



PROYECTO DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA 4.0

Modelado y simulación de redes eléctricas de distribución hacia las redes eléctricas inteligentes: Introducción a sistemas de información geográfico

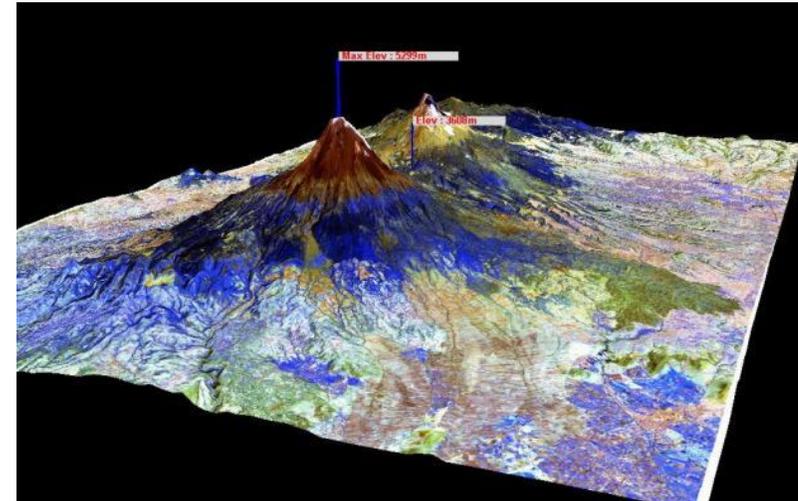
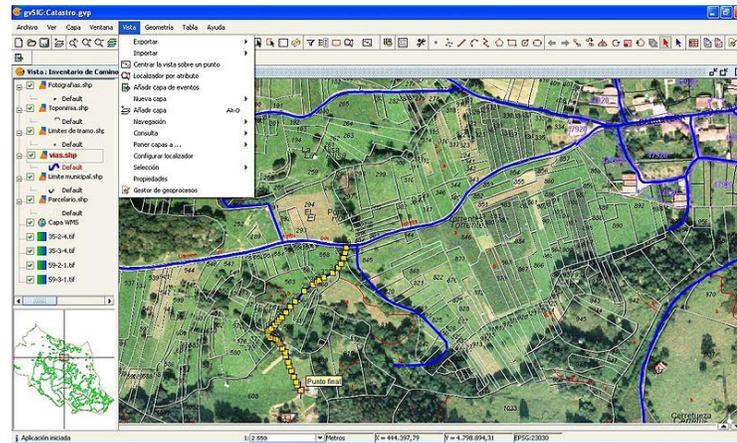
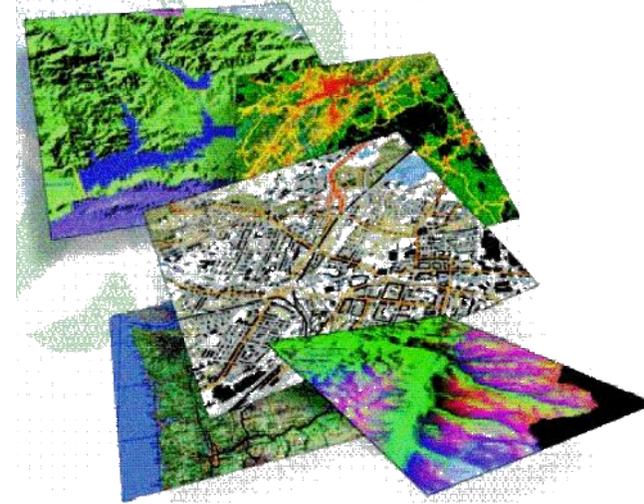
Contenidos

- Sistemas de Información Geográficos (SIG)
- Modelado de red en SIG
- Introducción a uso de QGIS
- Ilustración con un circuito real
- Tablas de atributos
- Requerimientos de información en SIG



