

Manual de uso de la herramienta de *QGISRunOpenDSS*

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica
Abril 2020

QGISRunOpenDSS utiliza los archivos de salida de *QGIS2OpenDSS* y ejecuta el simulador de sistemas de distribución, OpenDSS, en el software de Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). Dado que la herramienta está embebida en QGIS, se logra tener una herramienta de software de acceso libre y gratuita. Este complemento logra el enlace entre OpenDSS con Python utilizando una interfaz COM. La interfaz principal de la herramienta *QGISRunOpenDSS* se muestra en la Figura 1.

La función destacada de la herramienta es la disposición al usuario de lograr desarrollar estudios a gran escala de las redes de distribución, donde los estudios de flujos de potencia pueden ser del tipo instantáneo, diario o anual. Entre las funciones de análisis, además del estudio de flujo de potencia que incluye la herramienta, se encuentran el cálculo de corrientes de corto circuito, la integración de nuevas tecnologías (sistemas fotovoltaicos) y el estudio de propagación de corrientes armónicas. La forma de ejecutar cada uno de los tipos de estudio en la red eléctrica se explican en las siguientes secciones.

NOTA: La primera vez que la herramienta va a ser utilizada en un computador, QGIS debe ser ejecutado en **modo administrador** y debe tener conexión a internet. Esto con el fin de que la herramienta instale automáticamente un paquete necesario para su funcionamiento, una vez finalizado, le será informado mediante una ventana emergente.

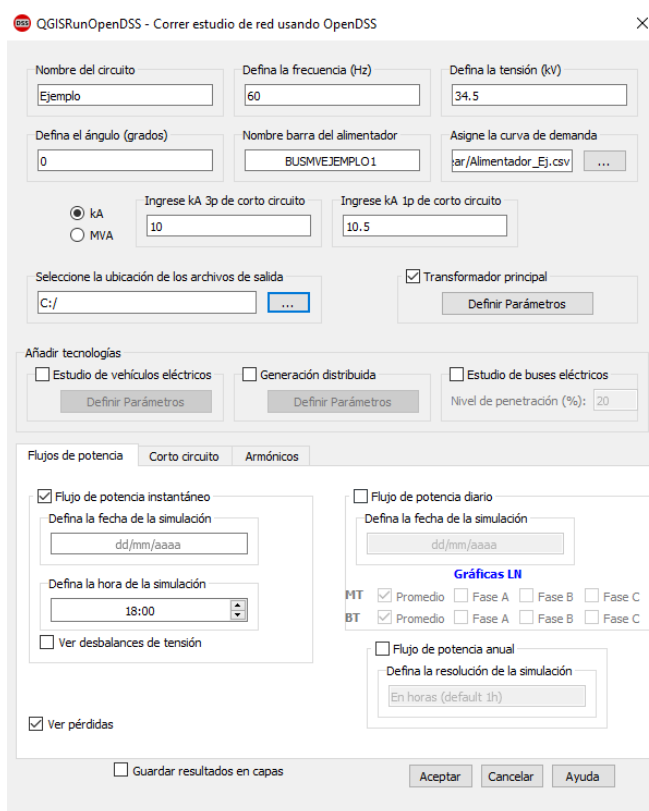


Figura 1. Interfaz principal de *QGISRunOpenDSS*

1. Funciones básicas

Antes de realizar cualquier análisis, de forma general, el usuario deberá ingresar los datos sobre el circuito a simular tales como: el circuito que se desea simular, la frecuencia de la red, la tensión de la fuente (alta o media tensión), el ángulo de la fuente (referencia), el nombre de la barra donde se conecta la red de distribución con la subestación y la curva del alimentador en formato *.csv. Estos parámetros, así como la dirección de la carpeta que contendrá los archivos resultantes de la simulación se deben ingresar en la sección indicada en la Figura 2. El cuadro "Nombre de barra del alimentador", muestra el nombre de la primera barra del circuito. Esta barra se toma como punto de inicio del circuito a menos que el transformador de subestación haya sido modelado en el GIS.

