

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aislamiento extruido: Aislamiento que consiste de una capa de un material termoplástico que se aplica mediante un proceso de Extrusión.

Aislamiento termoplástico: Aislamiento hecho con un plástico capaz de ser ablandado repetidamente por calentamiento y endurecido por enfriamiento por medio de un rango de temperatura característica del plástico, y en estado ablandado, capaz de ser repetidamente perfilado por extrusión.

Aislamiento termofijo: Aislamiento formado por un plástico que, cuando se cura al calor o por otros medios, tales como la radiación, catálisis, etc., prácticamente se convierte en un producto infusible e insoluble.

Ampacidad: Capacidad de conducción de corriente de un cable.

Arborescencia Eléctrica: Fenómeno que se presenta en el aislamiento y que consiste en trayectorias permanentes en forma de ramificaciones, las cuales son debidas a descargas parciales producidas por esfuerzos eléctricos de corriente alterna, directa o de impulso.

Arborescencia Electroquímica: Fenómeno que se presenta en el aislamiento y que se origina por la aplicación de esfuerzos eléctricos en presencia de un líquido.

Bobina de cable: Cilindro con bridas en las que se enrolla el cable durante su fabricación, para almacenamiento, transporte e instalación.

Cable con presión interna de gas: Cable con presión en el que el fluido presurizante es un gas en contacto con el aislamiento.

Cable de extra alta tensión: Son cables de potencia diseñados para operar a tensiones superiores a 230 kV y hasta 500 kV

Caja de conexiones (para circuitos con pantallas aisladas): Caja en la cual las conexiones de enlace y/o conexiones a tierra se realizan mediante enlaces desmontables, y que también podrían contener de sobretensiones en pantalla.

Composite: Los composites o resinas compuestas son materiales sintéticos que están mezclados heterogéneamente y que forman un compuesto, como su nombre indica. Están compuestos por moléculas de elementos variados.

Conductor de conexión de pantalla: Conductor aislado que hace la conexión entre la pantalla del cable o del manguito de empalme y un enlace en la caja de conexiones.

Conductor segmentado: Conductor cableado formado por un conjunto de cables perfilados, ligeramente aislados uno de otro.

Conductor independiente paralelo: Conductor separado o cable de un solo conductor colocado en paralelo a un cable o circuito de un cable y a si mismo forma parte de un circuito cerrado en el que las corrientes inducidas podrían fluir y cuyo campo magnético se opondrá al campo generado por la corriente en el cable.

Cono de alivio: Dispositivo en forma de cono que incrementa el diámetro de la pantalla de aislamiento de un cable de alta tensión, con el propósito de mantener la tensión eléctrica de una conexión o una terminal dentro de los límites de diseño establecidos.

Conexión cruzada en secciones: Forma de conexión cruzada en la cual las tres secciones menores consecutivas se toman para formar una sola sección "llamada sección mayor". Las tres pantallas se conectan sólidamente en ambos extremos de la sección mayor y podrían ponerse a tierra en estos puntos. En las dos posiciones intermedias, los cables generalmente se transponen y las pantallas se interconectan de manera tal, que cada circuito de pantalla continua hacia la sección mayor ocupe la misma posición geométrica en la posición del cable. Para instalaciones muy largas de cables podría haber varias secciones mayores.

Epoxy: Cualquiera de varias resinas termoestables por lo general en condiciones de formarse fuertes estructuras polímero reticulado caracteriza por la dureza, fuerte adherencia, y baja contracción, que se utiliza especialmente en productos de revestimiento y adhesivos.

EPR: Cable de energía para alta tensión con aislamiento extruido a base de Etileno-Propileno, también abreviado como EP.

Extrusión: La extrusión de polímeros es un proceso industrial, en donde se realiza una acción de prensado, moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.

HPGF (High Pressure Gas Filled): Son cables aislados con cintas de papel impregnado en aceite dentro de un tubo de acero con aceite a alta presión.

IEC (Internacional Electrotechnical Commission): Organismo Internacional de Normalización en el campo de la electrotecnia.

Imbricado: Disponer objetos iguales superpuestos parcialmente unos sobre otros.