Sistemas de Información Geográficos

- Bases de datos georeferenciados
- Calles, puentes, ríos, redes eléctricas
- Datos se organizan en capas
- Cada capa tiene:
 - Archivo de formas (*shapefile*)
 - Tabla de atributos

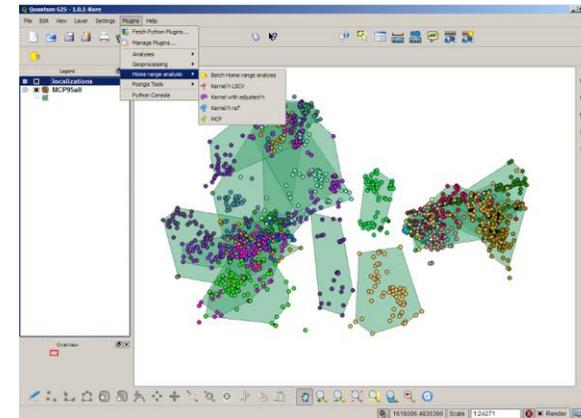
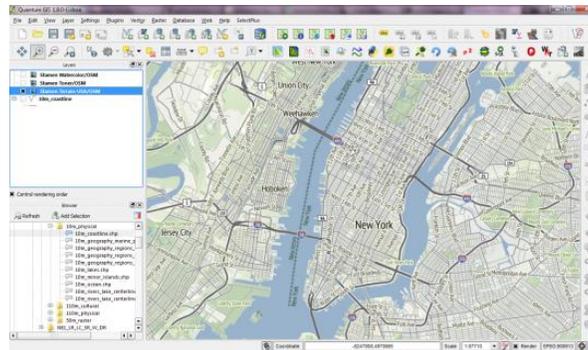


Quantum Geographic Information System



➤ QGIS

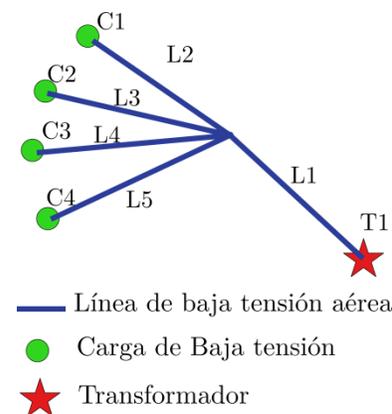
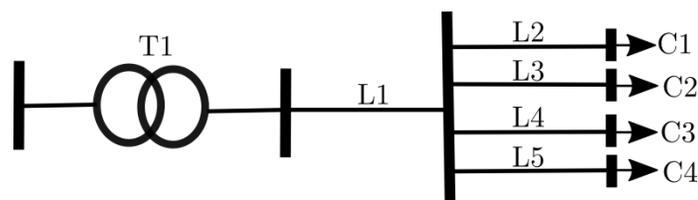
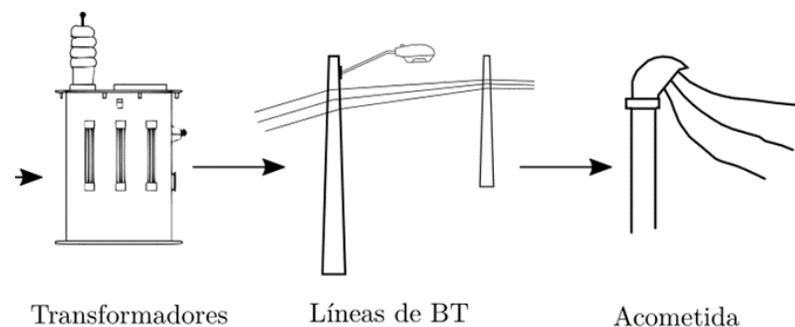
- Open Source
- Repositorio de Plug-in
- Desarrollo de Plug-in en Python



