



PROYECTO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA 4.0

Modelado y simulación de redes eléctricas de distribución hacia las redes eléctricas inteligentes: Modelado y simulación de líneas de distribución

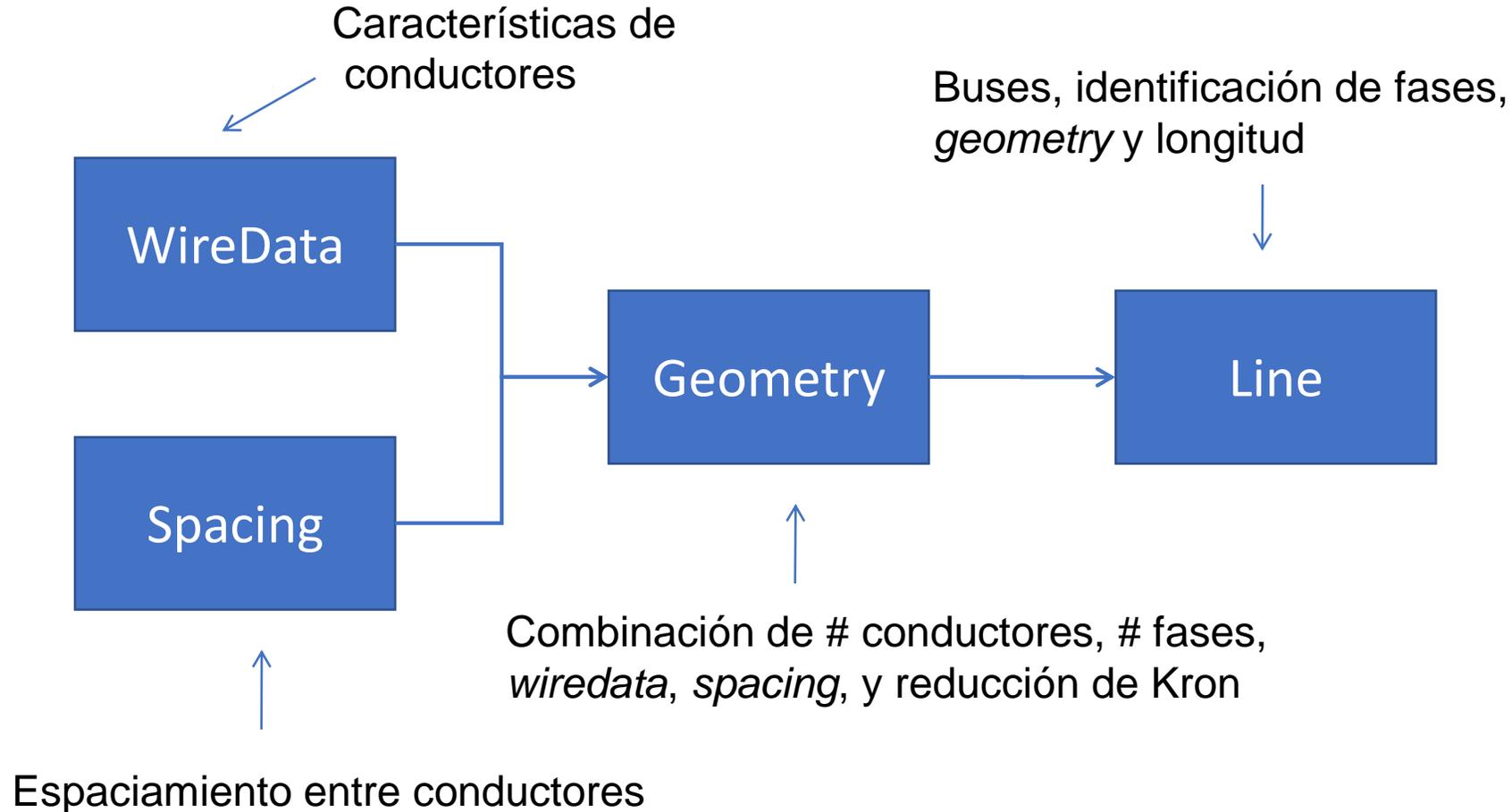
Contenidos

- Modelado de líneas aéreas de MT
- Introducción al objeto *wiredata*
- Concepto de lineGeometry y lineSpacing
- Cálculo de impedancia de líneas MT
- Cálculo de capacitancias de líneas MT
- Modelado de cables subterráneos de MT
- Modelado de cables de neutro concéntrico
- Modelado de líneas de BT
- Acometidas (triplex)
- Anexos: Ejercicios para participantes



Líneas MT aéreas en OpenDSS

El modelado de una línea en OpenDSS requiere la declaración de 4 objetos:



Conductores

Los conductores utilizados en líneas de transmisión y distribución deben tener las siguientes características:

- Debe ser buen conductor – baja resistencia
- Alta capacidad para soportar estrés mecánico (no debe ser frágil)
- Bajo peso por unidad de volumen
- Bajo costo para ser usado a grandes distancias (transmisión)

Los conductores de cobre, aluminio, acero y aluminio con acero son mayoritariamente utilizados en la industria de transmisión y distribución. En la mayoría de los casos los conductores están hechos de hilos entrelazados para brindar flexibilidad

Conductores

La mayor3a de conductores en l3neas de transmisi3n son de aluminio: *AAC*, *AAAC*, *ACAR* y *ACSR*. Estos son m3s usados que el cobre (escaso y costoso).

Los conductores *AAC* (todo aluminio) se utilizan cuando se requiere un conductor liviano y la fuerza del conductor no es un factor determinante.

Los conductores *AAAC* (todo aleaci3n de aluminio) tienen una mayor capacidad de soportar tensi3n mec3nica.

AAC = All Aluminum Conductor
AAAC = All Aluminum Alloy Conductor
ACAR = Aluminium Conductor Alloy Reinforced
ACSR = Aluminium conductor steel-reinforced



Conductor de aluminio AAC

Conductores

- Los tipo ACSR (conductor de aluminio reforzado con acero) son regularmente seleccionados por su bajo costo y buena fortaleza. Este tipo de conductor consiste de un núcleo de acero, para proveer soporte mecánico, rodeado por capas de aluminio.
- La cantidad y disposición de los hilos en los ACSR varía las características mecánicas y eléctricas del conductor.



Conductores

Los ACAR son conductores de aluminio reforzados con aleación de AlMgSi (aluminio magnesio y silicio). Tiene mejores propiedades mecánicas y eléctricas comparadas con su equivalente AAC, AAAC o ACSR.