Llave en mano: Es la realización del proyecto de instalación de cable subterráneo que va desde el diseño de la instalación, el suministro de materiales hasta el montaje y la aplicación de pruebas al sistema ya instalado.

LPOF (Low Pressure oil Filled): Son cables con las mismas características que HPGF pero a baja presión.

Polietileno: Material termoplástico a base de unidades repetitivas de etileno, con excelentes características dieléctricas como: alta resistencia de aislamiento, baja constante dieléctrica y bajas pérdidas dieléctricas a todas las frecuencias. Existen 2 tipos básicos: Polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad, ambos para 75°C de operación normal.

Profundidad de instalación: Distancia entre la superficie superior de un cable directamente enterrado o un conducto aprobado para el uso y el nivel suelo o del piso terminado.

Puesta a tierra: Conexión física al terreno natural, intencionalmente, a través de una conexión o conexiones con impedancia suficientemente baja y capacidad de conducción de corriente eléctrica, que prevengan la formación de tensiones eléctricas peligrosas para las personas o los equipos conectados.

Sección mayor: Una combinación de secciones menores entre las terminales sólidamente aterrizadas.

Sección menor: Longitud del sistema de cables entre los puntos de interrupción de la pantalla o entre las mismas y las terminales.

Transposición: Intercambio en la posición de las fases en una instalación eléctrica con el objetivo de anular la inducción de las fases adyacentes. La transposición se hace típicamente a cada tercio de una línea en sistemas trifásicos.

Um: Tensión máxima de operación.

Un: Tensión fase-fase (nominal).

Uo: Tensión fase-tierra.

XLPE (Cross-Linked-Polyethylene): Cable de energía para alta tensión con aislamiento extruido. Polietileno de cadena cruzada.

TABLA A1a. Datos técnicos para cables monopolares para 400 kV (Um = 420 kV) de ABB

Cross-section of conductor	Diameter of conductor	Insulation thickness	Diameter over insulation	Cross-section of screen	Outer diameter of cable	Cable weight (Al-conductor)	Cable weight (Cu-conductor)	Capacitance	Charging current per phase at 50 Hz	Inductance		Surge impedance
										•••	••••	
mm ²	mm	mm	mm	mm ²	mm	kg/m	kg/m	µF/km	A/km	mH/km	mH/km	Ω
Single-core cables, nominal voltage 400 kV (U_m = 420 kV)												
630	30.2	32.0	96.0	185	111.0	11.8	15.7	0.13	9.2	0.45	0.59	42.2
800	33.7	30.0	95.9	185	112.0	12.1	17.1	0.14	10.3	0.43	0.57	38.7
1000	37.9	29.0	98.1	185	114.0	12.8	19.0	0.16	11.3	0.41	0.55	34.5
1200	44	27.0	102.0	185	119.0	13.3	20.8	0.18	13.4	0.39	0.53	30.6
1400	49	27.0	107.0	185	123.0	14.8	23.5	0.20	14.3	0.37	0.51	27.9
1600	52	27.0	110.0	185	127.0	15.7	25.7	0.21	14.9	0.37	0.50	26.7
2000	56	27.0	114.0	185	131.0	17.3	29.7	0.22	15.7	0.36	0.49	25.4
2500	66	27.0	124.0	185	142.0	19.9	35.4	0.24	17.8	0.31	0.41	22.9
3000	72	27.0	130.0	185	148.0	22.0	40.6	0.26	18.8	0.31	0.39	21.3

TABLA A1b. Datos técnicos para cables monopolares para 400 kV (Um = 420 kV) de BRUGG Cables

Technical data

Copper conductor cross-section		Outer diameter approx.	Cable weight approx.	Capacitance	Impedance (90°C, 50 Hz)	Surge impedance	Min. bending radius	Max. pulling force
mm ²	kcmil							
500	1000	113	16	0.12	0.23	56	2300	30
630	1250	114	17	0.13	0.22	53	2300	38
800	1600	115	18	0.15	0.20	48	2300	48
1000	2000	118	21	0.17	0.19	45	2400	60
1200	2400	122	24	0.19	0.19	43	2450	72
1400	2750	123	25	0.20	0.18	41	2450	84
1600	3200	128	28	0.20	0.18	40	2600	96
2000	4000	135	33	0.21	0.17	39	2700	120
2500	5000	136	38	0.26	0.17	35	2700	150

