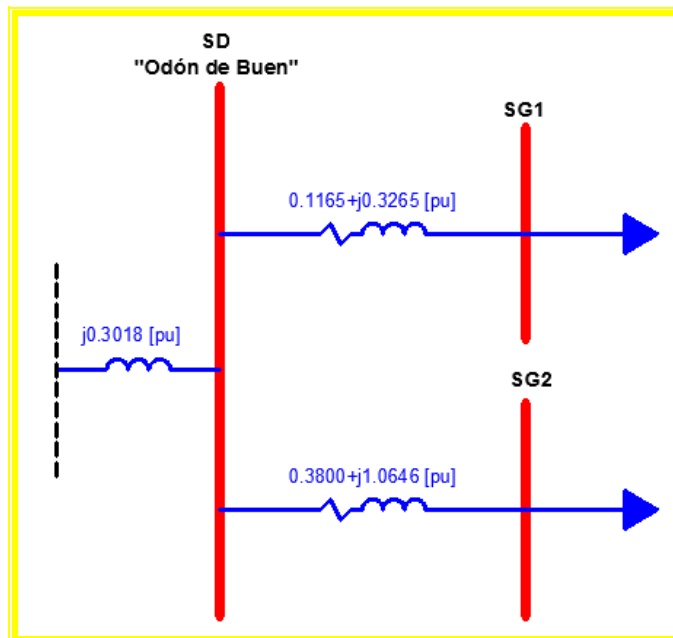


Figura No. C.3 Diagrama de impedancias de secuencia cero.



Enseguida, con ayuda de los diagramas de secuencia, se calculan las impedancias equivalentes de cada uno de los puntos, como se muestra a continuación:

Para la Subestación General No. 1, la impedancia equivalente de secuencia positiva y negativa es:

$$Z_{EQ1} = Z_{OB} + Z_{L1} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ1} = j0.2806 + 0.3723 + j0.2862$$

$$Z_{EQ1} = 0.3723 + j0.5668 \text{ [pu]}$$

Y la impedancia de secuencia cero:

$$Z_{EQ0} = Z_{OB} + Z_{L1} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ0} = j0.3018 + 0.1165 + j0.3265$$

$$Z_{EQ0} = 0.1165 + j0.6283 \text{ [pu]}$$

Para la Subestación General No. 2, la impedancia equivalente de secuencia positiva y negativa es:

$$Z_{EQ1} = Z_{OB} + Z_{L1} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ1} = j0.2806 + 0.2792 + j0.2147$$

$$Z_{EQ1} = 0.2792 + j0.4953 \text{ [pu]}$$

Y la impedancia de secuencia cero:

$$Z_{EQ0} = Z_{OB} + Z_{L1} \text{ [pu]}$$

$$Z_{EQ0} = j0.3018 + 0.3800 + j1.0646$$

$$Z_{EQ0} = 0.3800 + j1.3664 \text{ [pu]}$$

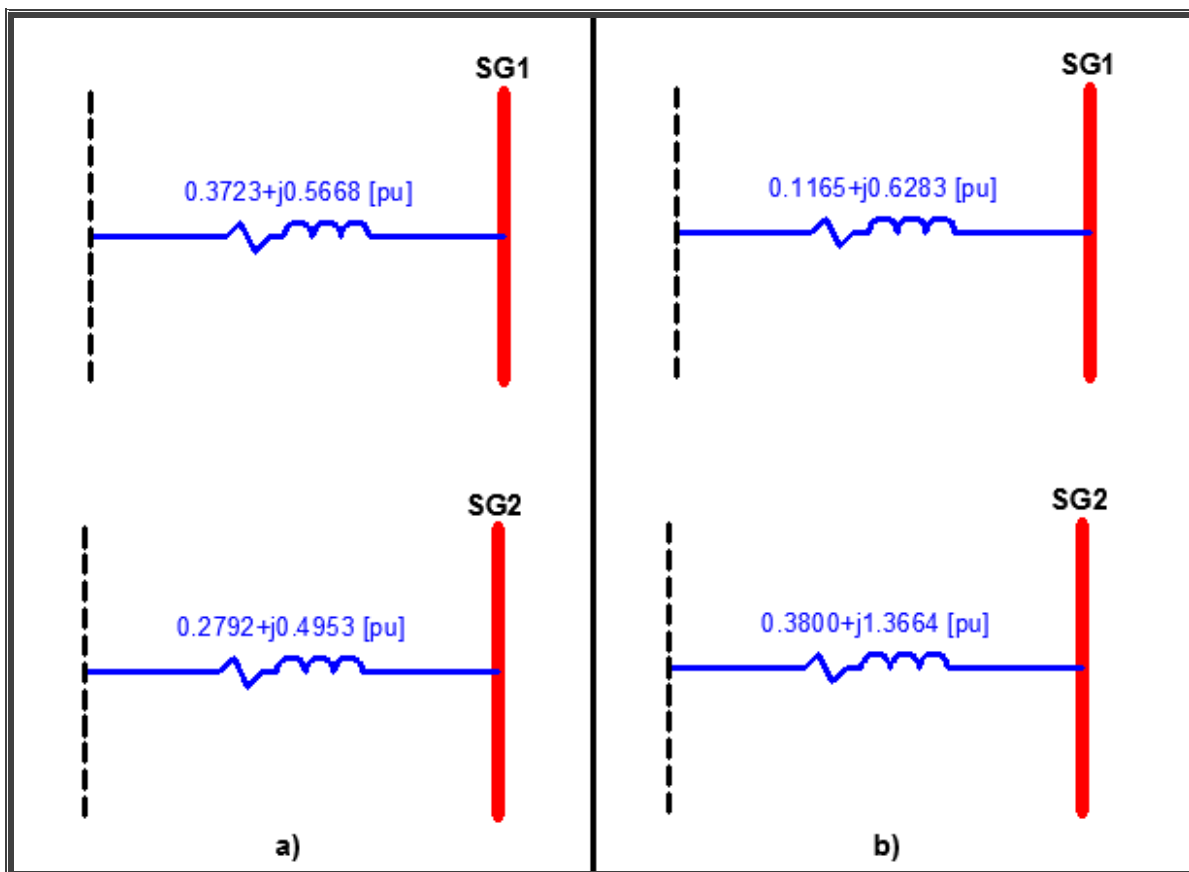


Figura No. C.4. Diagrama de impedancias equivalentes de secuencia: a) positiva y negativa, b) cero.

Con las impedancias que se obtuvieron se calcularon las corrientes de corto circuito en cada uno de los buses.



Para la SG1:

Falla Monofásica.

$$I_a = \frac{3E_{a_1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} [\text{pu}] \quad (\text{Ec. C.8})$$

$$I_a = \frac{3}{2(0.3723 + j0.5668) + 0.1165 + j0.6283}$$

$$I_a = 0.6718 - j1.3744 [\text{pu}]$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.6718^2 + (-1.3744)^2}$$

$$I_a = 1.5298 [\text{pu}]$$

$$I_a = 1.5298(2510.22)$$

$$I_{1\phi} = 3840.17 [\text{A}]$$

Falla Trifásica.

$$I_a = \frac{E_{a_1}}{Z_1} [\text{pu}] \quad (\text{Ec. C.9})$$

$$I_a = \frac{1}{0.3723 + j0.5668}$$



$$I_a = 0.8096 - j1.2325 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.8096^2 + (-1.2325)^2}$$

$$I_a = 1.4746 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 1.4746(2510.22)$$

$$I_{3\phi} = 3701.68 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}E_{a1}}{Z_1 + Z_2} \text{ [pu]} \quad (\text{Ec. C.10})$$

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.3723 + j0.5668)}$$

$$I_b = -1.2325 - j0.8096 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.2325)^2 + (-0.8096)^2}$$

$$I_b = 1.2771 \text{ [pu]}$$



$$I_b = 1.2771(2510.22)$$

$$I_{2\phi} = 3205.74[A]$$

Para la SG2:

Falla Monofásica.

$$I_a = \frac{3E_{a_1}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} [\text{pu}]$$

$$I_a = \frac{3}{2(0.2792 + j0.4952) + 0.3800 + j1.3664}$$

$$I_a = 0.4375 - j1.0987 [\text{pu}]$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.4375^2 + (-1.0987)^2}$$

$$I_a = 1.1826 [\text{pu}]$$

$$I_a = 1.1826(2510.22)$$

$$I_{1\phi} = 2968.57[A]$$

**Falla Trifásica.**

$$I_a = \frac{E_{a1}}{Z_1} \text{ [pu]}$$

$$I_a = \frac{1}{0.2792 + j0.4952}$$

$$I_a = 0.8639 - j1.5321 \text{ [pu]}$$

Si se obtiene la magnitud de I_a y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_a = \sqrt{0.8639^2 + (-1.5321)^2}$$

$$I_a = 1.7589 \text{ [pu]}$$

$$I_a = 1.7589(2510.22)$$

$$I_{3\phi} = 4415.28 \text{ [A]}$$

Falla Bifásica.

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}E_{a1}}{Z_1 + Z_2} \text{ [pu]}$$

$$I_b = -j \frac{\sqrt{3}}{2(0.2792 + j0.4952)}$$

$$I_b = -1.5321 - j0.8639 \text{ [pu]}$$



Si se obtiene la magnitud de I_b y se multiplica por la corriente base (I_{Base}) calculada por la Ec. C.2 para una tensión de 23 [kV], se tiene:

$$I_b = \sqrt{(-1.5321)^2 + (-0.8639)^2}$$

$$I_b = 1.5233 \text{ [pu]}$$

$$I_b = 1.5233(2510.22)$$

$$I_{2\phi} = 3823.75 \text{ [A]}$$

Finalmente, si se multiplican los valores de corriente por 23 [kV] y $\sqrt{3}$ se obtienen las potencias de corto circuito en las Subestaciones Generales No.1 y 2, los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Potencia de C.C. [MVA]	Subestación General 1	Subestación General 2
$S_{3\phi}$	147.47	175.9128
$S_{2\phi}$	127.722	152.3450
$S_{1\phi}$	96.2099	118.2611

Tabla No. C.2. Niveles de Corto Circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2 de CU.