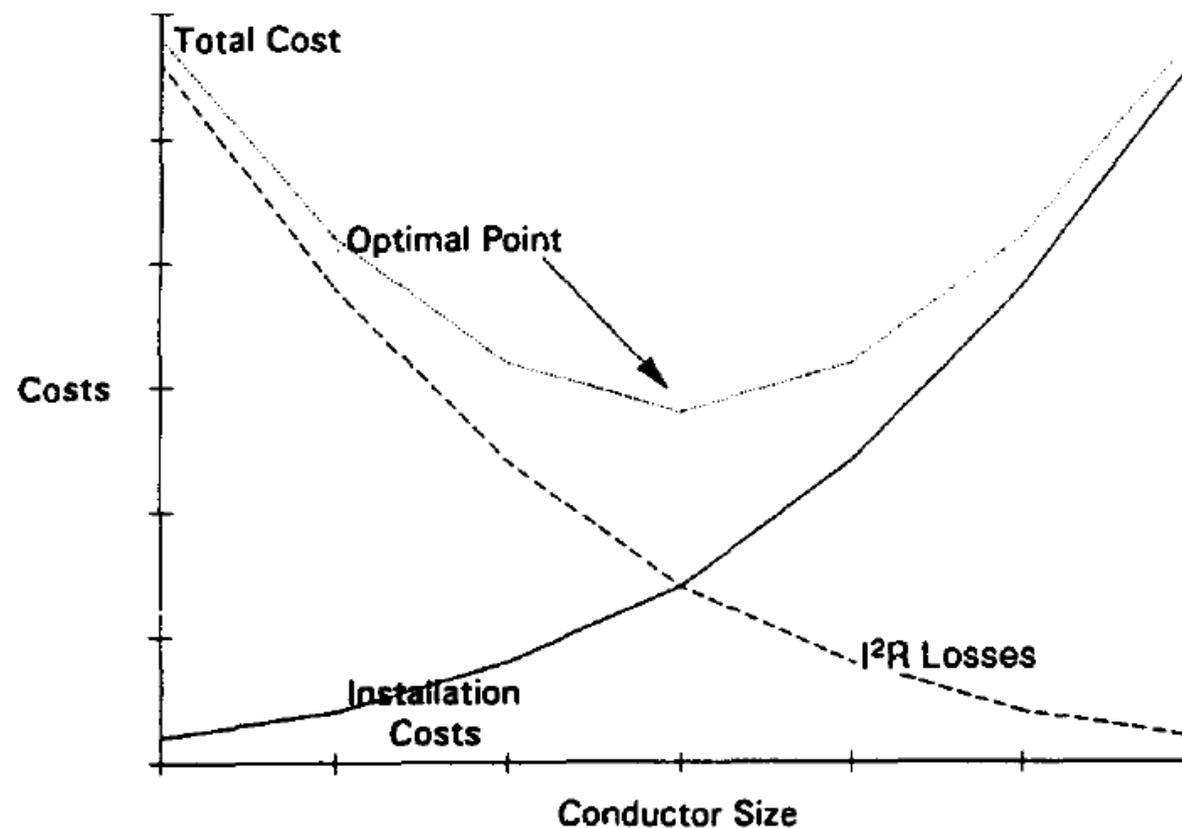


Composición de conductores ACSR

Conductores

El costo del conductor seleccionado está directamente relacionado con el calibre del mismo. Los conductores gruesos tienen mayor costo pero reducen la resistencia (reduce pérdidas de transmisión y distribución). La selección del calibre no solo debe contemplar el criterio técnico sino que se debe considerar el aspecto económico.

El tamaño del conductor más eficiente se encuentra haciendo un balance entre los costos por pérdidas eléctricas, que disminuyen conforme aumenta el tamaño del conductor, y los costos de instalación.



Conductores en OpenDSS

OpenDSS utiliza el objeto *wiredata* para definir un conductor con la siguiente información:

- **Nombre:** Identificador (único) del conductor
- **GMR:** Radio medio geométrico del conductor
- **GMRunits:** unidades del dato GMR (ft, in, cm, etc)
- **DIAM:** Diámetro externo del conductor
- **Radunits:** unidades del dato DIAM (in, mm, m, ft, etc)
- **Rac:** Resistencia ac del conductor
- **Runits:** unidades del dato Rac (km $\rightarrow \Omega/\text{km}$, kft $\rightarrow \Omega/\text{kft}$, mile $\rightarrow \Omega/\text{milla}$)
- **Normamps:** Ampacidad del conductor en condiciones normales

Hojas de fabricante

AAC



Code Word	Size (AWG or kcmil)	Stranding		Diameter (ins.)		Cross-Sectional Area (Sq. ins.)	Weight Per 1000 ft. (lbs.)	Rated Strength (lbs.)	Resistance OHMS/1000 ft.		Allowable Ampacity+ (Amps)
		No. of Wires	Class	Individual Wires	Complete Cable				DC @ 20°C	AC @ 75°C	
Peachbell	6	7	A	.0612	.184	.0206	25	563	.658	.805	103
Rose	4	7	A	.0772	.232	.0328	39	881	.414	.506	138
Iris	2	7	AA, A	.0974	.292	.0522	62	1350	.260	.318	185
Pansy	1	7	AA	.1093	.328	.0657	78	1640	.207	.252	214
Poppy	1/0	7	AA, A	.1228	.368	.0829	99	1990	.164	.200	247
Aster	2/0	7	AA, A	.1379	.414	.1045	125	2510	.130	.159	286
Phlox	3/0	7	AA, A	.1548	.464	.1317	157	3040	.103	.126	331
Oxlip	4/0	7	AA, A	.1739	.522	.1663	198	3830	.0817	.0999	383



CODE WORD	AWG	STRANDING		DIAMETER		CROSS SECTIONAL AREA (SQ. IN)	WEIGHT PER 1000 (LBS) FT	RATED BREAKING STRENGTH (LBS)	RESISTANCE OHMS/1000FT		RATING (AMPS)
		NUMBER OF WIRES	CLASS	INDIVIDUAL WIRE	COMP. CABLE				DC @ 20°C	AC @ 75°C	
Iris	2	7/W	AA,A	0.0974	0.292	.0521	62.3	1,235	0.26	0.318	185
Poppy	1/0	7/W	AA,A	0.1228	0.368	0.0829	99.1	1,990	0.164	0.202	247
Aster	2/0	7/W	AA,A	0.1379	0.414	0.1045	124.9	2,510	0.130	0.159	286
Phlox	3/0	7/W	AA,A	0.1548	0.464	0.1318	157.5	3,040	0.103	0.126	331
Oxlip	4/0	7/W	AA,A	0.1739	0.522	0.1662	198.6	3,830	0.0817	0.0999	383

Ejemplo 1

A partir de hojas de fabricante creamos una biblioteca de conductores AAC en un archivo de OpenDSS (se guarda el archivo con extensión *.dss)

```
WireDataAAC.dss
1  !! Biblioteca Conductores AAC
2
3  new Wiredata.AAC_6_7STR      GMR=0.00555 DIAM=0.184  Rac=0.805  Normamps=103  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
4
5  new Wiredata.AAC_4_7STR      GMR=0.00700 DIAM=0.232  Rac=0.506  Normamps=138  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
6
7  new Wiredata.AAC_2_7STR      GMR=0.00883 DIAM=0.292  Rac=0.318  Normamps=185  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
8
9  new Wiredata.AAC_1_7STR      GMR=0.0099  DIAM=0.328  Rac=0.252  Normamps=214  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
10
11 new Wiredata.AAC_1/0_7STR     GMR=0.0111  DIAM=0.368  Rac=0.2000 Normamps=247  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
12
13 new Wiredata.AAC_2/0_7STR     GMR=0.0125  DIAM=0.414  Rac=0.1590 Normamps=286  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
14
15 new Wiredata.AAC_3/0_7STR     GMR=0.0140  DIAM=0.464  Rac=0.1260 Normamps=331  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
16
17 new Wiredata.AAC_4/0_7STR     GMR=0.0158  DIAM=0.522  Rac=0.0999 Normamps=383  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
18
19 new Wiredata.AAC_250_7STR     GMR=0.0171  DIAM=0.567  Rac=0.0846 Normamps=425  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
20
21 new Wiredata.AAC_250_19STR    GMR=0.0181  DIAM=0.574  Rac=0.0846 Normamps=426  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
22
23 new Wiredata.AAC_266.8_7STR   GMR=0.0177  DIAM=0.586  Rac=0.0793 Normamps=443  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
24
25 new Wiredata.AAC_266.8_19STR  GMR=0.0187  DIAM=0.592  Rac=0.0793 Normamps=444  Runits=kft  Radunits=in  GMRunits=ft
```

Espaciamiento entre conductores

El espaciamiento entre conductores de una línea se define en *spacing*.

La siguiente información es necesaria para definir el espaciamiento:

- **name:** identificador (único) del espaciamiento (montaje)
- **nconds:** número de conductores (debe incluir conductores vivos y neutros)
- **nphases:** número de fases (no debe incluir neutros)
- **units:** unidad de longitud de las distancias a especificar (m, cm, ft, in)
- **x:** vector de posición horizontal de los conductores
- **h:** vector de alturas (con respecto al suelo) de los conductores

La referencia **x** la define el usuario. **Una opción** puede ser **usar el poste** como referencia ($x=0$), entonces los conductores a la izquierda tendrán posición negativa y los que estén a la derecha serán positivos. **Otra opción** es usar el **conductor más a la izquierda** como $x=0$ y todos los demás tendrán posición positiva.

Geometría de conductores

La geometría de una línea se define en *geometry*.

- **name:** identificador (único) de la geometría
- **nconds:** número de conductores (incluye vivos y neutros)
- **nphases:** número de fases (no incluye neutros)
- **spacing:** nombre del espaciamiento para esta geometría
- **wires:** vector de conductores que componen esta geometría
- **Reduce:** Especifica si usa reducción de Kron (Y, yes, no)

Cuando se tiene de antemano la impedancia (o matriz de impedancias) de la línea se usa el objeto *linecode* en lugar de *geometry*. Esto se verá más adelante.