TABLA A2. Máxima resistencia en corriente directa a 20 °C en [ohm/km] según estandar IEC

Table 21

IEC				
Cross section		Diameter approx.	Maximum d.c. resistance at 20°C, ohm/km	
mm²	kcmil	mm	aluminium	copper
25	49	5.8	1.20	0.727
35	69	7.0	0.868	0.524
50	99	8.0	0.641	0.387
70	138	9.6	0.443	0.268
95	187	11.2	0.320	0.193
120	237	12.8	0.253	0.153
150	296	14.2	0.206	0.124
185	365	15.9	0.164	0.0991
240	474	18.0	0.125	0.0754
300	592	20.5	0.100	0.0601
400	789	23.1	0.0778	0.0470
500	987	26.4	0.0605	0.0366
630	1243	30.2	0.0469	0.0283
800	1579	33.9	0.0367	0.0221
1000	1973	37.9	0.0291	0.0176
1200	2368	44*	0.0247	0.0151
1600	3158	52*	0.0186	0.0113
2000	3944	56*	0.0149	0.0090
2500	4931	66*	0.0120	0.0072
3000	5920	72*	0.0100	0.0060

*Segmented Cu conductor including tapes.

TABLA A3. Resistencia nominal en corriente directa a 20 °C en [ohm/km] según estandar ICEA

Table 22

ICEA					
Cross section			Diameter approx.	Nominal d.c. resistance at 20°C, ohm/km	
AWG	kcmil	mm²	mm	aluminium	copper
4		21.2	5.4	1.36	0.830
2		32.6	6.8	0.857	0.521
1		42.4	7.8	0.680	0.413
1/0		53.5	8.5	0.539	0.328
2/0		67.4	9.6	0.428	0.281
3/0		85	10.7	0.383	0.206
4/0		107	12.1	0.269	0.164
	250	127	13.2	0.228	0.139
	300	152	14.5	0.190	0.116
	350	177	15.6	0.162	0.0990
	500	253	18.7	0.114	0.0695
	750	380	23.0	0.0759	0.0462
	1000	507	26.9	0.0563	0.0347
	1250	633	30.2	0.0454	0.0278
	1500	760	33.5	0.0360	0.0231
	1750	887	36.2	0.0325	0.0198
	2000	1013	38.0	0.0285	0.0173
	2500	1267	45*	0.0230	0.0140
	3000	1520	49*	0.0192	0.0117

1 ohm/100 ft = 3.28 ohm/km

Estandares IEC y ICEA.

Los conductores son fabricados de acuerdo a los siguientes estándares:

IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). Publicación de estándar 60228, clase 2: conductores trenzados de cobre o aluminio.

ICEA Publicación de estándar No. S-97-628, también especificado en ASTM B 400-18 para aluminio y ASTM B para cobre.

TABLA A4. Máxima corriente de corto circuito en el conductor durante 1 segundo en kiloamperes.

Table 15
Max. short-circuit current on the conductor during 1 s, kA
Conductor temperature before the short-circuit

Cross section mm ²	Aluminium conductor		Copper conductor	
	65°C	90°C	65°C	90°C
25	2.6	2.4	3.9	3.6
35	3.6	3.3	5.5	5.0
50	5.2	4.7	7.8	7.2
70	7.2	6.6	11.0	10.0
95	9.8	9.0	14.9	13.6
120	12.4	11.3	18.8	17.2
150	15.5	14.2	23.5	21.5
185	19.2	17.5	29.0	26.5
240	24.8	22.7	37.6	34.5
300	31.1	28.3	47.0	42.9
400	41.4	37.8	62.7	57.2
500	51.8	47.2	78.4	71.5
630	65.2	59.5	98.7	90.1
800	82.8	75.6	125	114
1000	104	94.5	157	143
1200	124	113	188	172
1400	145	132	219	200
1600	166	151	251	229
2000	207	189	313	286
per mm ²	0.104	0.0945	0.157	0.143

La máxima corriente de corto circuito con restricción térmica, se determina por la magnitud y duración de ésta. Para propósitos de diseño, un equivalente de corto circuito con una duración de 1 segundo, se utiliza la siguiente formula:

$$I_{sh} = \frac{I1}{\sqrt{t_{sh}}}$$

Esta formula es válida para corrientes de corto circuito con una duración entre 0.2 y 0.5 segundos.