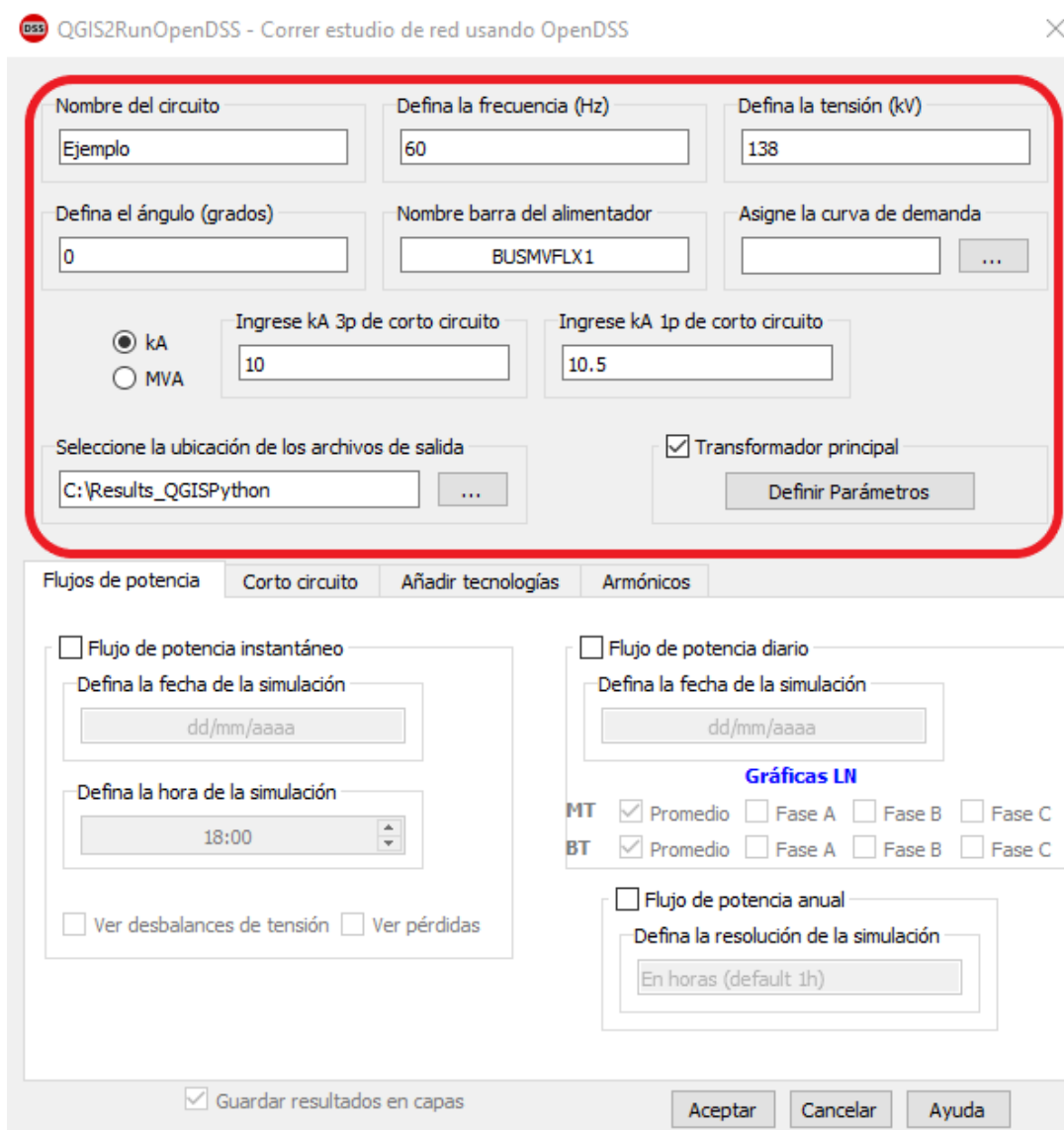


Figura 2. Datos de entrada generales del circuito

Los datos del transformador de la subestación tales como: las tensiones, potencias y conexiones de cada devanado, entre otros; pueden ser modificados en el botón bajo "Transformador principal", el cual abrirá la ventana vista en la Figura 3. Esta ventana aparece cuando es presionado el botón "Definir parámetros" en la

ventana de datos generales. Si el transformador de subestación está compuesto por 2 devanados, el usuario debe asegurarse que la casilla de “Terciario” esté desactivada.