APÉNDICE D. MATICES Y DIAGRAMAS DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO DEL ANILLO B.

D.1. Subestación General 2 operando normalmente.

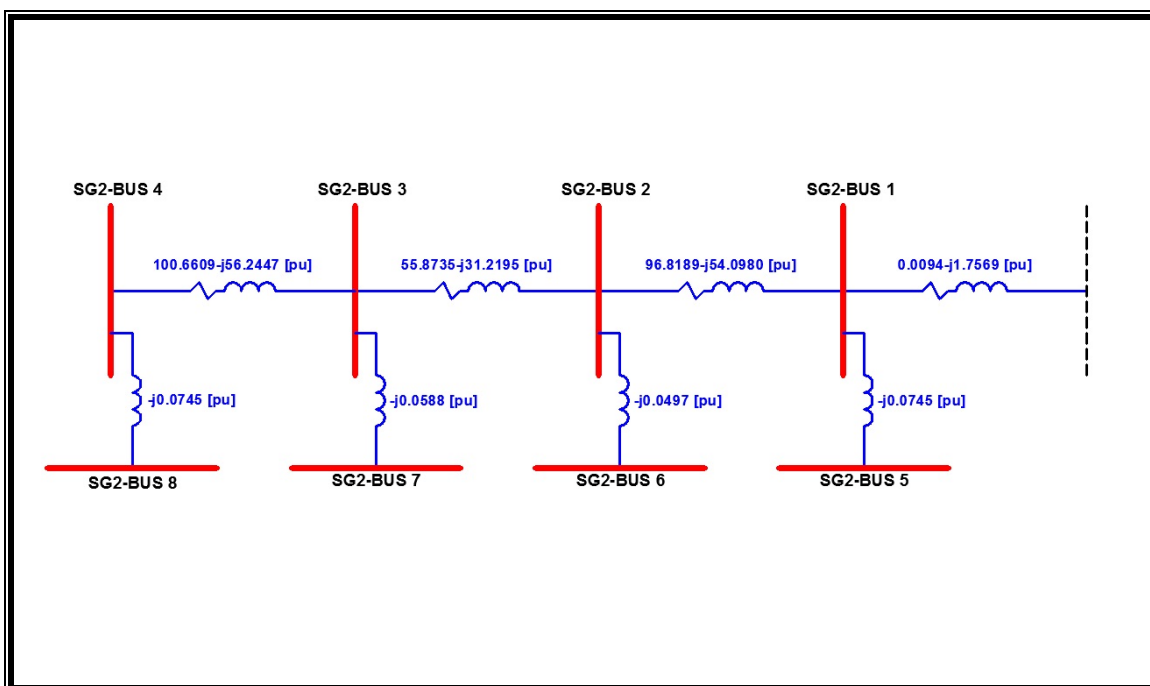


Figura No. D.1. Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa SG2 (ON).

Matriz de admitancias de secuencia positiva y negativa.

$$Y_{1,2} = \begin{bmatrix} 96.8283 - j55.9294 & -96.8189 + j54.0980 & 0 & 0 & j0.0745 & 0 & 0 & 0 \\ -96.8189 + j54.0980 & 152.6923 - j85.3671 & -55.8735 + j31.2195 & 0 & 0 & j0.0497 & 0 & 0 \\ 0 & -55.8735 + j31.2195 & 156.5344 - j87.5230 & -100.6609 + j56.2447 & 0 & 0 & j0.0588 & 0 \\ 0 & 0 & -100.6609 + j56.2447 & 100.6609 - j56.3192 & 0 & 0 & 0 & j0.0745 \\ j0.0745 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j0.0497 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j0.0588 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j0.0745 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 \end{bmatrix}$$

Matriz de impedancias de secuencia positiva y negativa.

$$Z_{1,2} = \begin{bmatrix} 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0109 + j0.5736 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0245 + j0.5812 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0321 + j0.5855 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0321 + j0.5855 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j13.9920 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0030 + j0.5692 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j20.6943 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0109 + j0.5736 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j17.5880 & 0.0245 + j0.5812 \\ 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0321 + j0.5855 & 0.0030 + j0.5692 & 0.0109 + j0.5736 & 0.0245 + j0.5812 & 0.0321 + j14.0083 \end{bmatrix}$$

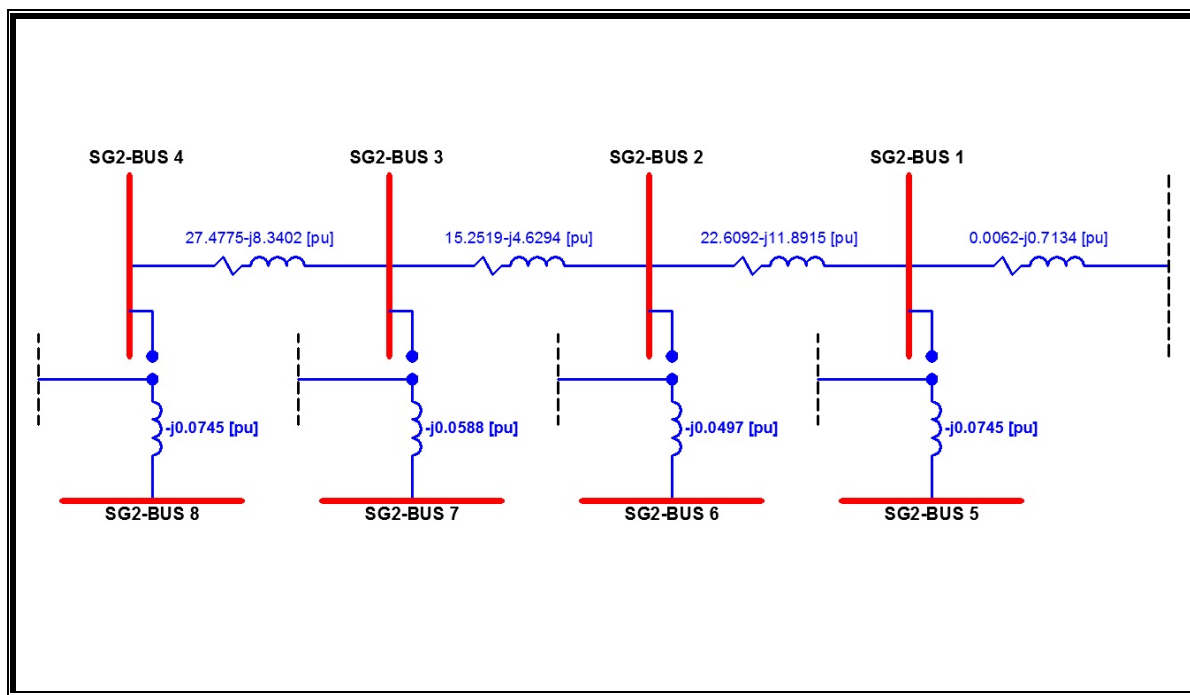


Figura No. D.2. Diagrama de admitancias de secuencia cero SG2 (OFF).

Matriz de admitancias de secuencia cero.

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 22.6154 - j12.6050 & -22.6092 + j11.8915 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -22.6092 + j11.8915 & 37.8610 - j16.5209 & -15.2519 + j4.6294 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -15.2519 + j4.6294 & 42.7294 - j12.9695 & -27.4775 + j8.3402 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -27.4775 + j8.3402 & 27.4775 - j8.3402 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 \end{bmatrix}$$

Matriz de impedancias de secuencia cero.

$$Z_0 = \begin{bmatrix} 0.0120 + j1.4016 & 0.0120 + j1.4016 & 0.0120 + j1.4016 & 0.0120 + j1.4016 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0120 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4199 & 0.0466 + j1.4199 & 0.0466 + j1.4199 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0120 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4199 & 0.1067 + j1.4381 & 0.1067 + j1.4381 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0120 + j1.4016 & 0.0496 + j1.4199 & 0.1067 + j1.4381 & 0.1400 + j1.4482 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j17.0068 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 \end{bmatrix}$$

D.2. Subestación General 2 fuera de servicio y la Subestación General 1 alimentando todo el Anillo B.

Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa.

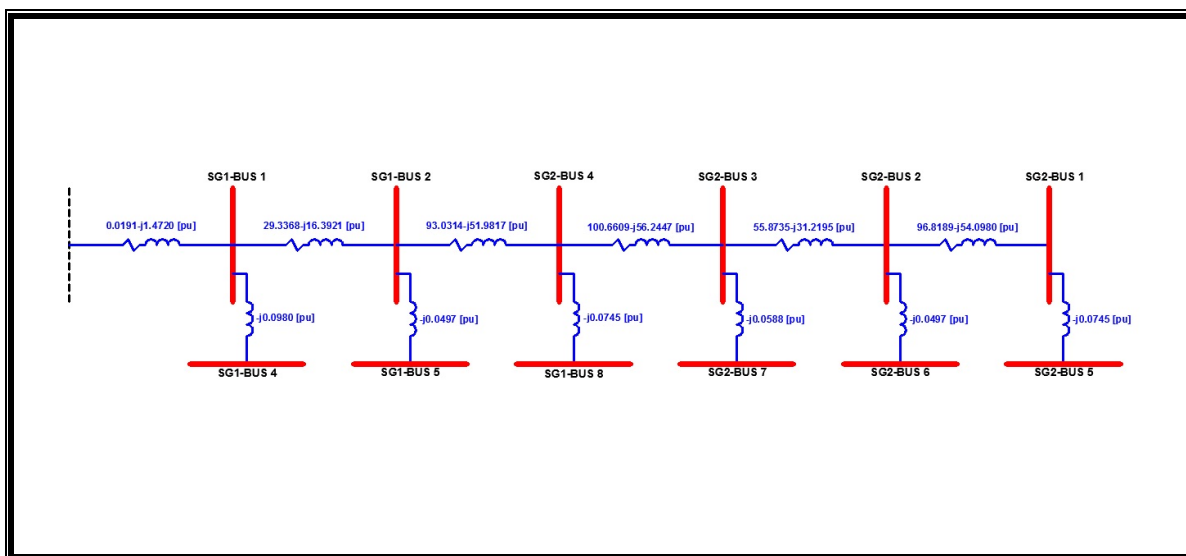


Figura No. D.3. Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa SG1(ON) y SG2(OFF).