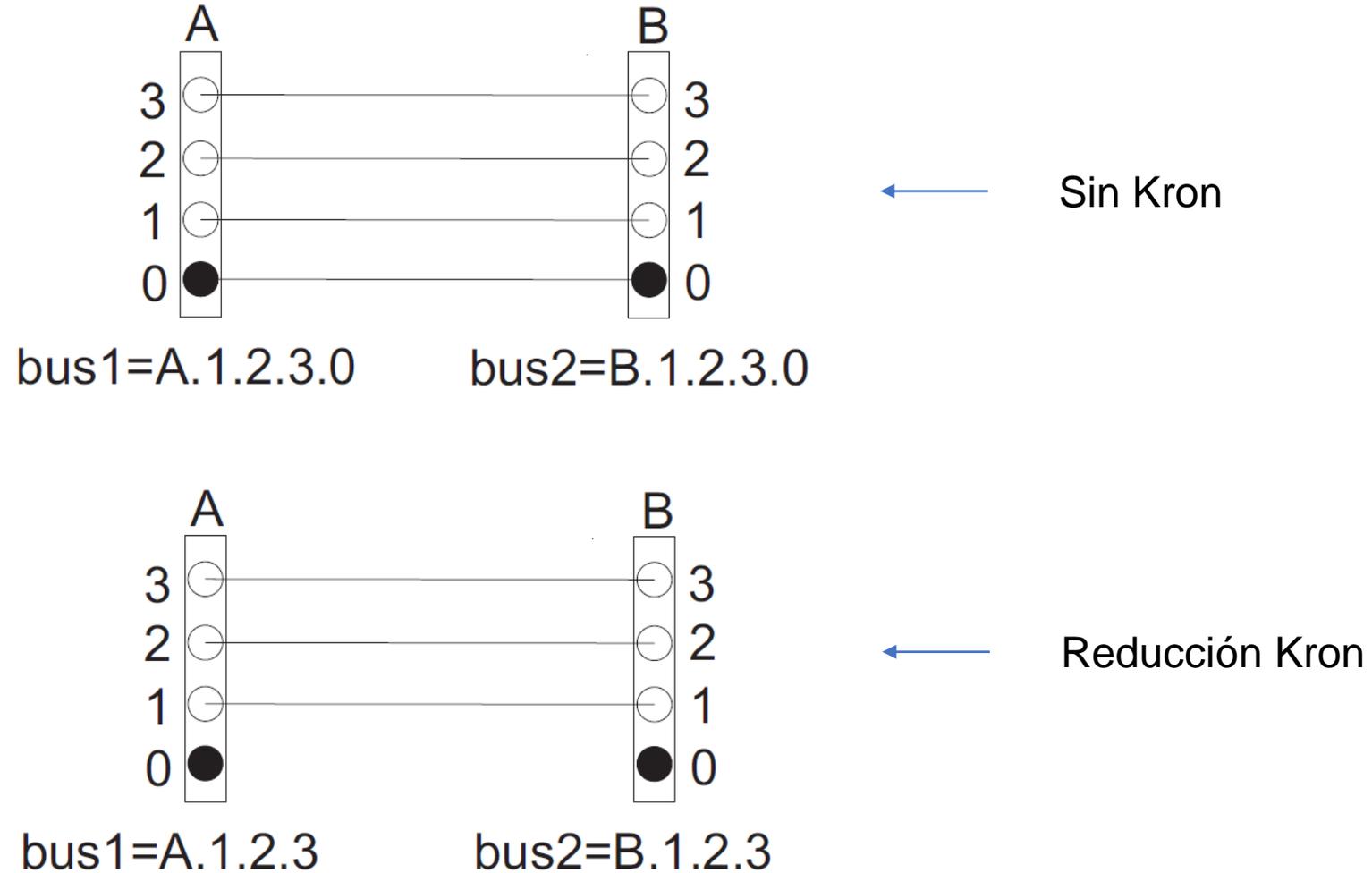
Líneas

Las líneas se definen con el objeto *line*.

- **name:** identificador (único) de la línea
- **bus1:** nombre de la barra de envío de la línea y sus respectivos nodos*
- **bus2:** nombre de la barra de recibo de la línea y sus respectivos nodos*
- **geometry:** nombre de la geometría de la línea
- **length:** longitud de la línea
- **units:** unidad de medida de la longitud de la línea (m, km, ft, kft, mile)

* Los nodos no son barras en OpenDSS. Los nodos se usan para especificar la fase a la cual está conectada la línea, en el caso de una línea trifásica se conecta a los nodos (.1.2.3). El nodo cero (.0) está aterrizado por definición. El nodo (.4) se pueden usar para declarar un neutro no aterrizado. El número de nodos que puede tener una barra es ilimitado.

Barras y nodos en línea trifásica

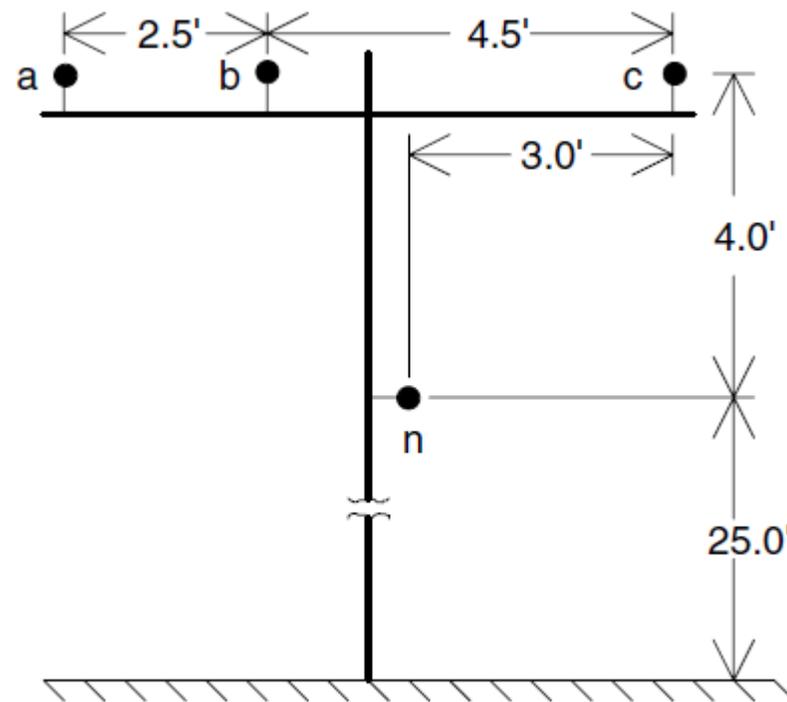


Ejemplo 2a

Defina los *wiredata*, el *lineSpacing* y el *lineGeometry* de la línea trifásica horizontal mostrada en la figura. Calcule la matriz de impedancias y capacitancias en OpenDSS:

Conductor	Tipo	radio (pies)	Amps.
Fase	336,4 26/7 ACSR	0.03004	529
Neutro	4/0 6/1 ACSR	0.02346	357

Conductor	GMR (pies)	R(Ω /milla)
336,400 26/7 ACSR	0.0244	0.306
4/0 6/1 ACSR	0.00814	0.5920



Ejemplo 2a

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson
```

Usa ecuaciones de Carson modificadas usadas por W. Kersting. Otras opciones son *FullCarson* y *Deri* (ideal para armónicos)

```
! Define las características de los conductores
new WireData.ACSR_336.4_26STR Rac=0.306 Runits=mile GMR=0.02440 GMRunits=ft DIAM=0.06008 Radunits=ft Normamps=529
new WireData.ACSR_4/0_6STR Rac=0.592 Runits=mile GMR=0.00814 GMRunits=ft DIAM=0.04692 Radunits=ft Normamps=357

! Define el espaciamiento de los conductores
new LineSpacing.3F_MTH nconds=4 nphases=3 units=ft x=[0 2.5 7 4] h=[29 29 29 25]

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.3FMV336ACSR4/0ACSR_H nconds=4 nphases=3 spacing=3F_MTH
~ wires=[ACSR_336.4_26STR ACSR_336.4_26STR ACSR_336.4_26STR ACSR_4/0_6STR] Reduce=Y