Esta opción permite modelar un transformador para los casos en los que solamente se indica el punto de inicio del circuito. Además, para casos con autotransformador, estas opciones son deshabilitadas.

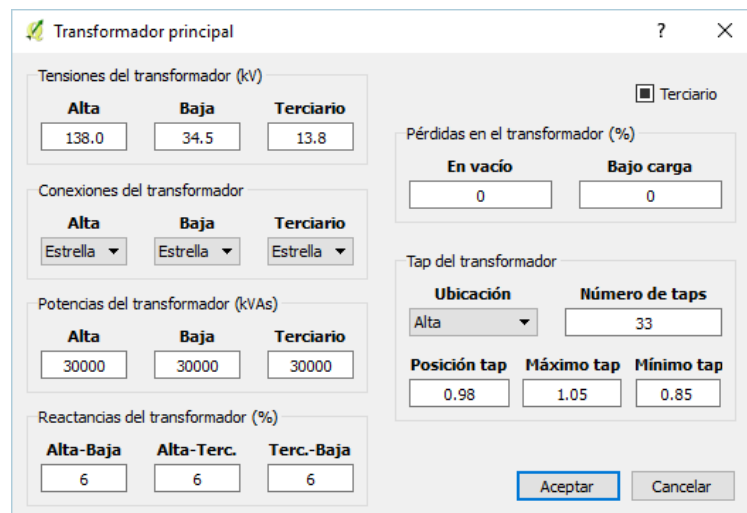


Figura 3. Datos del transformador de subestación

2. Asignación de carga

2.1. Funcionamiento

El proceso de asignación de carga trata de coincidir, con el menor error posible, la demanda agregada de todos los consumidores y las pérdidas de la red con la curva de demanda monitoreada en el alimentador principal. Esto se logra iterando y aplicando un valor de corrección a todas las cargas, modeladas mediante una curva de carga típica para cada consumo, y para cada instante de tiempo. Este proceso iterativo es requerido ya que las pérdidas de la red no son conocidas de antemano.

Como existen miles de clientes en los circuitos, la experiencia demuestra que con pocas iteraciones se logra calzar la demanda simulada con la curva real del alimentador. Además, se espera que la información que provenga de la implementación de medidores inteligentes logre mejorar la precisión de la asignación de carga al punto que con pequeñas correcciones aplicadas en las cargas que no son monitoreadas, se obtenga mejores resultados con menores iteraciones. La asignación de carga es el primer proceso que se lleva a cabo en el estudio de la red, sin embargo, todo este proceso se realiza sin necesidad de la intervención del usuario.

3. Flujos de potencia

3.1. Funcionamiento y utilización

Para realizar un estudio de flujos de potencia el usuario debe ingresar una curva de demanda del circuito a analizar. Este archivo debe ser formato *.csv. Con una resolución de 15 minutos, el archivo puede ser de un día o un año. El archivo *.csv debe contener la hora y fecha de cada medición, así como las potencias introducidas a la red en cada lapso de tiempo, como se observa en la Figura 4. La curva de demanda ingresada debe poseer el orden visto en la Figura 4, el nombre del encabezado es indiferente, sin embargo, su orden de aparición y su contenido debe ser el mostrado (orden debe ser: Potencia Activa total, Potencia Reactiva total, Hora, Fecha).

Además de simular los flujos, se encuentran las opciones de: “Ver pérdidas”, la cual muestra las pérdidas activas del circuito; “Ver desbalances de tensión”, la cual gráfica y exporta los desbalances máximos de tensión en cada barra trifásica del circuito; y finalmente, “Guardar resultados en capas”, la cual activa o desactiva la escritura de resultados en nuevas capas para su posterior asociación en la herramienta “VISION”. Estos datos son guardados en archivos *.csv y graficas *.pdf.