Matriz de admitancias de secuencia cero.

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 7.5221 - j2.6801 & -7.5115 + j2.1131 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -7.5115 + j2.1131 & 32.9064 - j9.8211 & -25.3949 + j7.7080 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -25.3949 + j7.7080 & 52.8724 - j16.0482 & -27.4775 + j8.3402 & -15.2519 + j4.6294 & -22.6092 + j11.8915 & -j0.0980 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -27.4775 + j8.3402 & 42.7294 - j12.9695 & -15.2519 + j4.6294 & -22.6092 + j11.8915 & -j0.0980 & -j0.0497 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -15.2519 + j4.6294 & 37.8610 - j16.5209 & 22.6092 - j11.8915 & 0 & -j0.0497 & -j0.0745 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -15.2519 + j4.6294 & 22.6092 - j11.8915 & 0 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0588 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & -j0.0497 & -j0.0497 & -j0.0745 & -j0.0745 \end{bmatrix}$$

Matriz de impedancias de secuencia cero.

$$Z_0 = \begin{bmatrix} 0.0326 + j1.7633 & 0.0326 + j1.7633 & 0.0326 + j1.7633 & 0.0326 + j1.7633 & 0.0326 + j1.7633 & 0.0326 + j1.7633 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 + j1.7633 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1560 + j1.7981 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 + j1.7633 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1921 + j1.8090 & 0.1921 + j1.8090 & 0.1921 + j1.8090 & 0.1921 + j1.8090 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 + j1.7633 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1921 + j1.8090 & 0.2254 + 1.8192 & 0.2254 + 1.8192 & 0.2254 + 1.8192 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 + j1.7633 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1921 + j1.8090 & 0.2254 + 1.8192 & 0.2854 + 1.8374 & 0.2854 + 1.8374 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0326 + j1.7633 & 0.1560 + j1.7981 & 0.1921 + j1.8090 & 0.2254 + 1.8192 & 0.2854 + 1.8374 & 0.3201 + 1.8556 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j10.2040 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j17.0068 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 \end{bmatrix}$$

D.3. Subestación General 1 fuera de servicio y la Subestación General 2 alimentando todo el Anillo B.

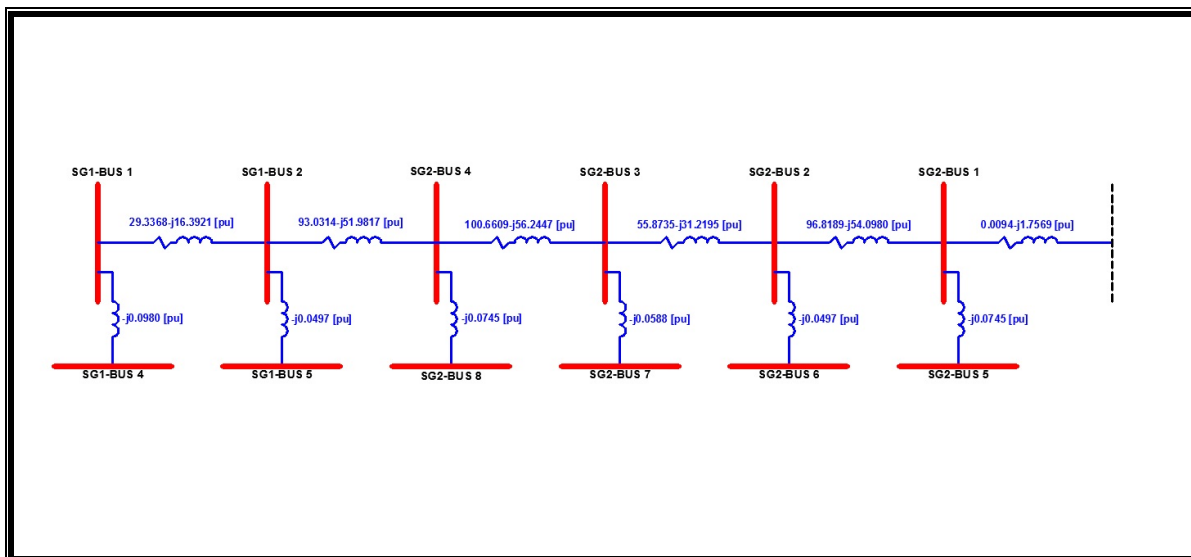


Figura No. D.5. Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa SG1(OFF) y SG2(ON).



Matriz de admitancias de secuencia cero.

$$Y_0 = \begin{bmatrix} 22.6154 - j12.6050 & -22.6092 + j11.8915 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -22.6092 + j11.8915 & 37.8610 - j16.5209 & -15.2519 + j4.6294 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -15.2519 + j4.6294 & 42.7294 - j12.9695 & -27.4775 + j8.3402 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -27.4775 + j8.3402 & 52.8724 - j16.0482 & -25.3949 + j7.7080 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -25.3949 + j7.7080 & 32.9064 - j9.8211 & -7.5115 + j2.1131 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -7.5115 + j2.1131 & 7.5115 - j2.1131 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0588 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0745 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0497 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -j0.0980 \end{bmatrix}$$

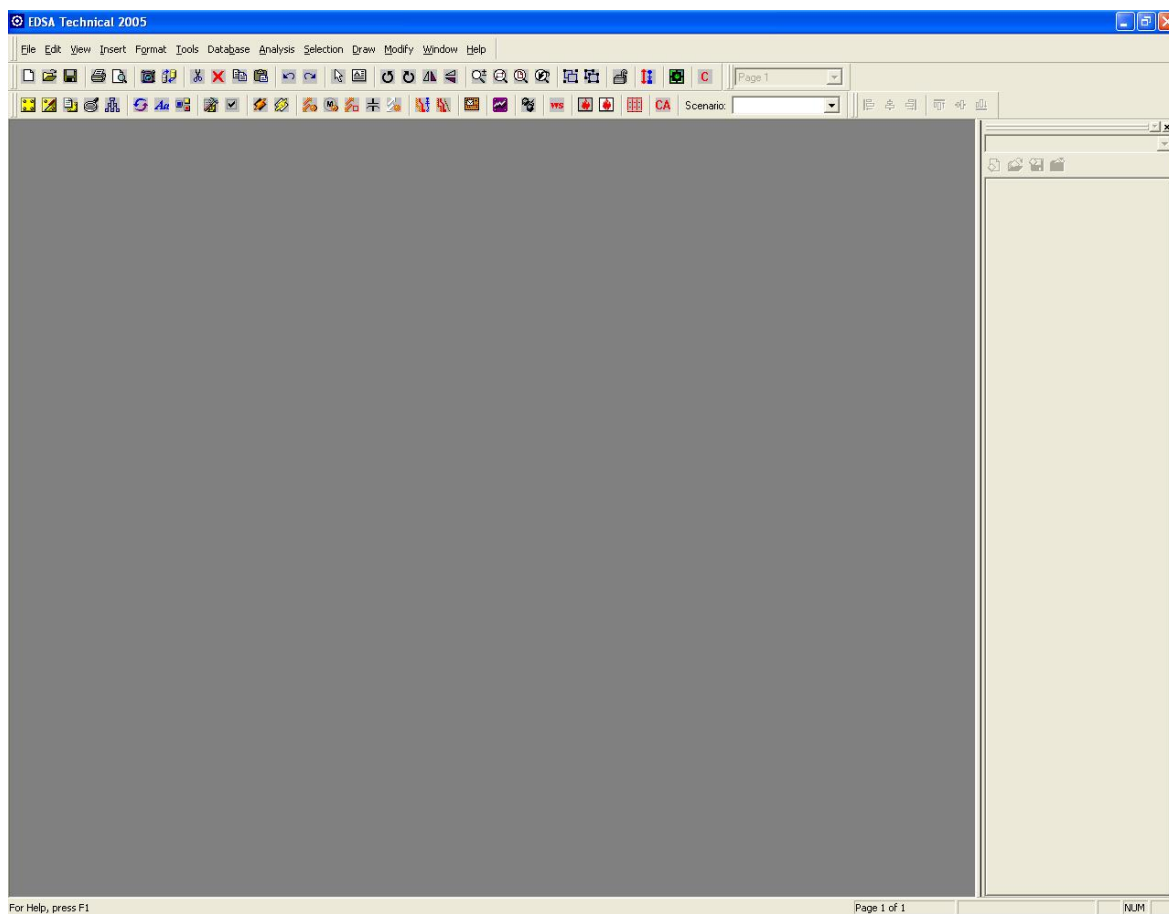
Matriz de impedancias de secuencia cero.

$$Z_0 = \begin{bmatrix} 0.0119 + j1.4016 & 0.0119 + j1.4016 & 0.0119 + j1.4016 & 0.0119 + j1.4016 & 0.0119 + j1.4016 & 0.0119 + j1.4016 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0119 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4198 & 0.0466 + j1.4198 & 0.0466 + j1.4198 & 0.0466 + j1.4198 & 0.0466 + j1.4198 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0119 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4198 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1066 + j1.4380 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0119 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4198 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1400 + j1.4482 & 0.1400 + j1.4482 & 0.1400 + j1.4482 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0119 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4198 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1400 + j1.4482 & 0.1760 + j1.4591 & 0.1760 + j1.4591 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0119 + j1.4016 & 0.0466 + j1.4198 & 0.1066 + j1.4380 & 0.1400 + j1.4482 & 0.1760 + j1.4591 & 0.2994 + j1.4938 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j17.0068 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j13.4228 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j20.1207 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & j10.2040 & 0 \end{bmatrix}$$