! muestra las impedancias y capacitancias de la línea
show lineconstants [60] [mile]
```

Salida en ohm/milla, puede usar km, **kft**, etc.

Impedancias basado en frecuencia de **60 Hz**.

Ejemplo 2a

LINE CONSTANTS

Frequency = 60 Hz, Earth resistivity = 100 ohm-m

Earth Model = Carson

 Geometry Code = 3fmv336acsr4/0acsr_h

R MATRIX, ohms per mi

0.457541,
 0.15594, 0.466617,
 0.153474, 0.157996, 0.461462,

jX MATRIX, ohms per mi

1.078,
 0.501648, 1.04813,
 0.384909, 0.423624, 1.06502,

C MATRIX, nF per mi

15.0526,
 -4.87371, 15.8655,
 -1.86685, -3.1027, 14.3092,

Respuestas solución a mano:

$$[z_{abc}] = \begin{bmatrix} 0.4576 + j1.0780 & 0.1560 + j.5017 & 0.1535 + j0.3849 \\ 0.1560 + j0.5017 & 0.4666 + j1.0482 & 0.1580 + j0.4236 \\ 0.1535 + j0.3849 & 0.1580 + j0.4236 & 0.4615 + j1.0651 \end{bmatrix} \Omega/\text{mile}$$

$$C_{abc} = \begin{bmatrix} 0.0150 & -0.0049 & -0.0019 \\ -0.0049 & 0.0159 & -0.0031 \\ -0.0019 & -0.0031 & 0.0143 \end{bmatrix} \mu\text{f}/\text{mile}$$

```
New Linecode.3fmv336acsr4/0acsr_h nphases=3 Units=mi
~ Rmatrix=[0.457541 |0.15594 0.466617 |0.153474 0.157996 0.461462 ]
~ Xmatrix=[1.078 |0.501648 1.04813 |0.384909 0.423624 1.06502 ]
~ Cmatrix=[15.0526 |-4.87371 15.8655 |-1.86685 -3.1027 14.3092 ]
```

Ejemplo 2b

Defina una línea trifásica aérea de MT de 200 m de longitud con geometría **3FMV336ACSR4/0ACSR_H** que sale de la barra fuente hasta la barraX:

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson

! Define las características de los conductores
new WireData.ACSR_336.4_26STR Rac=0.306 Runits=mile GMR=0.02440 GMRunits=ft
~ DIAM=0.06008 Radunits=ft Normamps=529
new WireData.ACSR_4/0_6STR Rac=0.592 Runits=mile GMR=0.00814 GMRunits=ft
~ DIAM=0.04692 Radunits=ft Normamps=357

! Define el espaciamiento de los conductores
new LineSpacing.3F_MTH nconds=4 nphases=3 units=ft x=[0 2.5 7 4] h=[29 29 29 25]

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.3FMV336ACSR4/0ACSR_H nconds=4 nphases=3 spacing=3F_MTH
~ wires=[ACSR_336.4_26STR ACSR_336.4_26STR ACSR_336.4_26STR ACSR_4/0_6STR] Reduce=Y

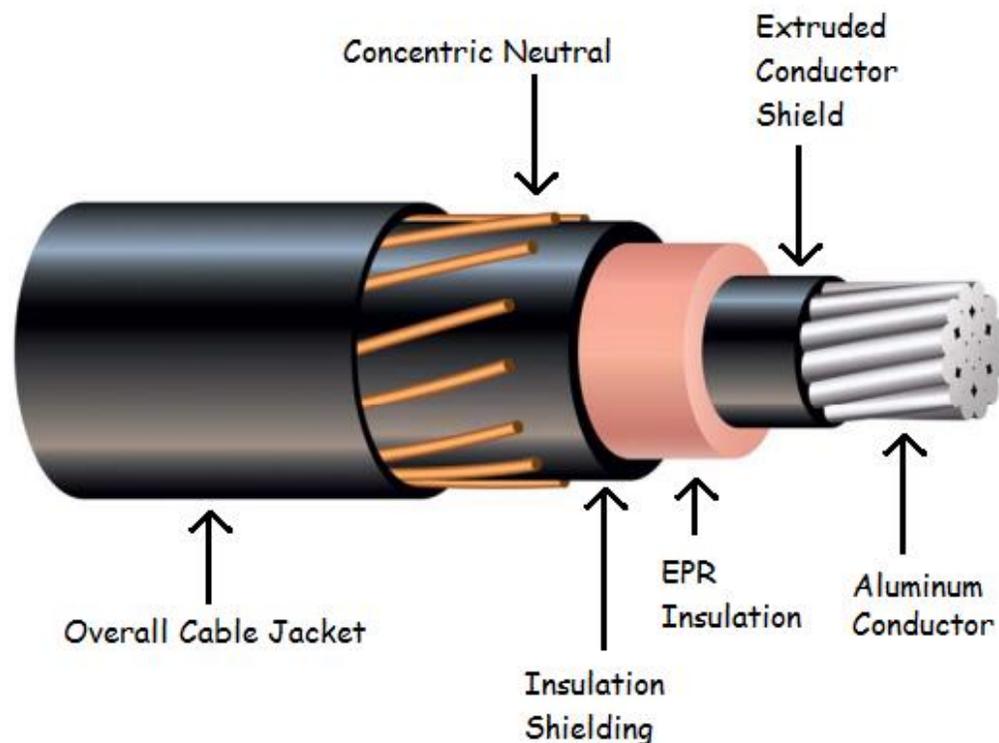
! Define la línea
new line.linea3FMV bus1=sourcebus.1.2.3 bus2=barraX.1.2.3 geometry=3FMV336ACSR4/0ACSR_H length=200 units=m

solve
```

El *sourcebus* es la barra fuente.

Conductores subterráneos MT

En nuestros países se utiliza el cable de neutro concéntrico (CN) para líneas subterráneas de MT.



OPCIONES:

Neutro:

- 100%
- 33%

Aislamiento:

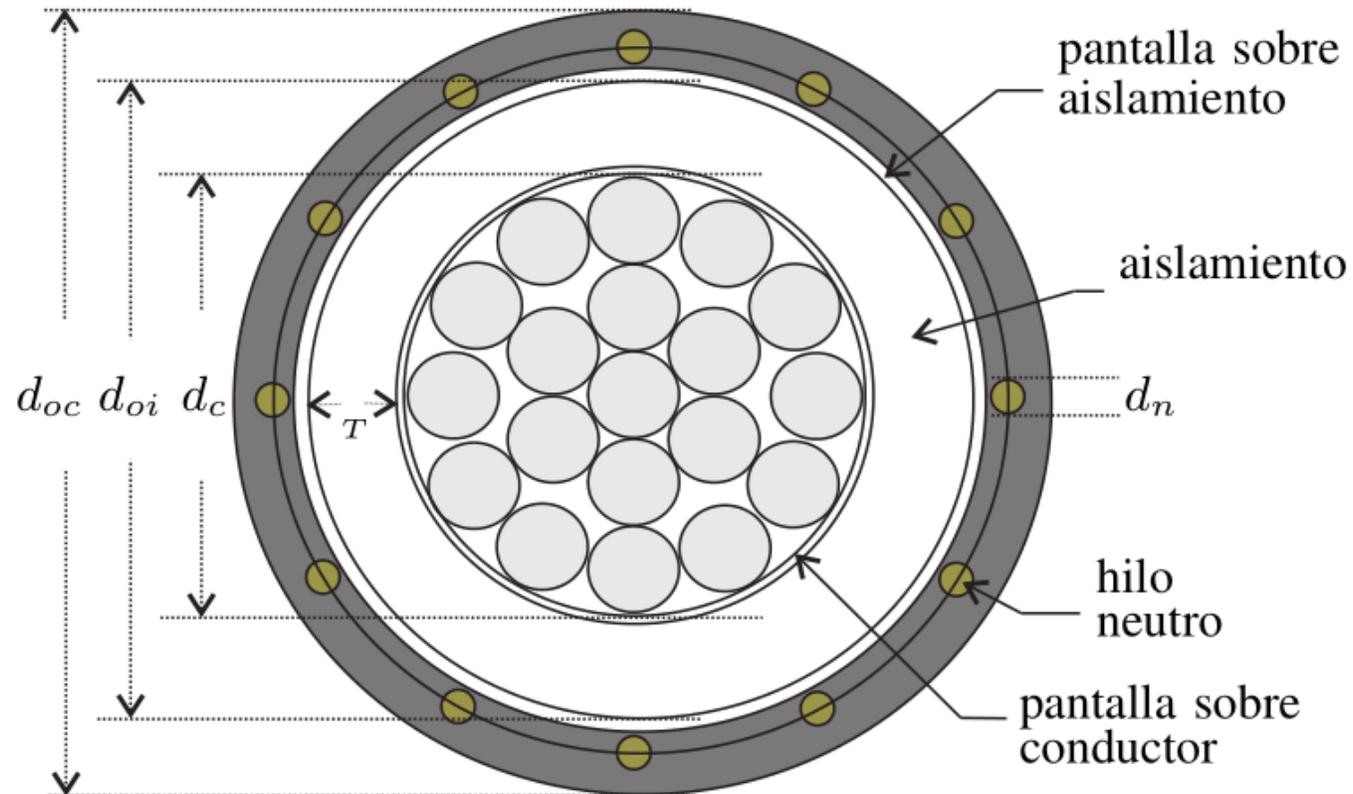
- EPR
- XLPE
- PE
- PVC

Nivel de aislamiento:

- 100%
- 133%
- 173%

Cables subterráneos tipo CN

Las ecuaciones de *Carson* y la reducción de *Kron* también aplican para líneas subterráneas



Parámetros cables tipo CN

d_c = Diámetro del conductor de fase

GMR_c = GMR del conductor de fase

r_c = Resistencia del conductor de fase

d_{oi} = Diámetro sobre el aislamiento

T = Espesor del aislamiento

ϵ_r = Permitividad relativa del material aislante

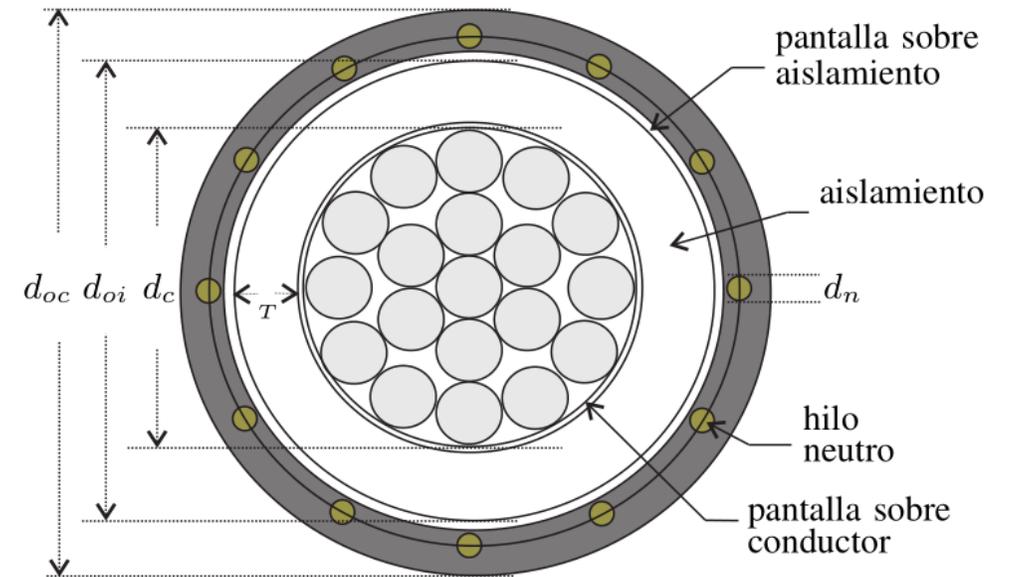
d_n = Diámetro del hilo neutro

GMR_n = GMR del hilo neutro

r_n = Resistencia del hilo neutro

k = Número de hilos neutros

d_{oc} = Diámetro externo del cable



Ejemplo - parámetros cables tipo CN

CABLE 15 kV NEUTRO CONCÉNTRICO - CONDUCTOR DE COBRE, 33% NEUTRO, AISLAMIENTO EPR AL 100%

Conductor #	d_c [in]	GMR_c [in]	r_c [Ω/kft]	d_{oi} [in]	T [in]	ϵ_r	d_n [in]	GMR_n [in]	r_n [Ω/kft]	k	d_{oc} [in]	Ampacidad [A]
1/0	0.373	0.141	0.10020	0.75	0.175	3	0.0641	0.0250	2.525	9	1.13	212
2/0	0.419	0.159	0.07949	0.80	0.175	3	0.0641	0.0250	2.525	11	1.17	241
3/0	0.470	0.178	0.06304	0.85	0.175	3	0.0641	0.0250	2.525	14	1.22	273
4/0	0.528	0.200	0.04999	0.90	0.175	3	0.0641	0.0250	2.525	18	1.28	309
250	0.575	0.221	0.04231	0.96	0.175	3	0.0808	0.0315	1.588	13	1.37	336
350	0.681	0.261	0.03022	1.06	0.175	3	0.0808	0.0315	1.588	18	1.49	398
500	0.813	0.313	0.02116	1.19	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	17	1.66	476
750	0.998	0.385	0.01410	1.38	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	20	1.94	547
1000	1.152	0.445	0.01058	1.53	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	26	2.12	620

CABLE 35 kV NEUTRO CONCÉNTRICO - CONDUCTOR DE COBRE, 33% NEUTRO, AISLAMIENTO EPR AL 100%

Conductor #	d_c [in]	GMR_c [in]	r_c [Ω/kft]	d_{oi} [in]	T [in]	ϵ_r	d_n [in]	GMR_n [in]	r_n [Ω/kft]	k	d_{oc} [in]	Ampacidad [A]
1/0	0.373	0.141	0.10020	1.10	0.345	3	0.0641	0.0250	2.525	9	1.50	214
2/0	0.419	0.159	0.07949	1.15	0.345	3	0.0641	0.0250	2.525	11	1.54	248
3/0	0.470	0.178	0.06304	1.20	0.345	3	0.0641	0.0250	2.525	14	1.59	281
4/0	0.528	0.200	0.04999	1.25	0.345	3	0.0641	0.0250	2.525	18	1.65	317
250	0.575	0.221	0.04231	1.31	0.345	3	0.0808	0.0315	1.588	13	1.80	344
350	0.681	0.261	0.03022	1.41	0.345	3	0.0808	0.0315	1.588	18	1.90	407
500	0.813	0.313	0.02116	1.54	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	17	2.10	476
750	0.998	0.385	0.01410	1.73	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	20	2.32	565
1000	1.152	0.445	0.01058	1.88	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	26	2.47	625

Ejemplo - parámetros cables tipo CN

CABLE 15 kV NEUTRO CONCÉNTRICO - CONDUCTOR DE COBRE, 100% NEUTRO, AISLAMIENTO EPR AL 100%

Conductor #	d_c [in]	GMR_c [in]	r_c [Ω/kft]	d_{oi} [in]	T [in]	ϵ_r	d_n [in]	GMR_n [in]	r_n [Ω/kft]	k	d_{oc} [in]	Ampacidad [A]
1/0	0.373	0.141	0.10020	0.75	0.175	3	0.0808	0.0315	1.588	16	1.16	210
2/0	0.419	0.159	0.07949	0.80	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	13	1.25	238
3/0	0.470	0.178	0.06304	0.85	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	16	1.30	268
4/0	0.528	0.200	0.04999	0.90	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	16	1.38	300
250	0.575	0.221	0.04231	0.96	0.175	3	0.1019	0.0397	0.999	25	1.41	336
350	0.681	0.261	0.03022	1.06	0.175	3	0.1285	0.0501	0.628	22	1.59	398
500	0.813	0.313	0.02116	1.19	0.175	3	0.1285	0.0501	0.628	31	1.78	476

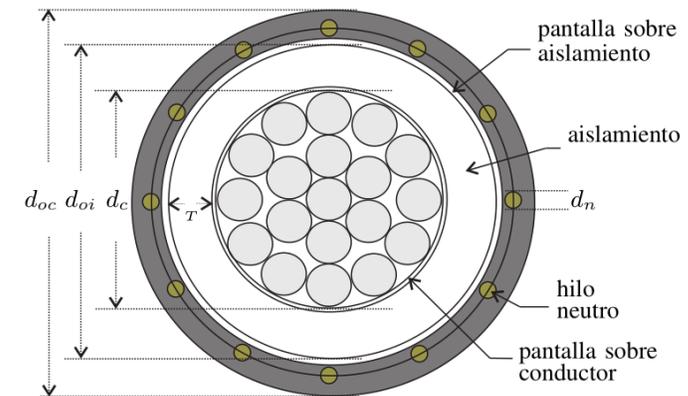
CABLE 35 kV NEUTRO CONCÉNTRICO - CONDUCTOR DE COBRE, 100% NEUTRO, AISLAMIENTO EPR AL 100%