NOTA: Estas tres opciones se encuentran disponibles para flujos instantáneos y diarios.

Precaución: La opción “Guardar resultados en capas” incrementa considerablemente el tiempo de simulación.

	A	B	C	D
1	P (kW)	Q (kVAr)	Hora	Día
2	487.39115	132.45925	00:00	01/01/2014
3	478.78265	128.1515	00:15	01/01/2014
4	452.54965	121.63855	00:30	01/01/2014
5	449.76705	129.8287	00:45	01/01/2014
6	433.38045	126.15745	01:00	01/01/2014
7	415.7626	124.60285	01:15	01/01/2014
8	398.6904	123.2198	01:30	01/01/2014
9	382.84495	121.99	01:45	01/01/2014
10	368.5365	120.30305	02:00	01/01/2014
11	362.6038	122.9925	02:15	01/01/2014
12	351.60035	122.48285	02:30	01/01/2014

Figura 4. Ejemplo de contenido de una curva de demanda en formato *.csv

NOTA: el formato de fecha debe contener dos dígitos para designar días y meses

3.1.1. Flujos de potencia instantáneos

Es el estudio más simple llevado a cabo para analizar la red bajo las condiciones de un instante específico (ejemplo, el pico de demanda o carga mínima). Para ejecutar este estudio, el usuario debe seleccionar la casilla de “Flujo de potencia instantáneo” visto en la Figura 5 y definir un día y una hora para la simulación. Si el usuario indica un tiempo que es diferente a la resolución de la simulación, la herramienta buscará la hora más cercana disponible según los datos ingresados de la curva del alimentador. Por ejemplo, si el usuario define que desea las 13:25 h, en una resolución de 15 minutos, la herramienta ejecutará la simulación para 13:30 h.

Flujos de potencia **Corto circuito** Añadir tecnologías Armónicos

☐ **Flujo de potencia instantáneo**
 Defina la fecha de la simulación

 Defina la hora de la simulación

☐ Ver desbalances de tensión ☐ Ver pérdidas

☐ **Flujo de potencia diario**
 Defina la fecha de la simulación

Gráficas LN
 MT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C
 BT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C
☐ **Flujo de potencia anual**
 Defina la resolución de la simulación

Figura 5. Apartado de la herramienta para la simulación de flujos instantáneos

3.1.2. Flujos de potencia diarios y anuales

El flujo de potencia diario corresponde a una serie de tiempo que abarca un día. En el caso de un estudio diario, el usuario debe definir el día del año que desea simular en el cuadro de texto indicado en la Figura 6. Para los estudios anuales, el usuario solo debe especificar la resolución, en horas, que desea para la simulación en el cuadro de texto visto en la Figura 7, este tipo de simulación posee una duración considerable, dependiendo de la cantidad de clientes puede llevar varias horas.

Flujos de potencia Corto circuito Añadir tecnologías Armónicos

☐ **Flujo de potencia instantáneo**
 Defina la fecha de la simulación

 Defina la hora de la simulación

☐ Ver desbalances de tensión ☐ Ver pérdidas

☐ **Flujo de potencia diario**
 Defina la fecha de la simulación

Gráficas LN
 MT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C
 BT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C
☐ **Flujo de potencia anual**
 Defina la resolución de la simulación

Figura 6. Apartado de la herramienta para la simulación de flujo de potencia diario

Flujos de potencia Corto circuito Añadir tecnologías Armónicos

☐ Flujo de potencia instantáneo

Defina la fecha de la simulación

dd/mm/aaaa

Defina la hora de la simulación

18:00

☐ Ver desbalances de tensión ☐ Ver pérdidas

☐ Flujo de potencia diario

Defina la fecha de la simulación

dd/mm/aaaa

Gráficas LN

MT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C

BT ☒ Promedio ☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C

☐ Flujo de potencia anual

Defina la resolución de la simulación

En horas (default 1h)

Figura 7. Apartado de la herramienta para la simulación de flujo de potencia anual

3.2. Presentación de resultados

Al presionar el botón “Aceptar” de la ventana principal, la herramienta procede a realizar la o las simulaciones seleccionadas por el usuario. Para el caso de un flujo de potencia instantáneo, los resultados son guardados en la carpeta provista por el usuario. Como resultado inmediato de este estudio, la herramienta muestra una gráfica de caída de tensión de las barras del circuito con respecto a la distancia en kilómetros de las mismas a la subestación, tal como lo muestra la Figura 8.