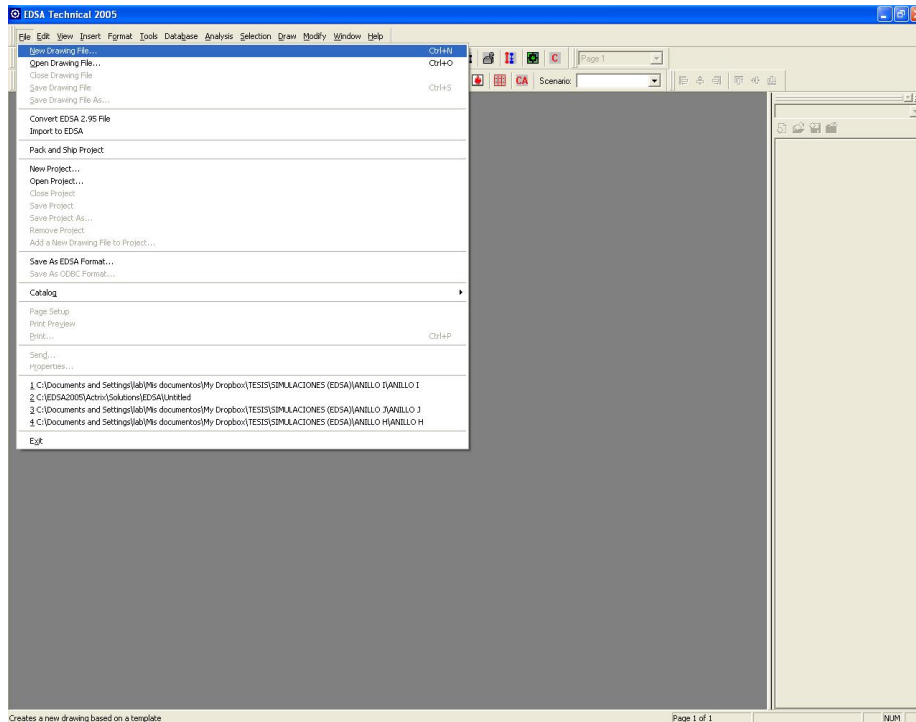


APÉNDICE E. PROCEDIMIENTO PARA LA SIMULACIÓN DEL CORTO CIRCUITO CON EDSA.

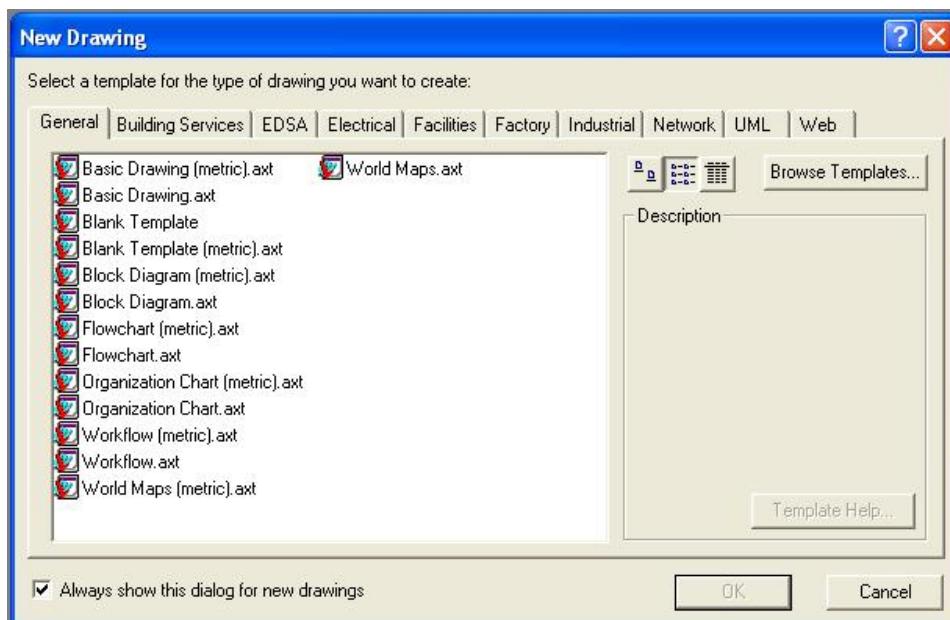
Dentro del entorno de EDSA aparecerá la siguiente ventana:



1. Se selecciona del menú la opción *File*, después *New Drawing File*, como se ilustra en la siguiente figura:

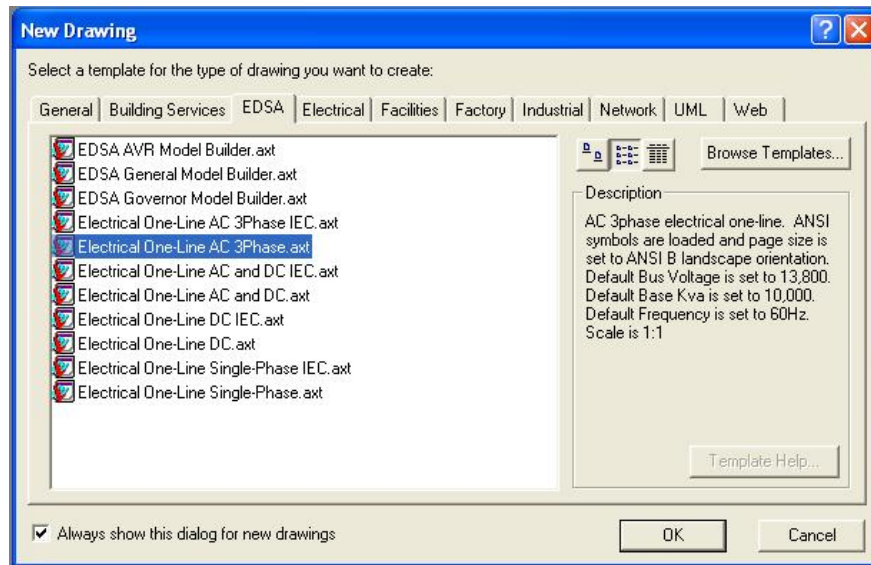


2. Aparecerá la ventana *New Drawing* la cual contiene los diferentes análisis que maneja el programa:

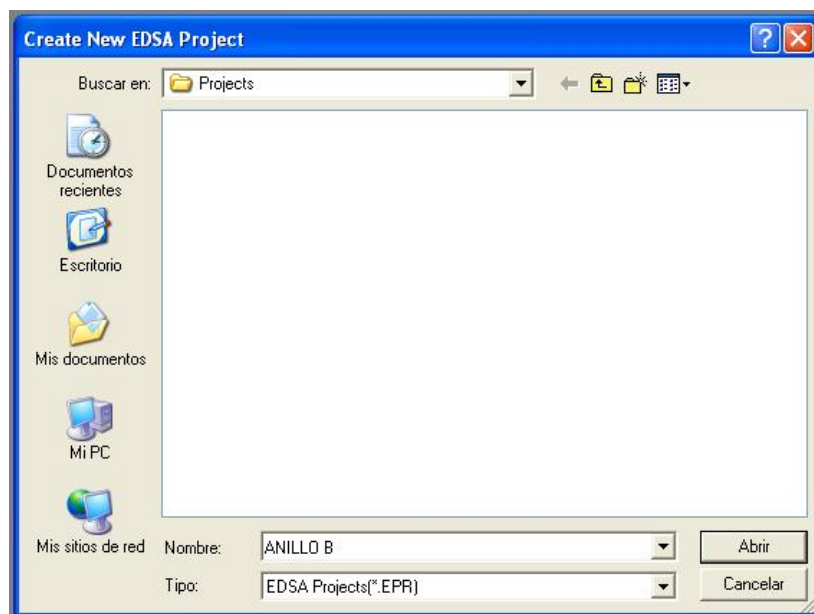




- Una vez que aparece la ventana dar clic en la pestaña EDSA, en el menú desplegado seleccionar *Electrical One-Line AC 3Phase.axt* y presionar OK.



- En la nueva ventana escribir el nombre del proyecto y seleccionar el directorio donde va ser guardado:

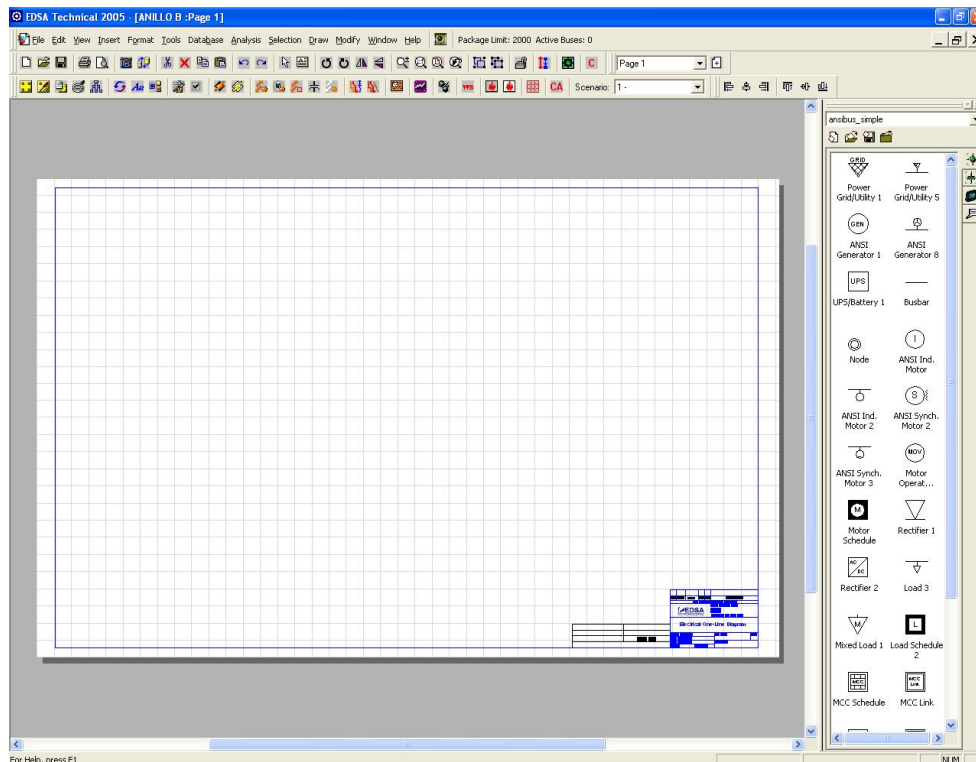




5. Si fuera necesario el programa permite guardar el proyecto con una contraseña. Si no es necesario dar clic en el botón *OK*.