Conductor #	d_c [in]	GMR_c [in]	r_c [Ω/kft]	d_{oi} [in]	T [in]	ϵ_r	d_n [in]	GMR_n [in]	r_n [Ω/kft]	k	d_{oc} [in]	Ampacidad [A]
1/0	0.373	0.141	0.10020	1.10	0.345	3	0.0808	0.0315	1.588	16	1.53	212
2/0	0.419	0.159	0.07949	1.15	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	13	1.62	245
3/0	0.470	0.178	0.06304	1.20	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	16	1.67	276
4/0	0.528	0.200	0.04999	1.25	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	16	1.81	309
250	0.575	0.221	0.04231	1.31	0.345	3	0.1019	0.0397	0.999	25	1.84	336
350	0.681	0.261	0.03022	1.41	0.345	3	0.1285	0.0501	0.628	22	2.00	398
500	0.813	0.313	0.02116	1.54	0.345	3	0.1285	0.0501	0.628	31	2.16	476

CN cables en OpenDSS

Los cables con neutro concéntrico se definen con el objeto *CNData*.

name:	identificador (único) del conductor con neutro concéntrico
R_{ac}:	Resistencia del conductor de fase, $\Omega/u.l \rightarrow r_c$
R_{strand}:	Resistencia de cada conductor neutro, $\Omega/u.l \rightarrow r_n$
R_{units}:	Unidad de longitud de las resistencias
GMR_{ac}:	GMR de conductor de fase, $\rightarrow GMR_c$
GMR_{strand}:	GMR de cada conductor neutro, $\rightarrow GMR_n$
GMR_{units}:	Unidades de los GMR
diam:	Diámetro del conductor de fase $\rightarrow d_c$
DiaIns:	Diámetro de la capa aislante, $\rightarrow d_{oi}$
InsLayer:	Espesor de la pantalla aislante, $\rightarrow T$
DiaCable:	Diámetro externo del cable $\rightarrow d_{oc}$
DiaStrand:	Diámetro de cada conductor neutro $\rightarrow d_n$
RadUnits:	Unidades de <i>InsLayer</i> , <i>DiaCable</i> , <i>DiaStrand</i> .
Epsr:	Permitividad relativa del material aislante, $\rightarrow \epsilon_r$
k:	Número de neutros concéntricos, $\rightarrow k$
normAmps:	Ampacidad del conductor de fase, en A

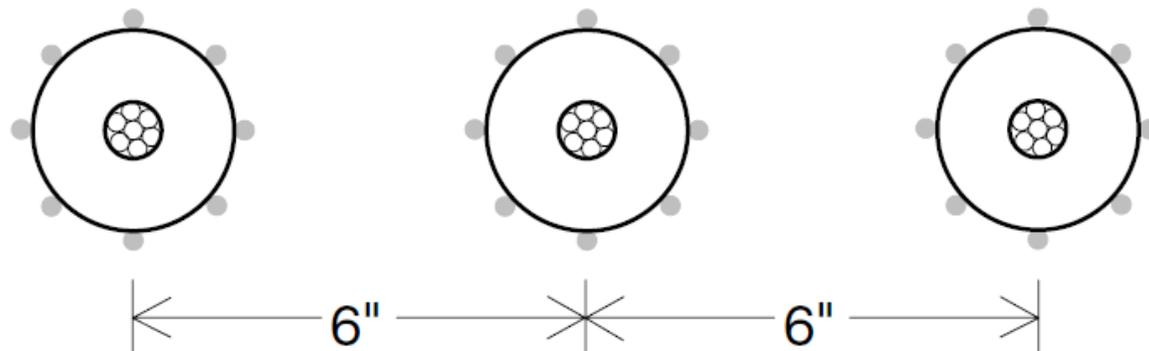


Ejemplo 3a

Defina el CNDData y el lineGeometry de la línea trifásica subterránea mostrada en la Figura. Suponga que los conductores están enterrados a 4 pies del suelo y que los cables son de 15 kV, 1/3 neutro y aislamiento del 133%.

Calcule la matriz de impedancias y capacitancias en OpenDSS.

Conductor	GMR (pies)	Diámetro (pulg)	R($\Omega/milla$)
250,000 AA	0.0171	0.567	0.4100
14	0.00208	0.0641	14.8722



Ejemplo 3a

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson

! Define el CNData
! Conductor de aluminio 15 kV - 33% Neutro - aislamiento al 133% (220 mils)
new CNData.250_1/3 Rac=0.410 Rstrand=14.87 Runits=mile
~ GMRac=0.0171 GmrStrand=0.00208 GMRunits=ft DIAM=0.567 DiaStrand=0.0641 DiaIns=1.06
~ DiaCable=1.29 InsLayer=0.220 Radunits=in EpsR=2.3 k=13 Normamps=257

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.3FMV250AAC_XLPE nconds=3 nphases=3 units=in
~ cond=1 cncable=250_1/3 x=-6 h=-48
~ cond=2 cncable=250_1/3 x=0 h=-48
~ cond=3 cncable=250_1/3 x=6 h=-48

! muestra las impedancias y capacitancias de la línea
show lineconstants [60] [mile]
```

Ejemplo 3a

Geometry Code = 3fmv250aac_xlpe

R MATRIX, ohms per mi

0.798122,
0.319126, 0.789059,
0.284869, 0.319126, 0.798122,

jX MATRIX, ohms per mi

0.446273,
0.0328005, 0.404102,
-0.0142992, 0.0328005, 0.446273,

Susceptance (jB) MATRIX, S per mi

0.000144745,
0, 0.000144745,
0, 0, 0.000144745,

```
New Linecode.3fmv250aac_xlpe nphases=3 Units=mi
~ Rmatrix=[0.798122 |0.319126 0.789059 |0.284869 0.319126 0.798122 ]
~ Xmatrix=[0.446273 |0.0328005 0.404102 |-0.0142992 0.0328005 0.446273 ]
~ Cmatrix=[383.948 |0 383.948 |0 0 383.948 ]
```

Ejemplo 3b

Defina una línea trifásica subterránea de MT de 300 m de longitud con geometría **3FMV250AAC_XLPE** que sale de la *barra fuente* hacia la *barraZ*:

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson

! Define el CNData
! Conductor de aluminio 15 kV - 33% Neutro - aislamiento al 133% (220 mils)
new CNData.250_1/3 Rac=0.410 Rstrand=14.87 Runits=mile
~ GMRac=0.0171 GmrStrand=0.00208 GMRunits=ft DIAM=0.567 DiaStrand=0.0641 DiaIns=1.06
~ DiaCable=1.29 InsLayer=0.220 Radunits=in EpsR=2.3 k=13 Normamps=257

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.3FMV250AAC_XLPE nconds=3 nphases=3 units=in
~ cond=1 cncable=250_1/3 x=-6 h=-48
~ cond=2 cncable=250_1/3 x=0 h=-48
~ cond=3 cncable=250_1/3 x=6 h=-48

new line.linsub3F bus1=sourcebus.1.2.3 bus2=barraZ.1.2.3 geometry=3FMV250AAC_XLPE length=300 units=m
solve
```

Ejemplo 3b

Al usar `show → voltages LN node` se obtiene el reporte:

Bus	Node	VLN (kV)	Angle	pu	Base kV	Node-Node	VLL (kV)	Angle	pu
SOURCEBUS	1	19.919 /_	0.0	0	0.000	1-2	34.501 /_	30.0	0
-	2	19.919 /_	-120.0	0	0.000	2-3	34.501 /_	-90.0	0
-	3	19.919 /_	120.0	0	0.000	3-1	34.501 /_	150.0	0
BARRAZ ..	1	19.919 /_	0.0	0	0.000	1-2	34.501 /_	30.0	0
-	2	19.919 /_	-120.0	0	0.000	2-3	34.501 /_	-90.0	0
-	3	19.919 /_	120.0	0	0.000	3-1	34.501 /_	150.0	0