Sitio web: <http://www.qgis.org/es/site/>

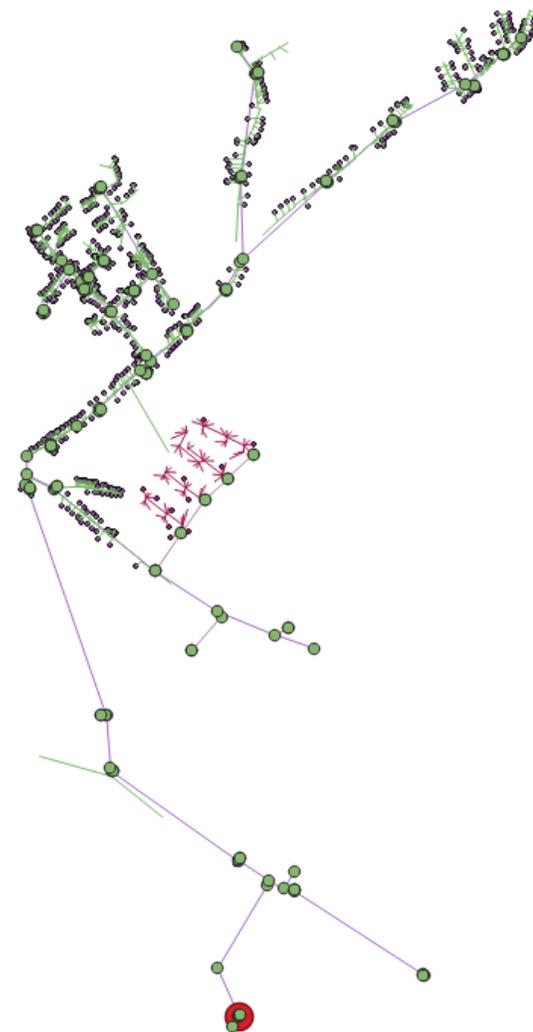
Modelado de la red en los SIG

¿Cómo se modela un transformador, un circuito secundario y 4 clientes con sus acometidas?