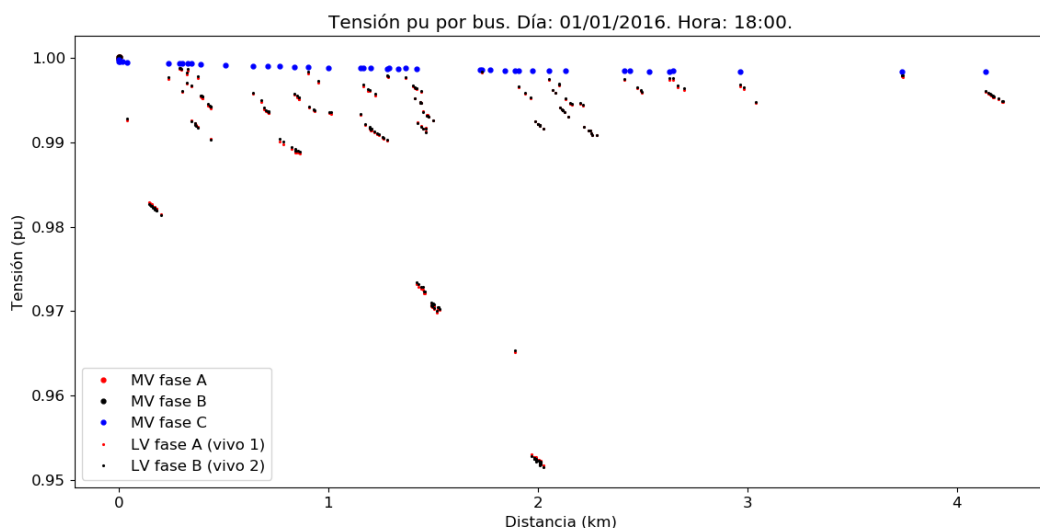


Figura 8. Tensión de las barras en pu con respecto a la distancia a la subestación.

En caso de haber seleccionado las casillas “Ver desbalances de tensión” y/o “Ver pérdidas”, la herramienta rebelará una gráfica mostrando el porcentaje de desbalance correspondiente a cada barra trifásicas del circuito, como la mostrada en la Figura 9 y en el otro caso, un archivo de formato .txt con el

reporte de pérdidas en el instante de la simulación por barra en kW y kVAr tal como lo muestra la Figura 10, respectivamente.