I_{sh} = corriente de corto circuito en [kA] durante el tiempo t_{sh}

$I1$ = corriente de corto circuito durante 1 segundo. Ver tablas A4 y A5

t_{sh} = Duración del corto circuito en segundos.

Para conductores aislados con XLPE la temperatura máxima de corto circuito son 250 °C

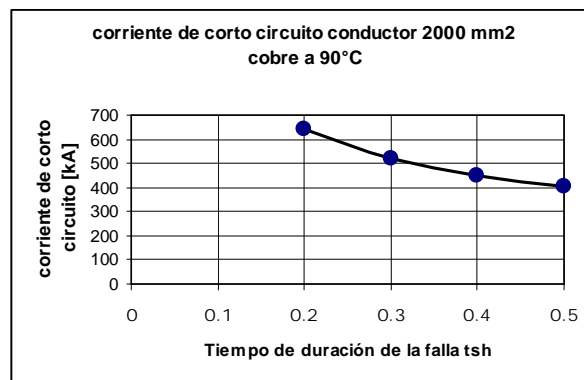


TABLA A5. Máxima corriente de corto circuito en pantalla metálica durante 1 segundo en kiloamperes.

Table 10

Max. short-circuit current on the screen during 1 s, kA			
Metallic screen cross section, mm ²		Metallic screen temperature before the short-circuit	
Copper screen	Lead sheath	50°C	70°C
16	94	2.6	2.4
25	147	4.1	3.8
35	206	5.8	5.4
50	295	8.3	7.7
95	560	16	15
150	884	25	23
300	1768	50	46
per mm ² Cu		0.165	0.153
per mm ² Pb		0.028	0.028

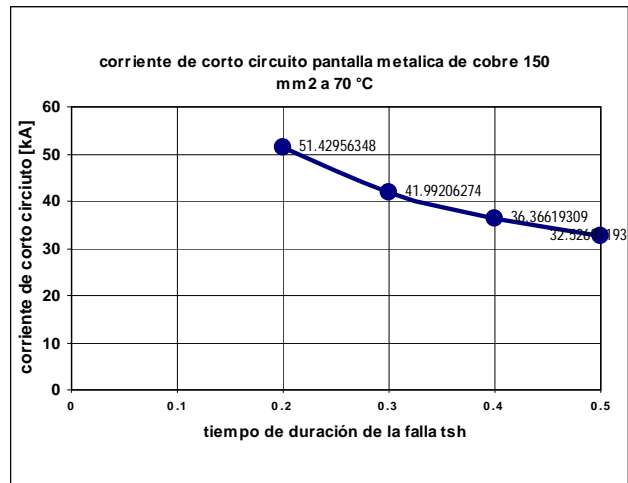
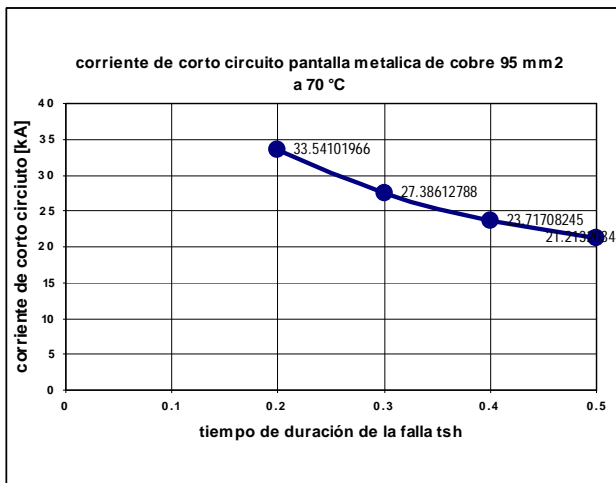


TABLA A6a. Valores de corriente para sistemas de cables XLPE de ABB

Condiciones:

- Profundidad: 1 [m]
- Temperatura de la tierra: 25 °C
- Distancia "s" entre cables: 70mm + De (De = Diámetro exterior del cable)
- Resistividad térmica de la tierra: 1 km/W

Table 5

Cross section conductor		Rated voltage 110-500 kV, copper conductor - 95 mm ² screen								Segmental conductor for 1200 mm ² or more.							
		Cables in Ground								Cables in Air							
		Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●				Flat formation ●●●				Trefoil formation ●●●			
		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends		Crossbonded		Both ends		Cross bonded		Both ends	
mm ²	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	
300	530	640	440	535	505	610	480	580	600	805	500	685	525	710	500	685	
400	600	720	485	595	575	690	540	650	680	915	565	775	605	820	575	785	
500	685	825	530	650	655	785	600	730	790	1060	625	860	695	945	650	895	
630	780	940	570	705	740	890	660	810	915	1235	685	950	800	1085	735	1010	
800	870	1055	610	755	825	995	720	885	1045	1415	745	1040	905	1235	815	1130	
1000	960	1165	645	800	900	1095	770	950	1175	1590	800	1125	1005	1380	895	1245	
1200	1115	1345	690	860	1060	1280	855	1055	1395	1880	880	1240	1210	1650	1025	1425	
1400	1205	1455	715	890	1145	1385	895	1110	1530	2065	920	1300	1320	1800	1090	1525	
1600	1280	1550	735	920	1215	1470	930	1155	1655	2235	960	1355	1420	1940	1150	1615	
2000	1410	1705	765	955	1320	1605	980	1220	1845	2500	1000	1425	1565	2145	1230	1740	
2500	1540	1875	795	1000	1445	1755	1025	1285	2095	2845	1065	1515	1750	2410	1330	1890	
3000	1640	1995	820	1025	1530	1865	1055	1330	2280	3105	1100	1575	1885	2600	1400	1990	

TABLA A6b. Valores de corriente para sistemas de cables XLPE de BRUGG Cables

Condiciones:

- Profundidad: 1.2 [m]
- Temperatura de la tierra: 25 °C
- Temperatura del aire: 25°C
- Distancia "s" entre cables: 0.3 [m] (formación plana)
- Resistividad térmica de la tierra: 1 km/W
- Frecuencia del sistema: 50 [Hz]
- Valores aplicables a cables de 380kV a 400 kV de acuerdo a la IEC 62067

Load Factor		Buried in soil ..	Buried in soil ..	Buried in soil ***	Buried in soil ***	In free air ..	In free air ***
		0.7	1.0	0.7	1.0	-	-
mm ²	kcmil	A	A	A	A	A	A
500	1000	853	723	912	788	924	1006
630	1250	972	819	1049	900	1068	1173
800	1600	1098	917	1199	1020	1228	1367
1000	2000	1298	1076	1416	1195	1478	1647
1200	2400	1402	1158	1534	1290	1612	1804
1400	2750	1509	1241	1665	1394	1755	1980
1600	3200	1600	1315	1767	1477	1869	2112
2000	4000	1760	1440	1956	1628	2078	2376
2500	5000	1931	1565	2190	1804	2347	2739

ANEXO B Memoria de cálculo para cable mono polar de 2000 mm² con datos de “ABB XLPE cable systems user’s guide”

CONDUCTOR DE COBRE TIPO MILLIKEN

Datos:

Diámetro del conductor:	56 [mm]
Formación:	plana
Separación entre cables S:	500 [mm]
Distancia Media Geométrica (1.26*500):	630 [mm]
Resistencia en C.D. a 20°C:	0.009 [Ω/Km]
Coefficiente de corrección por temperatura α 20°C:	0.00393

1. Cálculo de la Resistencia en CD

Resistencia en C.D. a 90°C

$$R_{90^{\circ}\text{C}} = [1 + \alpha_{20^{\circ}\text{C}} * (t-20)] * R_{cd20^{\circ}\text{C}}$$

$$R_{90^{\circ}\text{C}} = [1 + \alpha_{20^{\circ}\text{C}} * (90-20)] * 0.009 = 0.01143 [\Omega/\text{Km}]$$