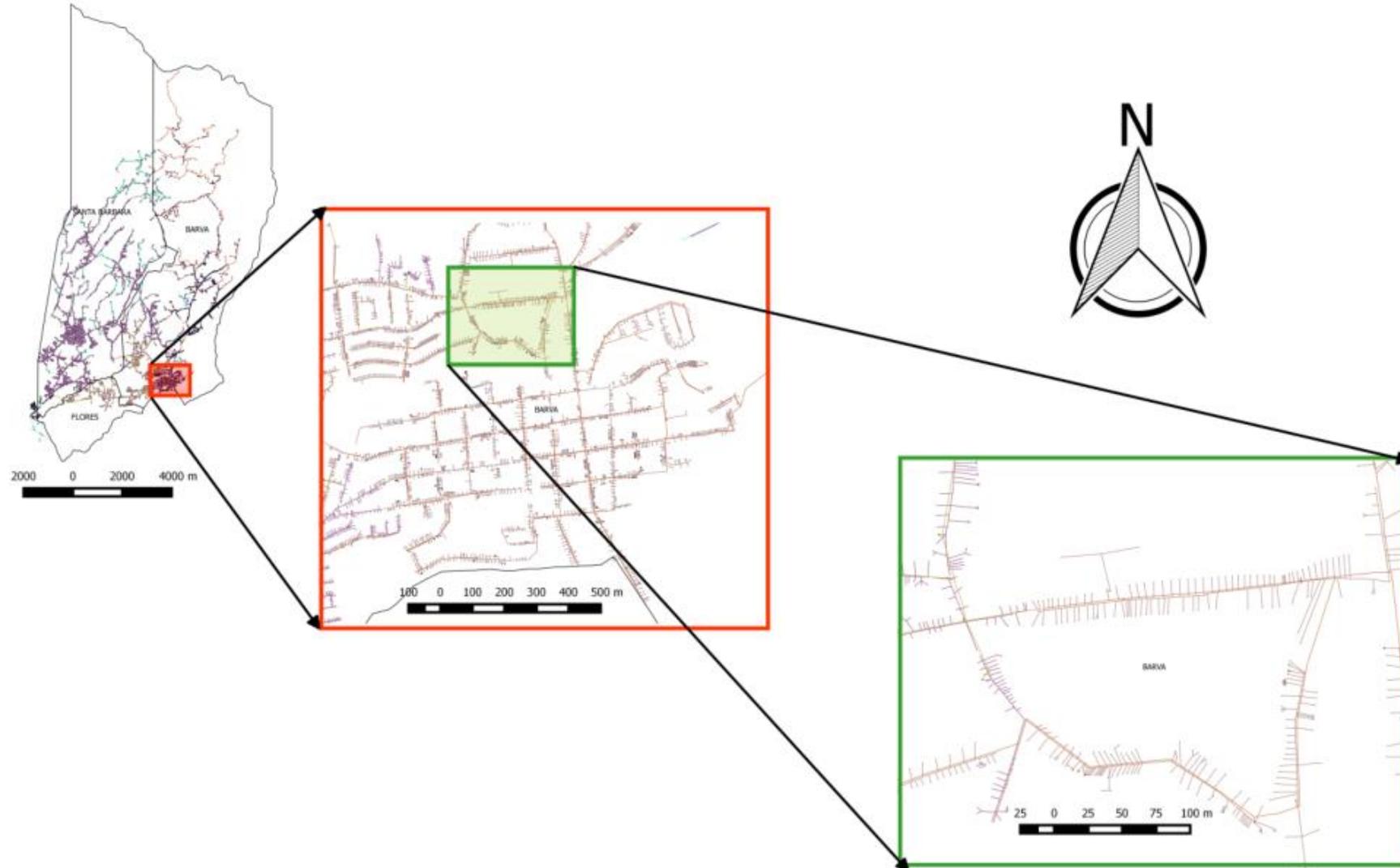


Modelado de la red en los SIG

- **Subestaciones**, transformadores y **medidores (cargas)** se representan con elementos con forma de **círculo**, cuadrado, etc. que pueden tener diferentes colores o tamaños para ser diferenciados.
- Líneas de **MT**, **BT** y acometidas se representan con líneas que pueden tener diferentes colores y grosores para ser diferenciados.



Modelado de la red en los SIG



Tablas de atributos

Contienen las características de todos los elementos que componen una capa de SIG.

	PHASESIG	NOMVOLT	NEUTSIZ	LINEGEO	PHASESIZ	PHASEMAT	INSULATION	LENGTH	X1	Y1	X2	Y2	NEUTMAT	LENUNIT
1	1	380	3/0	M	4	CU	DES	0.310747888199...	486063.5415	1099066.225	486063.302	1099066.027	AAC	m
2	7	380	3/0	H	266	AAC	DES	0.335669912264...	486546.036	1099293.234	486545.8087	1099292.987	AAC	m
3	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DESNUDO	0.512140605633...	485890.6047	1098705.193	485891.0727	1098704.985	AAC	m
4	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	0.684582507937...	486546.036	1099293.234	486545.5771	1099293.742	AAC	m
5	1	380	3/0	M	4	CU	DES	0.700015578428...	485805.7005	1099045.712	485805.1996	1099045.223	AAC	m
6	1	380	3/0	M	4	CU	DES	0.731512877431...	486064.1062	1099066.69	486063.5415	1099066.225	AAC	m
7	2	380	3/0	M	4	CU	DES	0.829504074721...	485687.5837	1098966.817	485688.3236	1098967.192	AAC	m
8	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	0.916000349313...	486545.8087	1099292.987	486545.8079	1099292.071	AAC	m
9	7	380	3/0	H	3/0	AAC	DES	0.965873433707...	486545.8079	1099292.071	486546.7522	1099292.274	AAC	m
10	7	380	3/0	H	266	AAC	DES	1.043951358919...	485671.1614	1098497.773	485671.0976	1098498.815	AAC	m
11	7	380	3/0	H	477	AAC	DESNUDO	1.087906540060...	485905.9413	1098340.4	485906.7905	1098339.72	AAC	m
12	1	380	3/0	M	4	CU	DES	1.170882214427...	485867.6081	1098854.949	485866.6585	1098855.634	AAC	m
13	4	380	3/0	M	4	CU	DES	1.243338875716...	486061.3874	1097520.959	486062.1208	1097519.955	AAC	m
14	2	380	3/0	M	4	CU	DES	1.260369870333...	485688.3236	1098967.192	485689.1797	1098968.117	AAC	m
15	7	380	4	H	4	CU	DESNUDO	1.285976831084...	485890.6047	1098705.193	485889.6468	1098704.335	CU	m
16	7	380	3/0	H	4	CU	DESNUDO	1.336066648823...	485817.1525	1098073.707	485815.8222	1098073.831	AAC	m
17	7	380	4	H	4	CU	DESNUDO	1.356935680190...	485889.6468	1098704.335	485890.0006	1098703.025	CU	m
18	7	380	3/0	H	4	CU	DES	1.367265595923...	486058.9107	1097520.125	486059.2596	1097518.803	AAC	m
19	7	380	3/0	H	4	CU	DESNUDO	1.398885627862...	486491.0069	1099234.381	486492.1909	1099235.126	AAC	m
20	2	380	3/0	M	4	CU	DES	1.478960026483...	486059.2303	1097805.528	486060.1179	1097806.711	AAC	m