6. Se abrirá la sesión de trabajo del programa con la hoja de trabajo, las barras de herramientas y los catálogos de equipos:

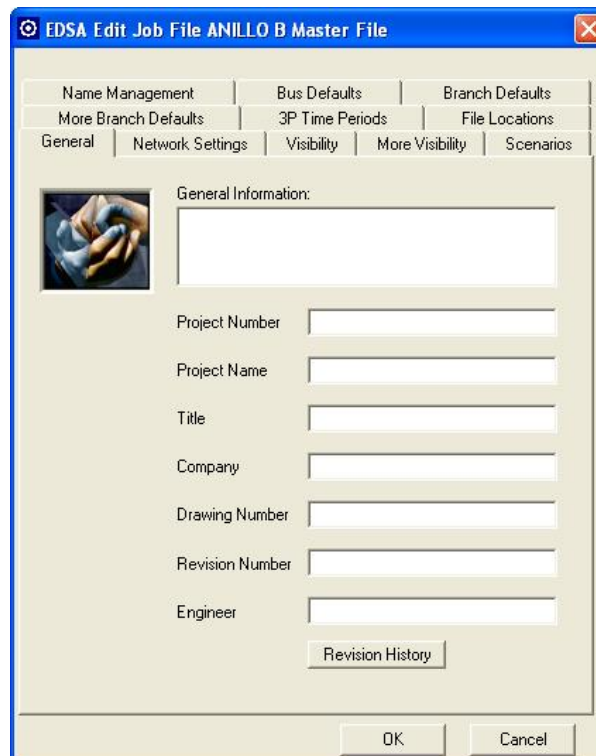




7. Dentro de la hoja de trabajo se procede con la edición del proyecto. Se da click en el icono de *Master File Editor*, el cual se encuentra en la parte superior izquierda:

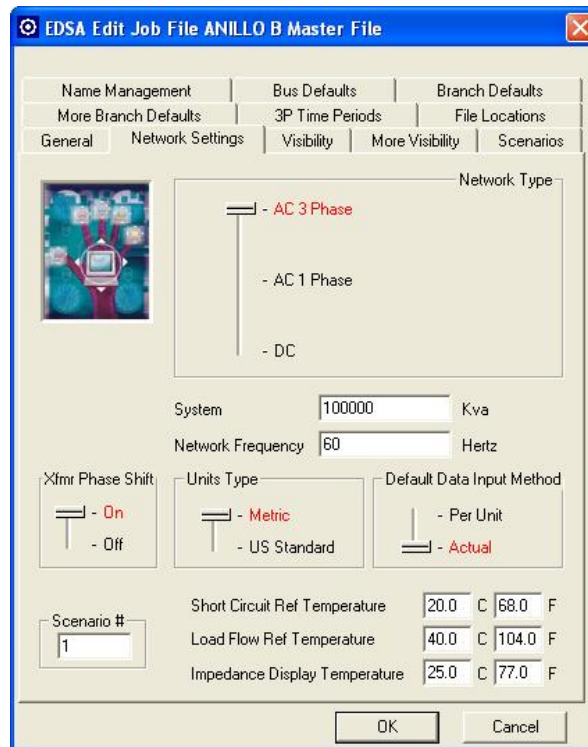


La pestaña *General* permite ingresar los detalles de proyecto, por ejemplo: el nombre y número de proyecto, la compañía, etc. La información escrita en esta pestaña aparecerá en el reporte de resultados que entrega el programa.





La pestaña *Network Settings* permite definir los parámetros del sistema y las condiciones en las cuales estará operando:



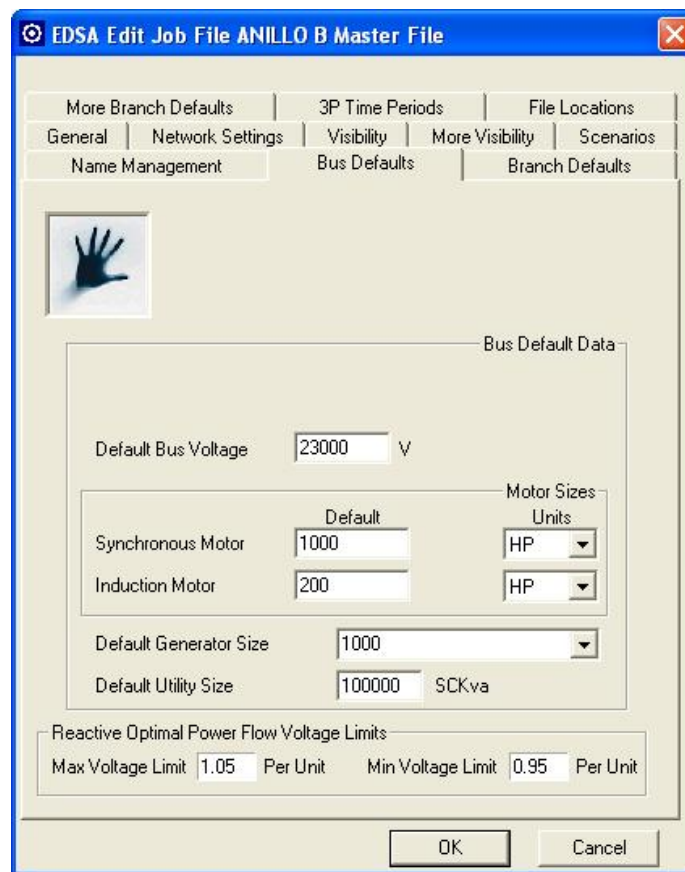
- En *Network Type* seleccionaremos *AC 3 Phase* para sistemas trifásicos.
- En *System* se escribe la potencia base del sistema.
- En *Network Frequency* se escribe la frecuencia operación del sistema.
- En *Units Type* se selecciona *Metric* para utilizar el Sistema Internacional Unidades.
- En *Default Data Input Method* se selecciona *Actual* la cual nos indica que los valores que ingresemos serán valores reales.

Los parámetros restantes de la pestaña *Network Settings* no son modificados.



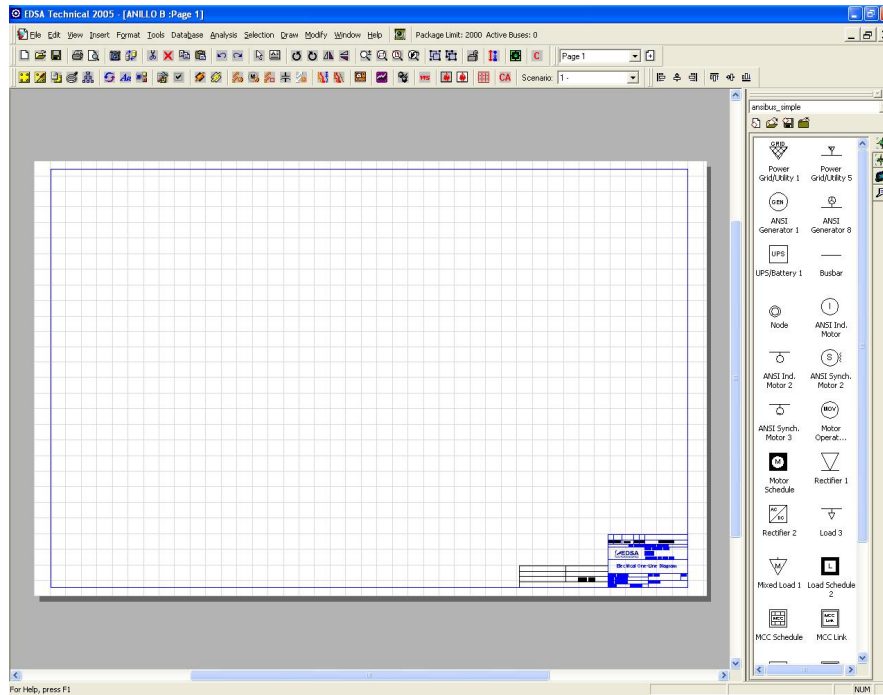
La pestaña *Bus Default* permite predeterminar las características de los equipos fijos:

- En *Default Bus Voltage* se ingresa el valor de tensión de operación que tendrá por defecto los buses.

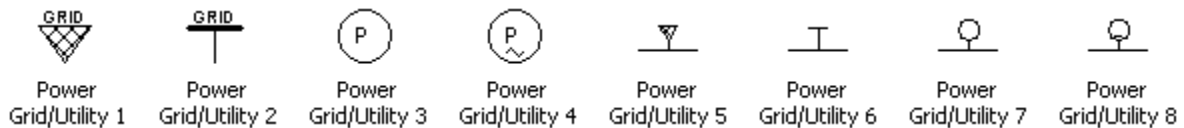


Los parámetros restantes de la pestaña *Bus Default* no son modificados. Una vez ingresados los parámetros presionar *OK*.

Una vez configurados los parámetros del sistema, en la hoja de trabajo se construye el diagrama unifilar.