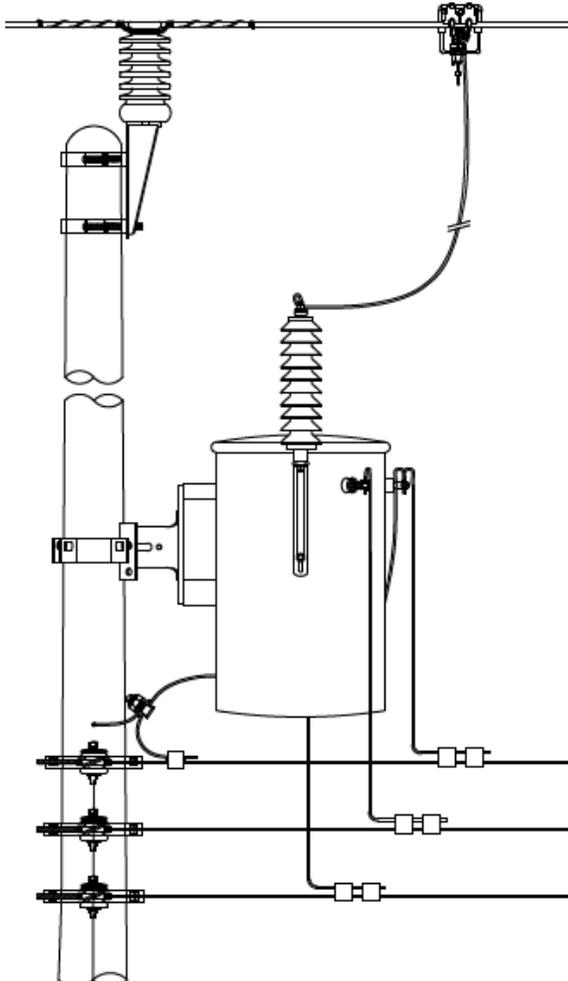
Si se incluyen las tensiones base en el código (antes de solve):

```
! define las tensiones basekV
Set Voltagebases=[34.5]
CalcVoltageBases
```

```
solve
```

Bus	Node	VLN (kV)	Angle	pu	Base kV	Node-Node	VLL (kV)	Angle	pu
SOURCEBUS	1	19.919 /_	0.0	1	34.500	1-2	34.501 /_	30.0	1
-	2	19.919 /_	-120.0	1	34.500	2-3	34.501 /_	-90.0	1
-	3	19.919 /_	120.0	1	34.500	3-1	34.501 /_	150.0	1
BARRAZ ..	1	19.919 /_	0.0	1	34.500	1-2	34.501 /_	30.0	1
-	2	19.919 /_	-120.0	1	34.500	2-3	34.501 /_	-90.0	1
-	3	19.919 /_	120.0	1	34.500	3-1	34.501 /_	150.0	1

Líneas aéreas BT



- Énfasis a líneas monofásicas trifilares
- No incluye a los conductores de servicio (acometidas)
- *Conductor neutro (arriba) y dos vivos*
- *Espaciamiento de 20 cm entre conductores*
- *Usualmente son conductores 3/0 AAC para vivos y neutro*
- *Esporádicamente se encuentran conductores de cobre*
- *Las ecuaciones de Carson también se aplican para obtener su impedancia*
- *Dado que el neutro está multi-aterizado también se le aplica la reducción de **Kron***

Ejemplo 4a

Defina el *lineSpacing* de una línea secundaria cuyo neutro se encuentra a 7.1 m sobre el suelo y a 20 cm del poste (referencia en x). Los tres conductores son 3/0 AAC de 7 hilos. Calcule la matriz de impedancias y capacitancias en OpenDSS

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson

! Se llama a la biblioteca de conductores (debe estar en la misma carpeta)
redirect WireDataAAC.dss
redirect WireDataAAAC.dss
redirect WireDataACSR.dss
redirect WireDataCU.dss

! Define el espaciamento de los conductores
new LineSpacing.1F_3WIRE nconds=3 nphases=2 units=m x=[0.20 0.20 0.20] h=[6.7 6.90 7.1]

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.1FLV3/0AAC3/0AAC_P nconds=3 nphases=2 spacing=1F_3WIRE
~ wires=[AAC_3/0_7STR AAC_3/0_7STR AAC_3/0_7STR] Reduce=Y

! muestra las impedancias y capacitancias de la línea
show lineconstants [60] [mile]
```

Atención al uso del comando redirect !

Ejemplo 4a

LINE CONSTANTS

Frequency = 60 Hz, Earth resistivity = 100 ohm-m
Earth Model = Carson

Geometry Code = 1flv3/0aac3/0aac_p

R MATRIX, ohms per mi

0.900626,
0.252545, 0.936929,

jX MATRIX, ohms per mi

0.974952,
0.464136, 0.883204,

Susceptance (jB) MATRIX, S per mi

6.54435E-006,
-2.75165E-006, 7.36024E-006,

L MATRIX, mH per mi

2.58614,
1.23116, 2.34277,

C MATRIX, nF per mi

17.3594,
-7.29898, 19.5237,



Ejemplo 4b

Defina una línea secundaria de 25 m de longitud con geometría **1FLV3/OAAC3/OAAC_P** que sale de la barra **bussecX** hasta **bussecY**:

```
clear
new circuit.ejemplo_base basekV=34.5 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
set defaultBaseFrequency=60
set EarthModel=Carson

! Se llama a la biblioteca de conductores (debe estar en la misma carpeta)
redirect WireDataAAC.dss
redirect WireDataAAAC.dss
redirect WireDataACSR.dss
redirect WireDataCU.dss

! Define el espaciamiento de los conductores
new LineSpacing.1F_3WIRE nconds=3 nphases=2 units=m x=[0.20 0.20 0.20] h=[6.7 6.90 7.1]

! Define la geometría de la línea
new Linegeometry.1FLV3/OAAC3/OAAC_P nconds=3 nphases=2 spacing=1F_3WIRE
~ wires=[AAC_3/0_7STR AAC_3/0_7STR AAC_3/0_7STR] Reduce=Y
```