Requerimientos de info

- Atributos necesarios en las capas de líneas

Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
Líneas de MT subterráneas	NEUTMAT	LENGTH
	NEUTSIZ	LENUNIT
	PHASEMAT	INSULEV
	PHASESIZ	NEUTPER
	INSULVOLT	X1
	PHASEDESIG	Y1
	INSULMAT	X2
	NOMVOLT	Y2
	SHIELDING	
Líneas de MT aéreas	NEUTMAT	LENGTH
	NEUTSIZ	LENUNIT
	PHASEMAT	X1
	PHASESIZ	Y1
	LINEGEO	X2
	PHASEDESIG	Y2
	NOMVOLT	

Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
Líneas de BT subterráneas	NEUTMAT	LENGTH
	NEUTSIZ	LENUNIT
	PHASEMAT	X1
	PHASESIZ	Y1
	NOMVOLT	X2
	INSULMAT	Y2
Líneas de BT aéreas	NEUTMAT	LENGTH
	NEUTSIZ	LENUNIT
	PHASEMAT	X1
	PHASESIZ	Y1
Conductores de acometidas	NOMVOLT	X2
	TYPE	Y2
	PHASEMAT	LENGTH
	PHASESIZ	LENUNIT
	X1	
	Y1	
	X2	
	Y2	

Requerimientos de info

1.1.1 NEUTMAT

Material del conductor neutro. Por ejemplo:

- ✓ CU
- ✓ AAC
- ✓ AAAC
- ✓ ACSR

1.1.2 NEUTSIZ

Calibre del conductor neutro, puede ser especificado en AWG, mm², MCM, entre otros. Por ejemplo:

- ✓ 2 para #2AWG
- ✓ 3/0 para #3/0AWG
- ✓ 250 para 250 MCM

1.1.3 PHASEMAT

Material del conductor de fase. Por ejemplo:

- ✓ CU
- ✓ AAC
- ✓ AAAC
- ✓ ACSR

Requerimientos de info

1.1.4 PHASESIZ

Calibre para los conductores de fase, puede ser especificado en AWG, mm², MCM, entre otros. Por ejemplo:

- ✓ 2 para #2AWG
- ✓ 3/0 para #3/0AWG
- ✓ 250 para 250MCM

1.1.5 INSULVOLT

Aislamiento de tensión estandarizada (kV) para conductores de MT subterráneos. Por ejemplo:

- ✓ 15
- ✓ 25
- ✓ 35
- ✓ 45

1.1.6 PHASEDESIG

Designación de las fases.