De la barra de catálogos situada en la parte derecha, dar click sobre el símbolo que represente el equipo y sin soltar el botón arrastrarlo hacia la hoja.



8. En el *Catálogo ANSIBUS* se selecciona el icono *Power Grid/Utility 5*, que corresponde a la compañía suministradora.
9. Dando doble click sobre el icono *Power Grid/Utility 5* aparecerá la siguiente ventana donde se puede modificar los parámetros de la compañía suministradora.



EDSA Job File: ANILLO B Bus Subestación General 1 (1 of 1)

Connection Information
Name: Subestación General 1

Utility Bus
System Volt: 23000.0
Actual Operating V: 23000.0 Volts

Operating Status: On
Frequency: 60
Temperature: 40

Optional Location Information
Zone: [] Area: []

Description | Short Circuit | Load Flow | Dynamic Data | PDC | Reliability | Installation | Optimization

Optional Description
Non-Essential | **Essential** | Critical | Stand-By

Maintenance Schedule
Septiembre de 2010
Dom Lun Mar Mié Jue Vie Sáb
29 30 31 1 2 3 4
5 6 7 8 9 10 11
12 13 14 15 16 17 18
19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 1 2
3 4 5 6 7 8 9

Arc Heat Category: No Arc Heat

Category: []
Notes: []

Serial Number: [] Label: []
Description: []

Enter Bus Name [] [OK] [Cancel]

10. En la pestaña *Short Circuit*, se ingresan las potencias de corto circuito trifásica, bifásica y monofásica, para finalizar dar click en OK.

EDSA Job File: ANILLO B Bus Subestación General 1 (1 of 3)

Connection Information
Name: Subestación General 1

Utility Bus
System Volt: 23000.0
Actual Operating V: 23000.0 Volts

Operating Status: On
Frequency: 60
Temperature: 40

Description | **Short Circuit** | Load Flow | Dynamic Data | PDC | Reliability | Installation | Optimization

Power Data Type
SCKVA
- Kva: 147470
- Mva: []
- Amps: 127722
- Per Unit: L-G 96210

3 Phase Utility X/R
X/R +: 20.00000
X/R -: 20.00000
X/R 0: 20.00000

Utility Base Kva: 147470

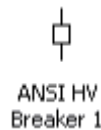
3 Phase Per Unit Values
R +: 0.049938 X +: .998752
R -: 0.049930 X -: .998608
R 0: .129764 X 0: 2.595281

Enter Bus Name [] [OK] [Cancel]



Para simular el equipo de seccionamiento, lo representaremos mediante un interruptor y un bus. Para nuestro caso de estudio no se tiene que modificar ningún parámetro de estos dispositivos.

11. Se selecciona el interruptor *ANSI HV Breaker 1* que se encuentra en el *Catálogo ANSIBUS* y está representado de la siguiente manera:



12. Se selecciona la opción *Busbar* que se encuentra en el *Catálogo ANSIBUS* y está representado de la siguiente manera:



Enseguida se configuran los parámetros de los cables.

13. En el *Catálogo ANSIBUS* se selecciona la figura correspondiente a *Cable*.



14. Dando doble click sobre el símbolo, se abre una ventana en donde se muestran los diversos parámetros que pueden ser configurados.



La descripción del equipo es la siguiente:

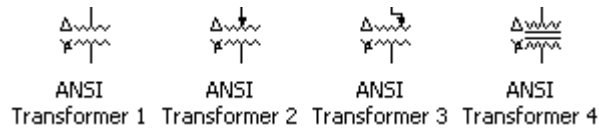
- En *Branch Name* se escribirá el nombre de la línea.
- En *Cable Length* definir la longitud de la línea.
- En *Cables/Phase* escribir el número de cables por fase.
- En *Data Entry Format* seleccionar el tipo de datos que se van a introducir.

15. En la pestaña *Short Circuit* se ingresan los valores de las impedancias de secuencia positiva y cero del cable en la parte de *Cable Resistance and Reactance at 25 °C*; para terminar se da click en OK.

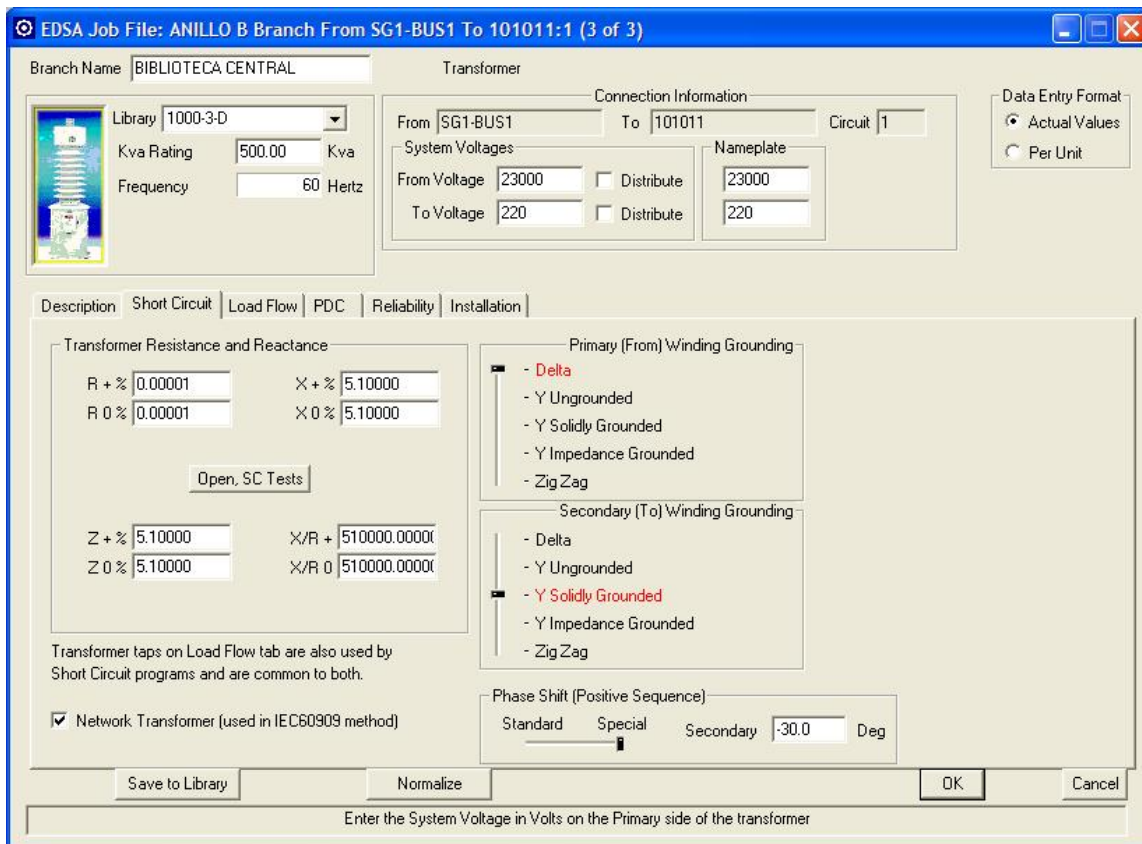


Enseguida se configuran los parámetros del transformador.

16. En el *Catálogo ANSIBRA* se selecciona la figura correspondiente a *ANSI Transformer 1*.



17. Dando doble click sobre el símbolo, se abre una ventana en donde se muestran los diversos parámetros que pueden ser configurados.





Las opciones de la ventana de configuración del transformador son las siguientes:

- En *Branch Name* se escribe el nombre del transformador con el cual será identificado
- En *kVA Rating* se escribe la potencia nominal del transformador.
- En *Frequency* se escribe la frecuencia de operación del sistema.
- En *System Voltages* se escribe la tensión nominal primaria y secundaria del sistema.
- En *Nameplate* se escribe la tensión nominal primaria y secundaria del sistema.
- En *Data Entry Format* seleccionar *Actual Values* para manejar valores en Ohms.

18. En la pestaña *Short Circuit* en la opción *Transformer Reactance and Resistance* se introducen los valores de la impedancias de secuencia del transformador de la siguiente manera:

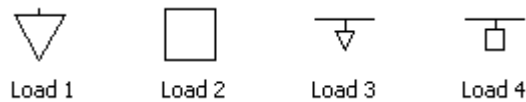
- En $R+\%$ se escribe la resistencia de secuencia positiva en por ciento.
- En $R0\%$ se escribe la reactancia de secuencia cero en por ciento.
- En $X+\%$ se escribe la resistencia de secuencia positiva en por ciento.
- En $X0\%$ se escribe la reactancia de secuencia cero en por ciento.
- Las opciones $Z+\%$, $Z0\%$, $X/R+$ y $X/R0$ se modifican de forma automática con los datos anteriores.

19. Una vez terminada la configuración de los parámetros del transformador se da click en *OK*.




Finalmente se conectan las cargas que en la mayoría de los casos son de tipo resistivo. Por lo que no es necesario configurarlas.

20. En el *Catálogo ANSIBRA* se selecciona la figura correspondiente a *Load 1* y se conecta al transformador.





Si algún equipo se encuentra en color gris se debe a que no está operando o no esta conectado correctamente.


Una vez terminada la configuración del equipo se procede a realizar la simulación del corto circuito.


21. En la barra de herramientas dar clic en el icono  y se desplegaran los siguientes iconos:





 *Options*. Permite editar las opciones de solución del análisis de corto circuito.


 *3P, LL, LG, LLG Fault, 1/2 Cycle*. Permite calcular la corriente de corto circuito trifásica, bifásica, línea a tierra y doble línea a tierra a medio ciclo de duración.

 **3P, LL, LG, LLLG Fault, 5 Cycle.** Permite calcular la corriente de corto circuito trifásica, bifásica, línea a tierra y doble línea a tierra a medio ciclo de duración.