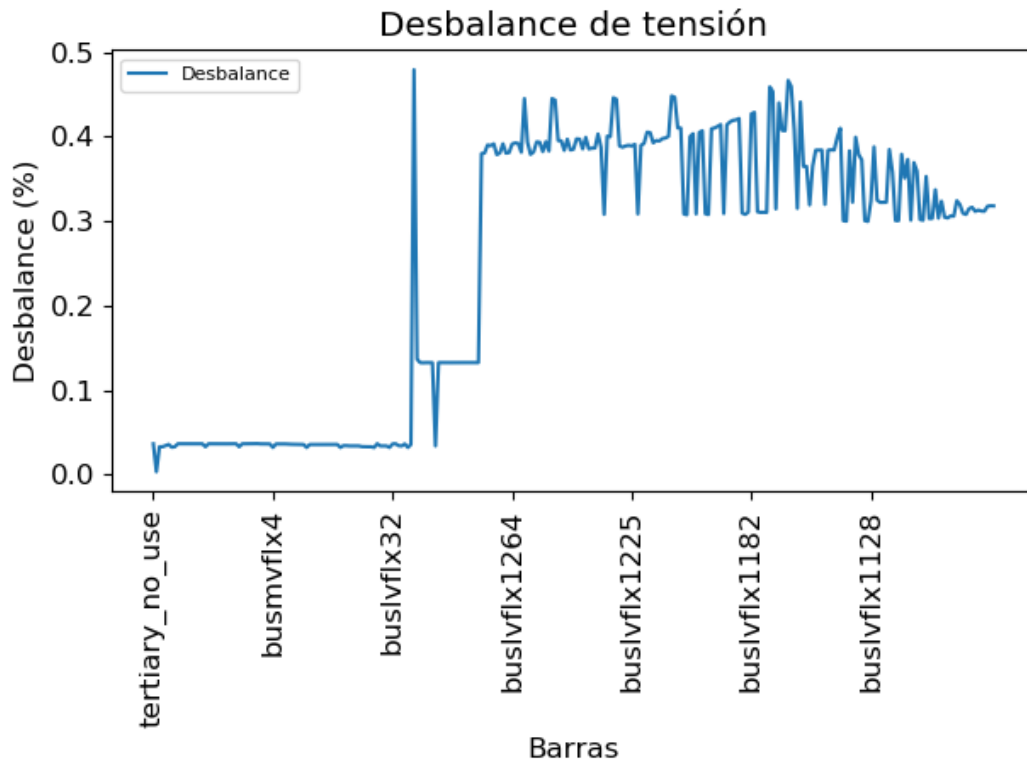


Figura 9. Desbalances de tensión en el circuito en el momento de la simulación.

Circuito_Distribucion_Snapshot_Losses.Txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

LOSSES REPORT

Power Delivery Element Loss Report

Element	kW Losses	% of Power	kvar Losses
"Line.MV3PFLX0"	0.00033,	0.0	-0.0187007
"Line.MV3PFLX2"	0.00000,	0.0	-0.00559862
"Line.MV3PFLX3"	0.00000,	0.0	-0.00922365
"Line.MV1PFLX4"	0.00000,	0.0	-0.00116809
"Line.MV1PFLX5"	0.00000,	0.0	-0.0021166
"Line.MV3PFLX6"	0.00777,	0.00	-0.437296
"Line.MV3PFLX7"	0.00000,	0.0	-0.0161196
"Line.MV3PFLX8"	0.00000,	0.0	-0.00984272
"Line.MV3PFLX9"	0.00000,	0.0	-1.47976
"Line.MV3PFLX10"	0.00542,	0.00	-0.927033
"Line.MV1PFLX11"	0.00000,	0.0	-0.00253183

Figura 10. Archivo .txt con el reporte de las pérdidas.

Por otro lado, para flujos de potencia diarios y anuales, la herramienta muestra las gráficas de potencia (aparente, active y reactiva). A manera de ejemplo, la Figura 11, Figura 12 muestran las curvas que el usuario observaría si ejecuta una simulación diaria.