Atributo en el *shape*

ABC, RST ó 7

AB, RS ó 6

AC, RT ó 5

A, R ó 4

BC, ST ó 3

B, S ó 2

C, T ó 1

Requerimientos de info

1.1.7 INSULMAT

Material de aislamiento de los conductores MT subterráneos. Por ejemplo:

- ✓ EPR
- ✓ XLP
- ✓ PVC
- ✓ PE

1.1.8 NOMVOLT

Codificación para la tensión nominal.



Código	Tensión LN (kV)	Tensión LL (kV)	Configuración
20	0.12	0.208	estrella
30	0.12	0.24	fase partida
35	0.254	0.44	estrella
40	0.24	0.48	fase partida
50	0.277	0.48	estrella
60	0.48	0.48	delta
70	0.24	0.416	estrella
80	2.40	2.40	delta
110	4.16	4.16	delta
120	2.40	4.16	estrella
150	7.20	7.20	delta
160	4.16	7.20	estrella
210	7.22	12.5	estrella
230	7.62	13.2	estrella
260	13.8	13.8	delta
270	7.97	13.8	estrella
340	14.4	24.9	estrella
380	19.92	34.5	estrella

Requerimientos de info

1.1.9 SHIELDING

Tipo de armadura en cables MT subterráneos.

- ✓ CN para cables de neutro concéntrico.
- ✓ TS para cables "tape shielded".

1.1.10 INSULEV

Nivel de aislamiento de cables MT subterráneos.

- ✓ 100 para nivel de aislamiento de 100%. Este se usa por defecto para sistemas con neutro aterrizado. En caso contrario, las empresas deberán indicar otro nivel de aislamiento.
- ✓ 133 para nivel de aislamiento de 133%.
- ✓ 173 para nivel de aislamiento de 173%.

1.1.11 NEUTPER

Aplica únicamente para cables subterráneos de neutro concéntrico. Corresponde al porcentaje de neutro con respecto al conductor de fase.

- ✓ 33 para 33%. Típico para sistemas trifásicos.
- ✓ 100 para 100%. Típico para sistemas monofásicos.

Requerimientos de info

1.1.12 LINEGEO

Geometría de la línea. Este dato caracteriza la geometría utilizada en los conductores¹. Se usa solo una letra para indicar el tipo. Por ejemplo:

- ✓ H para horizontal
- ✓ B para bifásico
- ✓ V para vertical
- ✓ T para triangular

1.1.13 TYPE

- ✓ BARE (conductores desnudos en red secundaria, "percha o pentagrama")
- ✓ TPX para cables triplex
- ✓ QPX para cables quadruplex
- ✓ RHH para cables subterráneos de baja tensión

1.1.14 LENGTH

Longitud de la línea

1.1.15 LENUNIT

Unidad de longitud de la línea

- ✓ m para metros
- ✓ km para kilómetros
- ✓ in para pulgadas
- ✓ ft para pie
- ✓ kft para kilopie
- ✓ milla

Requerimientos de info

- Atributos necesarios en las capas de transformadores

Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales	Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
Transformadores	PHASEDESIG		Subestación: unidad trifásica	HIGHVOLT	
	PRIMVOLT			MEDVOLT	
	SECVOLT			LOWVOLT	
	PRIMCONN	TAPS		XHL	
	SECCONN	X1		XHT	
	KVAPHASEA	Y1		XLT	
	KVAPHASEB			HIGHCONN	X1
	KVAPHASEC			MEDCONN	Y1
RATEDKVA		LOWCONN			
				KVAHIGH	
				KVAMED	
				KVALOW	
				WINDINGS	
				TAPS	
				TAPMAX/MI	
			Subestación: autotransformador	HIGHVOLT	
				MEDVOLT	X1
				XHL	Y1
				KVAHIGH	HIGHCONN
				KVAMED	MEDCONN
				TAPS	
				TAPMAX/MI	

Requerimientos de info

1.2.1 PHASEDESIG

Fases a las cuales el transformador es conectado (del lado primario),

Atributo en el *shape*

ABC, RST ó 7

AB, RS ó 6

AC, RT ó 5

A, R ó 4

BC, ST ó 3

B, S ó 2

C, T ó 1

1.2.2 PRIMVOLT

Codificación para la tensión nominal del lado primario.