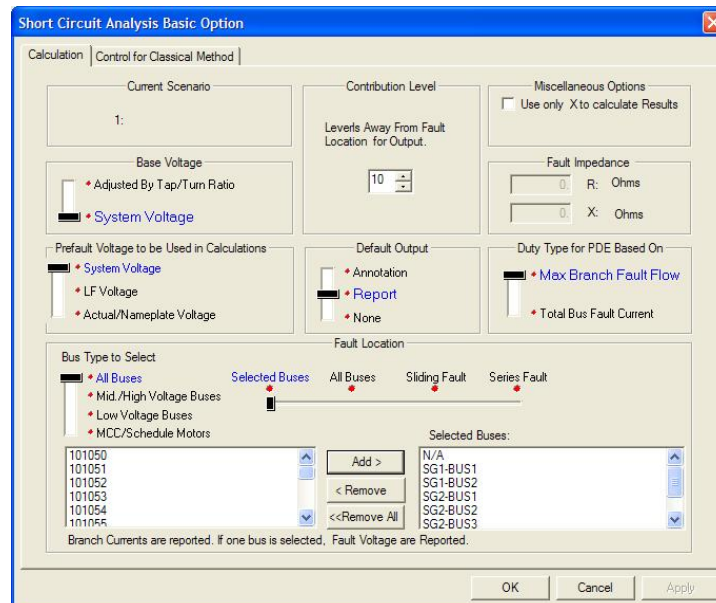
 **3P, LL, LG, LLLG Fault, 30 Cycle.** Permite calcular la corriente de corto circuito trifásica, bifásica, línea a tierra y doble línea a tierra a cinco ciclos de duración.

 **3 Phase Fault, 30 Cycle.** Permite calcular la corriente de corto circuito trifásica a treinta ciclos de duración.

 **Report Manager.** Permite editar las opciones del reporte de resultados del programa.

 **Back Annotation.** Permite editar las anotaciones de resultados en la hoja de trabajo.

22. Si se da click en el icono *Options* se abrirá la siguiente ventana:






En esta ventana el programa solicita los parámetros con los cuales realizará el análisis de corto circuito.

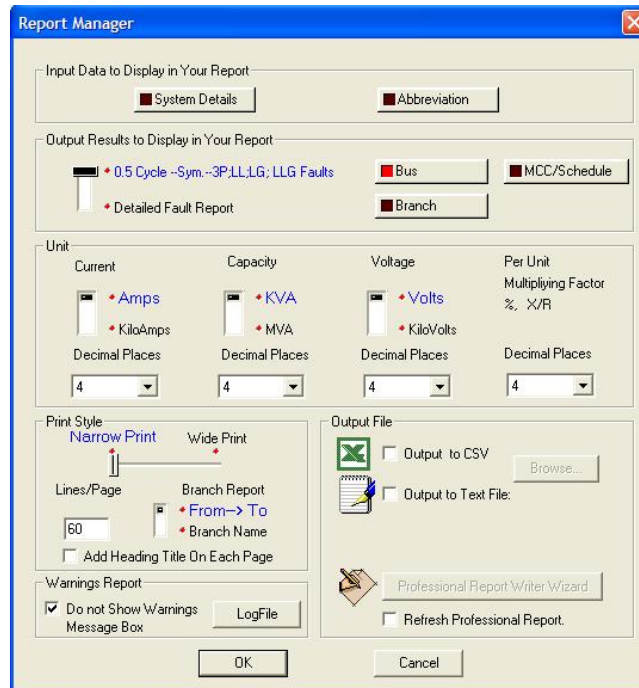
23. En *Base Voltage* se selecciona *System Voltage* para utilizar como base la tensión del sistema.

24. En *Prefault Voltage to be Used in Calculations* se selecciona:

- *System Voltage* para manejar como tensión de prefalla la tensión del sistema.
- En *Default Output* seleccionar:
 - Report si se necesitara de un reporte escrito.
- En *Fault Location* seleccionar:
 - *Selected Buses* para elegir los buses donde se efectuará el análisis de corto circuito.

25. Para finalizar las opciones de análisis de corto circuito dar click en *OK*.

26. Se da click en el icono  *Report Manager*, y aparecerá una ventana donde se detalla el reporte de resultados que entregará el programa.



En *Output Results to Display in your Report* seleccionar:

- *0.5 Cycle-Sym.-3P; LL; LG; LLG Faults* para que el reporte solo genere resultados de corto circuito para medio ciclo.
- *Bus* para que el reporte muestre el análisis de corto circuito en los buses seleccionados.

En *Unit* se eligen las unidades de corriente, potencia y tensión que convengan.

- En *Decimal Places* se elige el número de decimales desplegados en el reporte (de 0 a 4).

27. Para finalizar con las opciones del reporte del programa dar clic en *OK*. Y el programa efectuará el análisis de corto circuito y abrirá en otra ventana el reporte de resultados



EDSA

3-Phase Short Circuit v6.00.00

```

Project No. :                               Page   : 1
Project Name:                               Date    : 09/10/2010
Title       :                               Time    : 05:03:14 pm
Drawing No. :                               Company :
Revision No.:                               Engineer:
Jobfile Name: ANILLO B                       Check by:
Scenario    : 1 :                           Date    :
  
```

```

-----
Base MVA                : 100.000
System Frequency(Hz)    : 60

# of Total Buses        : 35
# of Active Buses       : 35
# of Total Branches     : 33

# of Active Sources     : 2
# of Active Motors      : 0
# of Active Shunts      : 0
# of Transformers       : 7
Reference Temperature(°C) : 20.0
Impedance Displaying Temperature(°C) : 25.0
  
```

Calculating All or Mult-Buses Fault with Fault Z = 0.00000 + j 0.00000 Ohms

Classical Calculation

```

Complex Z for X/R and Fault Current
Transformer Phase Shift is not considered.
Base Voltages : Use System Voltages
Prefault Voltages : Use System Voltages
  
```

```

Jobfile Name: ANILLO B                               Page   : 2
  
```

 Bus Results: 0.5 Cycle--Symmetrical--3P/LL/LG/LLG Faults

Bus Name	Pre-Flt V	3P Flt. A	LL Flt. A	LG Flt. A	LLG Flt A	Thevenin Imped. Complex		3P X/R
						Z+(pu)	Zo(pu)	
SG1-BUS 1	23000.0	3692.91	3198.39	2410.20	3325.17	0.6797	1.7651	15.952
SG1-BUS 2	23000.0	3605.34	3122.53	2351.31	3263.76	0.6963	1.8107	10.187
SG1-BUS 3	220.000	24124.1	20892.1	24636.3	24417.4	10.8784	10.2000	255.31
SG1-BUS 4	220.000	12601.1	10912.9	12742.4	12685.1	20.8261	20.1333	304.92
SG2-BUS 1	23000.0	4408.68	3818.03	2963.68	3980.67	0.5694	1.4022	18.105
SG2-BUS 2	23000.0	4371.32	3785.68	2937.61	3956.05	0.5742	1.4151	14.640
SG2-BUS 3	23000.0	4306.42	3729.46	2891.18	3912.14	0.5829	1.4392	11.054
SG2-BUS 4	23000.0	4268.26	3696.42	2863.28	3885.66	0.5881	1.4544	9.6874
SG2-BUS 5	220.000	18757.6	16244.6	19015.2	18901.8	13.9907	13.4222	443.54
SG2-BUS 6	220.000	12674.2	10976.1	12792.1	12741.1	20.7061	20.1333	525.37
SG2-BUS 7	220.000	14927.5	12927.6	15093.6	15025.2	17.5805	17.0000	333.55
SG2-BUS 8	220.000	18735.4	16225.4	19000.0	18894.5	14.0073	13.4222	231.41

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	
Figura A. Primera casa de la Real y Pontificia Universidad de México.	iv
Figura B. Estadio Olímpico Universitario.	ix
Figura C. Cable tripolar con aislamiento de papel impregnado en aceite.	xiv
Figura D. Seccionador trifásico de 3 vías con aislamiento en aceite mineral.	xv
Figura E. Interruptores en pequeño volumen de aceite (Trompos).	xv
Figura F. Subestación Derivada.	xvi
CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS.	
Figura No. 1.1. Sistema eléctrico de potencia.	1
Figura No. 1.2. Topología Radial.	4
Figura No. 1.3. Topología en Anillo con una sola fuente de alimentación.	5
Figura No. 1.4. Topología en Anillo con dos fuentes de alimentación.	6
Figura No. 1.5. Diagramas fasoriales de secuencia positiva, negativa y cero.	13
Figura No. 1.6. Circuitos equivalentes de secuencia positiva y cero para transformadores de dos devanados.	17
Figura No. 1.7. Diagrama de una falla monofásica.	19
Figura No. 1.8. Redes de secuencia para una falla monofásica a través de una impedancia.	20
Figura No. 1.9. Diagrama de una falla bifásica.	21
Figura No. 1.10. Redes de secuencia para una falla bifásica.	22
Figura No. 1.11. Diagrama de una falla bifásica a tierra.	23
Figura No. 1.12. Redes de secuencia para una falla bifásica a tierra a través de una impedancia.	25
Figura No. 1.13. Diagrama de una falla trifásica a tierra.	26
Figura No. 1.14. Red de secuencia para una falla trifásica.	27
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA RED.	
Figura No. 2.1. Cable de energía aislado.	33
Figura No. 2.2. Cable de energía aislado seleccionado para la nueva red.	35
Figura No. 2.3. Transformador tipo pedestal.	43
Figura No. 2.4. Transformador tipo poste.	44
Figura No. 2.5. Transformador tipo subestación.	44
Figura No. 2.6. Transformador tipo sumergible	45
Figura No. 2.7. Seccionador tipo sumergible.	48
Figura No. 2.8. Seccionador tipo pedestal.	48
Figura No. 2.9. Cámaras de interrupción en vacío.	50