2. Cálculo de la Resistencia en CA para el conductor

Resistencia en C.A. a 90°C

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = [1 + Y_s + Y_p]$$

$$X_s^2 = \frac{8 * \pi * 60 * 10^{-7} * 0.435}{0.01143} = 5.7384 * 10^{-3}$$

$$X_s^4 = (5.7384 * 10^{-3})^2 = 3.2929 * 10^{-5}$$

$$Y_s = \frac{3.2929 * 10^{-5}}{(192 + 3.2929 * 10^{-5})} = 1.715068 * 10^{-7}$$

$$X_p^2 = \frac{8 * \pi * 60 * 10^{-7} * 0.37}{0.01143} = 4.8814 * 10^{-3}$$

$$X_p^4 = 2.38283 * 10^{-5}$$

$$Y_p = 1.241057 * 10^{-7} * 0.012544 [1.6558 * 10^{-3} + 9521393.376]$$

$$Y_p = 0.01482$$

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = [1 + 1.715068 * 10^{-7} + 0.01482] * 0.01143$$

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = 0.0116095 [\Omega/\text{Km}]$$

3.- Cálculo de la resistencia en CA de la pantalla metálica

PANTALLA DE COBRE

Área de sección transversal: 95 [mm²]

Resistencia en C.D. a 20 °C: 0.193 [Ω/Km]

Resistencia en C.D. a 90 °C

$$R_{90^{\circ}\text{C}} = [1 + 0.00393 * (90-20)] * 0.193$$

$$R_{90^{\circ}\text{C}} = 0.304111 \text{ } [\Omega/\text{Km}]$$

Resistencia en C.A. de la pantalla considerando solo el efecto piel

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = [1 + Y_S]$$

$$X_S^2 = \frac{8 * \pi * 60 * 10^{-7} * 1}{0.304111} = 4.9585 \times 10^{-4}$$

$$X_S^4 = 2.45877 \times 10^{-7}$$

$$Y_S = \frac{2.45877 \times 10^{-7}}{(192 + 2.45877 \times 10^{-7})} = 1.280609 \times 10^{-9}$$

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = [1 + 1.280609 \times 10^{-9}] * 0.304111$$

$$R_{CA90^{\circ}\text{C}} = 0.30411 \text{ } [\Omega/\text{Km}]$$

4.- Cálculo de la impedancia de secuencia positiva y negativa

R_{CA} : Resistencia del conductor en C.A.

w : $2\pi * f$ ($f = 60 \text{ Hz}$)

S : separación entre cables (formación plana: $DMG = 1.26S$)

r_c : radio del conductor

Formación plana con transposición.

$$Z^+ = Z^- = R_{CA} + j w * [0.05 + 0.2 * \ln(s/r_c)]$$

$$Z^+ = Z^- = 0.0116095 + j (2 * \pi * 60) * [(0.05 + 0.2 * \ln(630/28)) / 1000]$$

$$Z^+ = Z^- = 0.0116095 + j 0.2536 \text{ } [\Omega/\text{Km}]$$

5.- Cálculo de la Impedancia de secuencia cero

Retorno de la corriente de corto circuito por pantalla y por tierra.

$$Z_0 = Z_a - \frac{Z_m^2}{Z_e}$$

Za: Impedancia en el conductor

$$Z_a = R + 3R_s + j \mu_0 * f * \ln \left(\frac{2 * h^3}{0.799 * d_c * a m^2} \right)$$

R = Resistencia del conductor en c.a. a 90°C

R_s = Resistencia de tierra (0.178 [Ohm/Km]) (Ver tabla 4.8)

R_e = Resistencia de la pantalla metálica en c.a.

h = Profundidad equivalente. (ver tabla 4.8)

Resistividad de la tierra: 1000 [ohm-m] (Ver tabla 4.8)

d_c = Diámetro del conductor

d_m = Diámetro de la pantalla

ANEXO B CÁLCULO DE IMPEDANCIA

am = Distancia geométrica entre conductores (formación plana: DMG=1.26S)

f = frecuencia del sistema 60[Hz]