1.2.3 SECVOLT

Codificación para la tensión nominal del lado secundario

Requerimientos de info

1.2.4 PRIMCONN

Conexión del lado primario

- ✓ Y para estrella
- ✓ D para Delta
- ✓ OY para Estrella renca (banco trifásico con dos unidades monofásicas)
- ✓ LG para transformador monofásico (línea a tierra)

1.2.5 SECCONN

Conexión del lado del secundario

- ✓ Y para estrella
- ✓ D para Delta
- ✓ 4D para Delta 4 hilos
- ✓ SP para fase partida (monofásico trifilar)

1.2.6 KVAPHASEA

Capacidad de potencia en la fase A (kVA). Use 0 en caso de que el transformador no esté conectado a esta fase.

Requerimientos de info

1.2.7 KVAPHASEB

Capacidad de potencia en la fase B (kVA). Use 0 en caso de que el transformador no esté conectado a esta fase.

1.2.8 KVAPHASEC

Capacidad de potencia en la fase C (kVA). Use 0 en caso de que el transformador no esté conectado a esta fase.

1.2.9 RATEDKVA

Este atributo indica la capacidad nominal del transformador. La suma de KVAPHASEA, KVAPHASEB y KVAPHASEC debe ser igual a RATEDKVA.

1.2.10 TAPS

Número de taps del transformador. Por ejemplo: 5.

1.2.11 TAPSETTING

Posición en la que se encuentra ajustado el TAP del transformador. El valor nominal del TAP es 1. Si se desconoce, se debe colocar en 1.

Requerimientos de info

1.2.12 HIGHVOLT

Tensión línea a línea en alta tensión (kV). Por ejemplo: 230.

1.2.13 MEDVOLT

Tensión línea a línea en media tensión (kV). Por ejemplo: 34.5

1.2.14 LOWVOLT

Este atributo es requerido solo para transformadores de potencia de 3 devanados. Es la tensión línea a línea nominal del devanado terciario (kV). Por ejemplo: 13.8.

1.2.15 HIGHCONN

Tipo de conexión en alta tensión

- ✓ Y para estrella
- ✓ D para Delta

1.2.16 MEDCONN

Tipo de conexión en media tensión

- ✓ Y para estrella
- ✓ D para Delta

Requerimientos de info

1.2.17 LOWCONN

Éste atributo es requerido solo para transformadores de potencia de 3 devanados. Tipo de conexión del devanado terciario:

- ✓ D para Delta (usualmente es este)
- ✓ Y para estrella

1.2.18 KVAHIGH

Potencia nominal en el lado de alta tensión. (kVA)

1.2.19 KVAMED

Potencia nominal en el lado de media tensión. (kVA)

1.2.20 KVALOW

Este atributo es requerido solo en transformadores de potencia de 3 devanados. Potencia nominal en el lado de baja tensión (terciario). (kVA)

1.2.21 WINDINGS

Este atributo es requerido solo en transformadores de potencia. Número de devanados. Por ejemplo 2 o 3.

Requerimientos de info

1.2.22 TAPMAX/MI

Posición máxima y mínima del tap (pu) Ejemplo: 1.05/0.85

1.2.23 XHL

Reactancia serie del devanado de alta con el devanado de baja (%)

1.2.24 XHT

Reactancia serie del devanado de alta con el devanado terciario (%)

1.2.25 XLT

Reactancia serie del devanado de baja con el devanado terciario (%)

1.2.26 X1

Localización X1 bajo el sistema de coordenadas XY

1.2.27 Y1

Localización Y1 bajo el sistema de coordenadas XY

Requerimientos de info

- Atributos necesarios en las capas de cargas

Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
Cargas BT	KWHMONTH CLASS NOMVOLT SERVICE	MODEL X1 Y1

- Atributos necesarios en las capas de GD

Archivos Shape	Atributos Obligatorios	Atributos Opcionales
Generación distribuida	TECH KVA CURVE1 CURVE2	X1 Y1

Requerimientos de info

KWHMONTH

Consumo mensual promedio del abonado en kWh. Esta información es requerida para ejecutar la creación y asignación del perfil de la carga.