```
! Define la línea secundaria
new line.secundaria bus1=bussecX.1.2 bus2=bussecY.1.2 geometry=1FLV3/OAAC3/OAAC_P length=25 units=m
```

Conductores de servicio

Los conductores **triplex** se utilizan comúnmente en las acometidas de los sistemas de baja tensión. Se componen de 2 conductores forrados tipo AAC y el neutro desnudo AAC, AAAC o ACSR.

d_c = Diámetro de conductores de fase (vivo)

GMR_c = GMR de conductores de fase

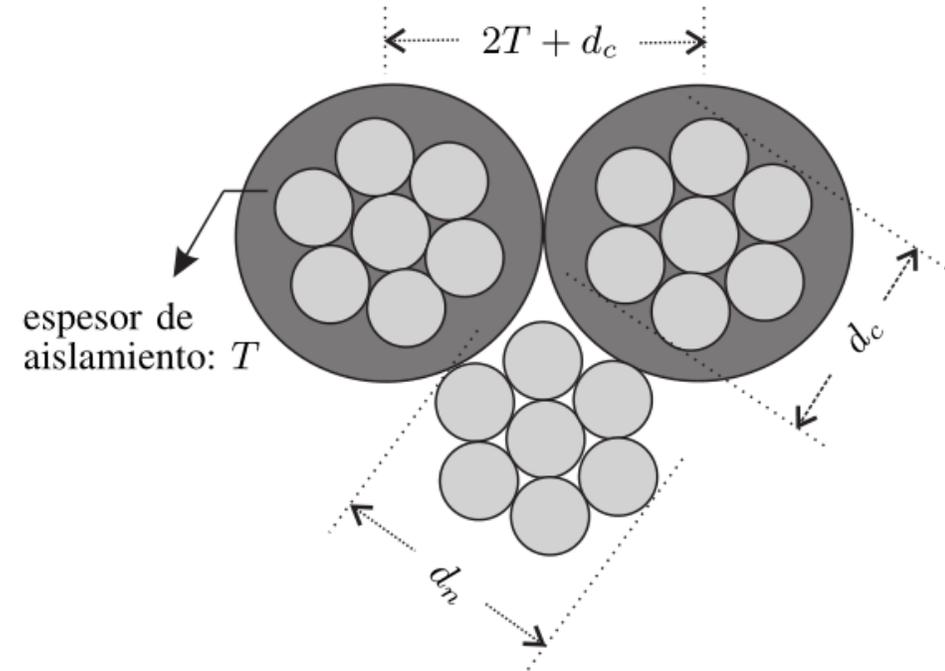
r_c = Resistencia de conductores de fase

T = Espesor del aislamiento

d_n = Diámetro del neutro

GMR_n = GMR del neutro

r_n = Resistencia del neutro



Parámetros de Triplex

CABLE TRIPLEX CON NEUTRO ACSR

Código	# [AWG]	d_c [in]	GMR_c [ft]	r_c [Ω/kft]	T [mils]	d_n [in]	GMR_n [ft]	r_n [Ω/kft]	Ampacidad [A]
Voluta	6	0.184	0.0056	0.8050	45	0.198	0.0064	0.806	85
Periwinkle	4	0.232	0.0070	0.5060	45	0.250	0.0080	0.515	115
Conch	2	0.292	0.0088	0.3180	45	0.316	0.0101	0.332	150
Neritina	1/0	0.371	0.0118	0.1990	60	0.398	0.0127	0.215	205
Runcina	2/0	0.414	0.0125	0.1590	60	0.447	0.0143	0.176	235
Mursia	3/0	0.464	0.0140	0.1260	60	0.502	0.0161	0.144	275
Zuzara	4/0	0.522	0.0158	0.0999	60	0.563	0.0180	0.119	315

CABLE TRIPLEX CON NEUTRO AAC

Código	# [AWG]	d_c [in]	GMR_c [ft]	r_c [Ω/kft]	T [mils]	d_n [in]	GMR_n [ft]	r_n [Ω/kft]	Ampacidad [A]
Patella	6	0.184	0.0056	0.8050	45	0.184	0.0056	0.8050	85
Oyster	4	0.232	0.0070	0.5060	45	0.232	0.0070	0.5060	115
Clam	2	0.292	0.0088	0.3180	45	0.292	0.0088	0.3180	150
Murex	1/0	0.371	0.0118	0.1990	60	0.371	0.0118	0.1990	205
Nassa	2/0	0.414	0.0125	0.1590	60	0.414	0.0125	0.1590	235
Melita	3/0	0.464	0.0140	0.1260	60	0.464	0.0140	0.1260	275
Portunus	4/0	0.522	0.0158	0.0999	60	0.522	0.0158	0.0999	315

Parámetros de Triplex

CABLE TRIPLEX CON NEUTRO AAAC

Código	# [AWG]	d_c [in]	GMR_c [ft]	r_c [Ω/kft]	T [mils]	d_n [in]	GMR_n [ft]	r_n [Ω/kft]	Ampacidad [A]
Hippa	6	0.184	0.0056	0.8050	45	0.197	0.0060	0.7828	85
Barnacle	4	0.232	0.0070	0.5060	45	0.248	0.0075	0.4929	115
Shrimp	2	0.292	0.0088	0.3180	45	0.313	0.0095	0.3095	150
Gammarus	1/0	0.371	0.0118	0.1990	60	0.395	0.0120	0.1945	205
Dungenese	2/0	0.414	0.0125	0.1590	60	0.444	0.0134	0.1544	235
Flustra	3/0	0.464	0.0140	0.1260	60	0.498	0.0151	0.1224	275
Lepas	4/0	0.522	0.0158	0.0999	60	0.560	0.0169	0.0972	315

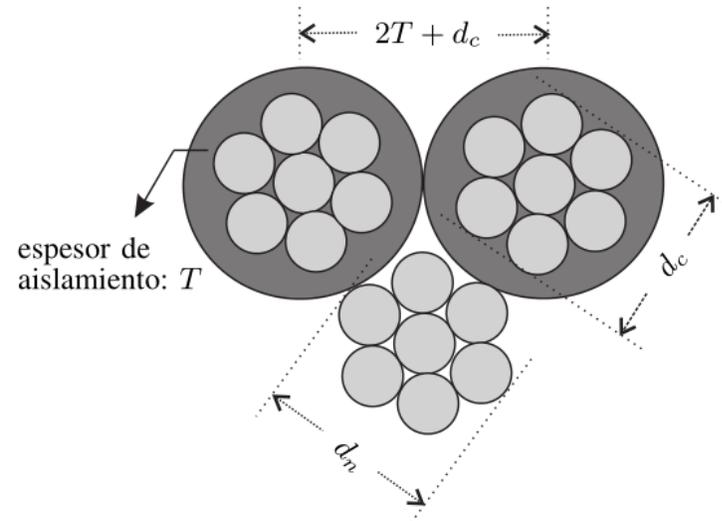
También existen Triplex con conductores de fase y neutro de **cobre**, sin embargo su **costo** es considerablemente **mayor** con respecto a los hechos de aluminio.

Cálculo de impedancia Triplex

La impedancia de un **triplex** se puede calcular a partir de las ecuaciones de Carson, considerando las distancias entre centros de conductores. La capacitancia de los triplex es despreciable y no se acostumbra a modelar.

$$z_{ii} = r_i + 0.0953 + j0.12134 \left(\ln \frac{1}{GMR_i} + 7.93402 \right) \quad \Omega/mile$$

$$z_{ij} = 0.0953 + j0.12134 \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.93402 \right) \quad \Omega/mile$$



Triplex en OpenDSS

El modelado del triplex se realiza por medio del objeto *LineCode*. Este objeto permite incluir la matriz primitiva de cualquier tipo de línea.

Este objeto reemplaza los objetos *LineSpacing* y *LineGeometry* utilizados hasta ahora. De hecho, el objeto *LineCode* corresponde al método más directo para definir el modelo de una línea en OpenDSS.

Una vez que se tiene el *LineCode* definido, la declaración de la línea debe reemplazar el parámetro “*geometry=...*” por el parámetro “*linecode=...*”

Cuando se declara el *linecode* de un triplex, **el número de fases debe ser igual a 3** (excepción a la regla!!!)



Ejemplo 5

Defina un linecode en OpenDSS para el triplex Voluta cuya matriz de impedancias es:

$$\begin{bmatrix} 4.3457 + j1.5919 & 0.0953 + j1.4213 & 0.0953 + j1.4394 \\ 0.0953 + j1.4213 & 4.3457 + j1.5919 & 0.0953 + j1.4394 \\ 0.0953 + j1.4394 & 0.0953 + j1.4394 & 4.3510 + j1.5757 \end{bmatrix} \Omega/mile$$

Solución:

New Linecode.tpx_6_Voluta nphases=3 units=mile

	Col 1	Col 2	Col 3	Col 1	Col 2	Col 3	Col 1	Col 2	Col 3
~ rmatrix=[4.3457	0.0953	0.0953	0.0953	4.3457	0.0953	0.0953	0.0953	4.3510
~ xmatrix=[1.5919	1.4213	1.4394	1.4213	1.5919	1.4394	1.4394	1.4394	1.5757
	Fila 1			Fila 2			Fila 3		

~ Normamps=85.0

~ kron=y

Referencias

- R. Dugan, “Reference Guide: The Open Distribution System Simulator (OpenDSS)”
- W.H. Kersting, “Distribution System Modeling and Analysis”, CRC Press, 3rd edition, 2012
- T.A. Short, “Electric Power Distribution Handbook”, CRC Press, 2nd edition, 2014
- T. Gönen, “Electric Power Distribution System Engineering”, CRC Press, 2nd edition, 2008
- D. Glover & M. Sarma “Power System Analysis and Design” Cengage Learning, 3rd edition, 2002.
- A. Arguello, G. Gomez, J. Quirós-Tortós, y G. Valverde , “Distribution Network Element Model Parameters: Creation of Database,” CONCAPAN 2018, Nov. 2018
- G. Valverde, A. Arguello, R. Gonzalez, y J. Quiros-Tortos, ”Integration of Open Software for Studying Large-Scale Distribution Networks,” Accepted in IET Gen. Trans. and Dist.: Interfacing Techniques for Simulation Tools in Smart Grid Dec. 2016
- EPERLab, Biblioteca de parámetros de conductores y cables, 2018

Muchas gracias por su atención

Dr. Jairo Quirós-Tortós
Consultor

jairoquirotortos@ieee.org