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [Henry/m]

$$Z_a = \frac{0.0116095 \left[\frac{\Omega}{m} \right]}{1000} + 3 \frac{0.178 \left[\frac{\Omega}{m} \right]}{1000} + j4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right] * 60 * \ln \left(\frac{2 * (2.68 \times 10^3 [m])^3}{0.799 * \frac{56}{1000} [m] * \left(\frac{630}{1000} [m] \right)^2} \right)$$

$$Z_a = 11.6095 \times 10^{-6} + 534 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * \ln \left(\frac{2 * (2.68 \times 10^3)^3}{0.01775889} \right)$$

$$Z_a = 11.6095 \times 10^{-6} + 534 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * \ln \left(\frac{3.84976 \times 10^{10}}{0.01775889} \right)$$

$$Z_a = 545.6095 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * 28.40473$$

$$Z_a = 545.6095 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 1704.2838$$

$$Z_a = 545.6095 \times 10^{-6} + j2141.6711 \times 10^{-6} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$Z_a = 0.5456095 + j2.1416711 \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

Ze: Impedancia de la Pantalla Metálica

$$Z_e = R_e + 3R_s + j\mu_0 * f * \ln \left(\frac{2 * h^3}{dm * am^2} \right)$$

$$Z_e = \frac{0.30411 \left[\frac{\Omega}{m} \right]}{1000} + 3 \frac{0.178 \left[\frac{\Omega}{m} \right]}{1000} + j4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right] * 60 * \ln \left(\frac{2 * (2.68 \times 10^3 [m])^3}{\frac{116}{1000} [m] * \left(\frac{630}{1000} [m] \right)^2} \right)$$

$$Z_e = 304.11 \times 10^{-6} + 534 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * \ln \left(\frac{3.84976 \times 10^{10}}{0.0460404} \right)$$

$$Z_e = 838.11 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * 27.452097$$

$$Z_e = 838.11 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 1647.12582$$

$$Z_e = 838.11 \times 10^{-6} + j2069.84419 \times 10^{-6} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

$$Z_e = 0.83811 + j2.0698442 \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

Zm: Impedancia mutua entre el conductor y la pantalla metálica

$$Z_m = 3 * R_s + j\mu\omega * f * \ln\left(\frac{2 * h^3}{dm * am^2}\right)$$

$$Z_m = 3 \frac{0.178 \left[\frac{\Omega}{m}\right]}{1000} + j4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m}\right] * 60 * \ln\left(\frac{2 * (2.68 \times 10^3 [m])^3}{\frac{116}{1000} [m] * \left(\frac{630}{1000} [m]\right)^2}\right)$$

$$Z_m = 534 \times 10^{-6} + j4\pi \times 10^{-7} * 60 * \ln\left(\frac{3.84976 \times 10^{10}}{0.0460404}\right)$$

$$Z_m = 534 \times 10^{-6} + j2069.84419 \times 10^{-6} \left[\frac{\Omega}{m}\right]$$

$$Z_m = 0.534 + j2.0698442 \left[\frac{\Omega}{km}\right]$$

$$Z_0 = Z_a - \frac{Z_m^2}{Z_e} = 0.5456095 + j2.1416711 \left[\frac{\Omega}{km}\right] - \frac{\left(0.534 + j2.0698442 \left[\frac{\Omega}{km}\right]\right)^2}{0.83811 + j2.0698442 \left[\frac{\Omega}{km}\right]}$$

$$Z_0 = 0.5456095 + j2.1416711 - (0.2454335 + j2.0314569)$$

$$Z_0 = 0.300176 + j0.115254 [\Omega/km]$$

Valores en P.U.

Potencia Base:	100	MVA
Tensión Base:	400	kV
Corriente Base:	144.33	A
Impedancia Base:	1600	Ω

$$Z_{0pu} = \left(\frac{0.300176}{1600}\right) + j\left(\frac{0.115254}{1600}\right)$$

$$Z_{0pu} = 0.0001876 + j0.0000720338 [\Omega/km]$$

$$Z_{+pu} = Z_{-pu} = \left(\frac{0.0116095}{1600}\right) + j\left(\frac{0.2536}{1600}\right)$$

$$Z_{+pu} = Z_{-pu} = 0.000007256 + j0.0001585 [\Omega/km]$$