CLASS

Tipo de carga:

- ✓ R para residencial
- ✓ C para comercial
- ✓ I para industrial

SERVICE

- 1: carga conectada a vivo 1 y neutro
- 2: conectado a vivo 2 y neutro
- 12: conectado a vivo 1 y vivo 2
- 123: conexión trifásica

NOMVOLT

Codificación para la tensión nominal. El usuario debe seleccionar uno de los números presentados en la primera columna del Cuadro 3. **No se debe ingresar la tensión en kV.**

X1

Localización X1 bajo el sistema de coordenadas XY

Y1

Localización Y1 bajo el sistema de coordenadas XY

Requerimientos de info

MODEL

Modelo de carga en OpenDSS (recuerde que este atributo es opcional)

1. para P constante y Q constante: Normalmente denominado *modelo de carga de potencia constante*. Utilizado comúnmente para estudios de flujos de potencia.
2. para impedancia constante: Este modelo es esencialmente lineal. Este modelo usualmente garantiza una convergencia en cualquier condición de cargabilidad.
3. para P constante y Q cuadrático: Este modelo varía la potencia reactiva de forma cuadrática con la tensión, mientras que, la potencia activa es independiente de la tensión; tal y como se comportaría un motor.
4. para exponencial: En este modelo, la dependencia de P y Q con respecto a la tensión es definida por parámetros exponenciales. Este modelo es utilizado en estudios del alimentador de distribución cuando el comportamiento de la carga es desconocido.
5. para I constante: P y Q varían linealmente con la magnitud de la tensión mientras la magnitud de la corriente de la carga se mantiene constante.
6. para P constante y Q fijo: Q será un valor fijo independiente del tiempo y la tensión.
7. para P constante y Q cuadrático modificado: En este modelo Q varía al cuadrado del nivel de tensión.
8. para el modelo de carga ZIP: Este modelo refleja la carga como la unión de potencia constante, corriente constante e impedancia constante, estos definidos por coeficientes.

Requerimientos de info

1.5.1 TECH

Tipo de generar distribuido

- ✓ PV para sistemas fotovoltaicos
- ✓ HYDRO ó HIDRO para generadores hidroeléctricos
- ✓ WIND para turbinas eólicas

1.5.2 KVA

Potencia instalada del generador

1.5.3 CURVE1

- ✓ Nombre del archivo de la curva de irradiancia para sistemas fotovoltaicos, debe incluir la extensión
- ✓ Nombre del archivo de la curva de potencia activa para otros generadores, debe incluir la extensión

1.5.4 CURVE2

- ✓ Nombre del archivo de la curva de temperatura para sistemas fotovoltaicos, debe incluir la extensión
- ✓ Nombre del archivo de la curva de potencia reactiva para otros generadores, debe incluir la extensión

Referencias

- G. Shirek et al. “Modeling secondary services in engineering and mapping” in *IEEE Trans. on Industry Applications*, 2012.
- A. Guzmán et al. “Processing and correction of secondary system models”, *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, 2019.
- J. Quirós-Tortós et al. “Geo-information is power: using geographical information systems to assess rooftop photovoltaics in Costa Rica” *IEEE PES Magazine*, 2017.
- G. Valverde et al. “Integration of open-source tools for studying large-scale distribution networks” in *IET, Gen. Trans. and Dist.*, 2017.

Muchas gracias por su atención

Dr. Jairo Quirós-Tortós
Consultor

jairoquirotortos@ieee.org