	Pág.
CAPÍTULO 3. TOPOLOGÍA DE LA NUEVA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23 kV).	
Figura No. 3.1. Subestación Derivada utilizada como bodega.	56
Figura No. 3.2. Diagrama unifilar de la Subestación General 1.	58
Figura No. 3.3. Diagrama unifilar de la Subestación General 2.	59
Figura No. 3.4. Diagrama unifilar del Anillo A.	60
Figura No. 3.5. Diagrama unifilar del Anillo B.	61
Figura No. 3.6. Diagrama unifilar del Anillo C.	62
Figura No. 3.7. Diagrama unifilar del Anillo D.	63
Figura No. 3.8. Diagrama unifilar del Anillo E.	64
Figura No. 3.9. Diagrama unifilar del Anillo F.	65
Figura No. 3.10. Diagrama unifilar del Anillo G.	66
Figura No. 3.11. Diagrama unifilar del Anillo H.	67
Figura No. 3.12. Diagrama unifilar de la Subestación General 4.	69
Figura No. 3.13. Diagrama unifilar del Anillo J.	70
Figura No. 3.14. Diagrama unifilar del Anillo K.	71
Figura No. 3.15. Diagrama unifilar de la Subestación General 5.	72
Figura No. 3.16. Diagrama unifilar del Anillo I.	73
Figura No. 3.17. Diagrama unifilar general de las Subestaciones Generales 1 y 2.	74
Figura No. 3.18. Diagrama unifilar general de la Subestación General 4.	75
Figura No. 3.19. Diagrama unifilar general de la Subestación General 5.	76
Figura No. 3.20. Plano General de la Nueva Red de Distribución Subterránea en CU.	77
CAPÍTULO 4. CÁLCULO DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DEL CABLE DE ENERGÍA AISLADO.	
Figura No. 4.1. Arreglo de un circuito en un banco de ductos.	79
Figura No. 4.2. Fórmulas de cálculo de la inductancia total [H/km]. Condumex 2006.	85
Figura No. 4.3. Formaciones para el cálculo de la distancia media geométrica.	94
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL CORTO CIRCUITO LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23KV).	
Figura No. 5.1. Diagrama unifilar del Anillo B.	107
Figura No. 5.2. Diagrama de impedancias de secuencia positiva y negativa.	109
Figura No. 5.3. Diagrama de admitancias de secuencia positiva y negativa.	110
Figura No. 5.4. Diagrama de impedancias de secuencia cero.	114
Figura No. 5.5. Diagrama de admitancias de secuencia cero.	115



	Pág.
CAPÍTULO 6. NIVELES DE CORTO CIRCUITO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23KV).	
Figura No. 6.1. Diagrama unifilar del Anillo A.	134
Figura No. 6.2. Diagrama unifilar del Anillo B.	136
Figura No. 6.3. Diagrama unifilar del Anillo C.	140
Figura No. 6.4. Diagrama unifilar del Anillo D.	146
Figura No. 6.5. Diagrama unifilar del Anillo E.	152
Figura No. 6.6. Diagrama unifilar del Anillo F.	158
Figura No. 6.7. Diagrama unifilar del Anillo G.	164
Figura No. 6.8. Diagrama unifilar del Anillo H.	170
Figura No. 6.9. Diagrama unifilar del Anillo I.	174
Figura No. 6.10. Diagrama unifilar del Anillo J.	177
Figura No. 6.11. Diagrama unifilar del Anillo K.	183



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	
Tabla 1. Subestaciones Generales del Sistema de Distribución Subterránea de Ciudad Universitaria.	xiii
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA RED.	
Tabla 2.1. Normas de referencia para el cable de energía aislado.	34
Tabla 2.2. Características del sistema.	35
Tabla 2.3. Normas de referencia para el transformador.	46
Tabla 2.4. Normas de referencia para el seccionador trifásico.	53
CAPÍTULO 4. CÁLCULO DE IMPEDANCIAS DE SECUENCIA DEL CABLE DE ENERGÍA AISLADO.	
Tabla 4.1. Datos de diseño del conductor	78
Tabla 4.2. Incremento de la resistencia por efecto de cableado. Condumex 2006	81
Tabla 4.3. Valores de Ks y Kp. Condumex 2006.	83
Tabla 4.4. Radio medio geométrico de conductores usuales. Condumex 2006.	86
Tabla 4.5. Fórmulas para el cálculo de la resistencia eléctrica de pantallas y cubiertas metálicas. Condumex 2006.	88
Tabla 4.6. Resistividad eléctrica y coeficiente térmico de materiales usados en pantallas metálicas. Condumex 2006.	89
Tabla 4.7. Profundidad equivalente del regreso por tierra (De) e impedancia de la tierra (Re), a 60[Hz]. Condumex 2006.	95
Tabla 4.8. Impedancias de secuencia de los distintos arreglos.	99
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL CORTO CIRCUITO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23KV).	
Tabla 5.1. Niveles de Corto Circuito en la Subestación de Distribución "Odón de Buen". LyFC.	101
Tabla 5.2. Corrientes de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2.	101
Tabla 5.3. Potencias de corto circuito en las Subestaciones Generales No. 1 y 2.	102
Tabla 5.4. Impedancias de secuencia de las Subestaciones Generales No. 1 y 2	104
Tabla 5.5. Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero en por unidad de los tramos de cable del Anillo B.	105
Tabla 5.6. Impedancias de secuencia equivalentes de Thevenin para el Escenario 1.	117
Tabla 5.7. Corrientes de corto circuito para el Escenario 1.	129
Tabla 5.8. Corrientes de corto circuito para el Escenario 2.	129
Tabla 5.9. Corrientes de corto circuito para el Escenario 3.	130
Tabla 5.10. Corrientes de corto circuito para el Escenario 4	131



	Pág.
Tabla 5.11. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del anillo B.	132

CAPÍTULO 6. NIVELES DE CORTO CIRCUITO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA (23KV).

Tabla 6.1. Corrientes de corto circuito en el Anillo A para el Escenario 1.	135
Tabla 6.2. Corrientes de corto circuito en el Anillo A para el Escenario 2.	158
Tabla 6.3. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo A.	158
Tabla 6.4. Corrientes de corto circuito en el Anillo B para el Escenario 1.	137
Tabla 6.5. Corrientes de corto circuito en el Anillo B para el Escenario 2.	137
Tabla 6.6. Corrientes de corto circuito en el Anillo B para el Escenario 3.	138
Tabla 6.7. Corrientes de corto circuito en el Anillo B para el Escenario 4.	138
Tabla 6.8. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo B.	139
Tabla 6.9. Corrientes de corto circuito en el Anillo C para el Escenario 1.	141
Tabla 6.10. Corrientes de corto circuito en el Anillo C para el Escenario 2.	142
Tabla 6.11. Corrientes de corto circuito en el Anillo C para el Escenario 3.	143
Tabla 6.12. Corrientes de corto circuito en el Anillo C para el Escenario 4.	144
Tabla 6.13. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del anillo C.	145
Tabla 6.14. Corrientes de corto circuito en el Anillo D para el Escenario 1.	147
Tabla 6.15. Corrientes de corto circuito en el Anillo D para el Escenario 2.	148
Tabla 6.16. Corrientes de corto circuito en el Anillo D para el Escenario 3.	149
Tabla 6.17. Corrientes de corto circuito en el Anillo D para el Escenario 4.	150
Tabla 6.18. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo D.	151
Tabla 6.19. Corrientes de corto circuito en el Anillo E para el Escenario 1.	153
Tabla 6.20. Corrientes de corto circuito en el Anillo E para el Escenario 2.	154
Tabla 6.21. Corrientes de corto circuito en el Anillo E para el Escenario 3.	155
Tabla 6.22. Corrientes de corto circuito en el Anillo E para el Escenario 4.	156
Tabla 6.23. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo E.	157
Tabla 6.24. Corrientes de corto circuito en el Anillo F para el Escenario 1.	159
Tabla 6.25. Corrientes de corto circuito en el Anillo F para el Escenario 2.	160
Tabla 6.26. Corrientes de corto circuito en el Anillo F para el Escenario 3.	161
Tabla 6.27. Corrientes de corto circuito en el Anillo F para el Escenario 4.	162
Tabla 6.28. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo F.	163
Tabla 6.29. Corrientes de corto circuito en el Anillo G para el Escenario 1.	165
Tabla 6.30. Corrientes de corto circuito en el Anillo G para el Escenario 2.	166
Tabla 6.31. Corrientes de corto circuito en el Anillo G para el Escenario 3.	167
Tabla 6.32. Corrientes de corto circuito en el Anillo G para el Escenario 4.	168
Tabla 6.33. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo G.	169
Tabla 6.34. Corrientes de corto circuito en el Anillo H para el Escenario 1.	171
Tabla 6.35. Corrientes de corto circuito en el Anillo H para el Escenario 2.	172
Tabla 6.36. Corrientes de corto circuito en el Anillo H para el Escenario 3.	172
Tabla 6.37. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo H.	173
Tabla 6.38. Corrientes de corto circuito en el Anillo I para el Escenario 1.	175
Tabla 6.39. Corrientes de corto circuito en el Anillo I para el Escenario 2.	175
Tabla 6.40. Corrientes de corto circuito en el Anillo I para el Escenario 3.	176
Tabla 6.41. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo I.	176
Tabla 6.42. Corrientes de corto circuito en el Anillo J para el Escenario 1.	179
Tabla 6.43. Corrientes de corto circuito en el Anillo J para el Escenario 2.	180
Tabla 6.44. Corrientes de corto circuito en el Anillo J para el Escenario 3.	181



	Pág.
Tabla 6.45. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo J.	182
Tabla 6.46. Corrientes de corto circuito en el Anillo K para el Escenario 1.	185
Tabla 6.47. Corrientes de corto circuito en el Anillo K para el Escenario 2.	186
Tabla 6.48. Corrientes de corto circuito en el Anillo K para el Escenario 3.	187
Tabla 6.49. Corrientes de corto circuito máximas y mínimas del Anillo K.	188