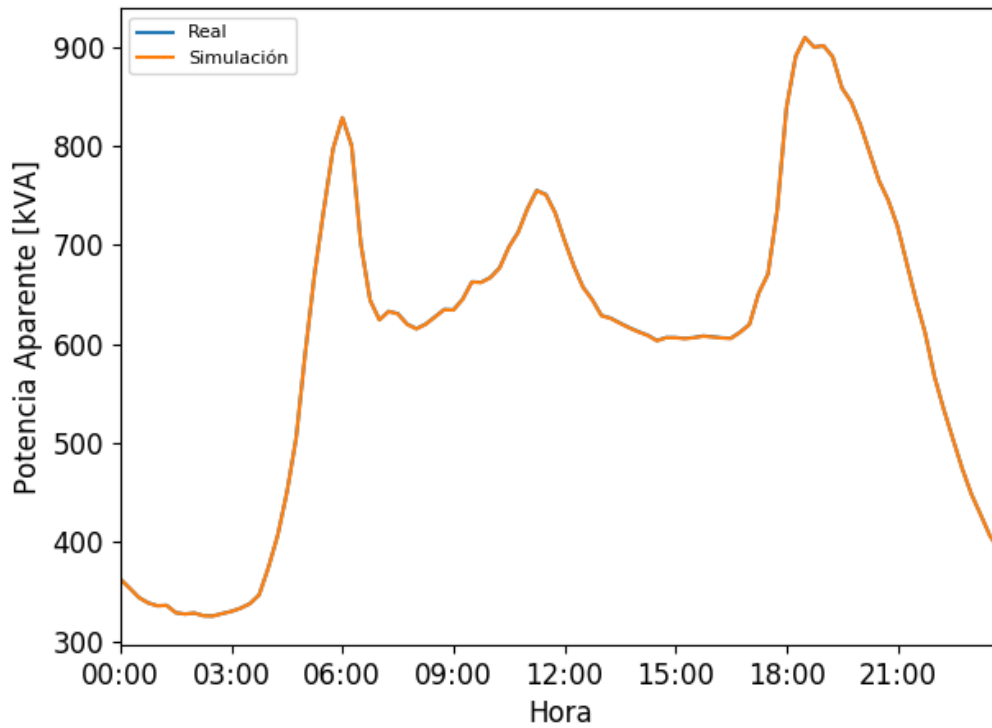


Figura 11. Gráfica de potencia Aparente

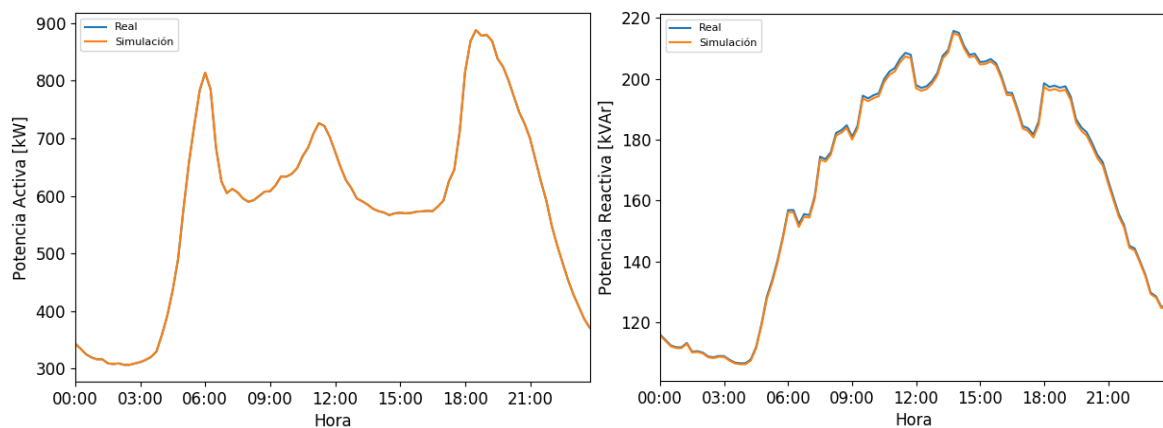


Figura 12. Gráficas de potencia Activa (izquierda) y Reactiva (derecha)

En la Figura 11 se muestra el resultado de una simulación diaria, en kVA y en la primera línea trifásica del circuito, con su respectiva asignación de carga. El objetivo de presentar la curva “Real” (en celeste) es mostrar la efectividad del algoritmo de asignación de carga al graficar la curva “Simulación” (en naranja). Además, en la Figura 12 se muestran los resultados en curvas de potencia activa (kW) y potencia reactiva (kVAr). Ambas potencias simuladas coinciden con la medición real.

Dentro de las opciones de la simulación diaria, también se puede realizar un análisis por fase y promedio de las tensiones por barra en el circuito, ya sea en media tensión (MT) y/o baja tensión (BT). Un ejemplo de las mismas se puede encontrar en la Figura 13 y Figura 14, donde la primera de las dos corresponde a un análisis de la tensión promedio (entre las fases A, B y C) de cada barra en la sección de media tensión.

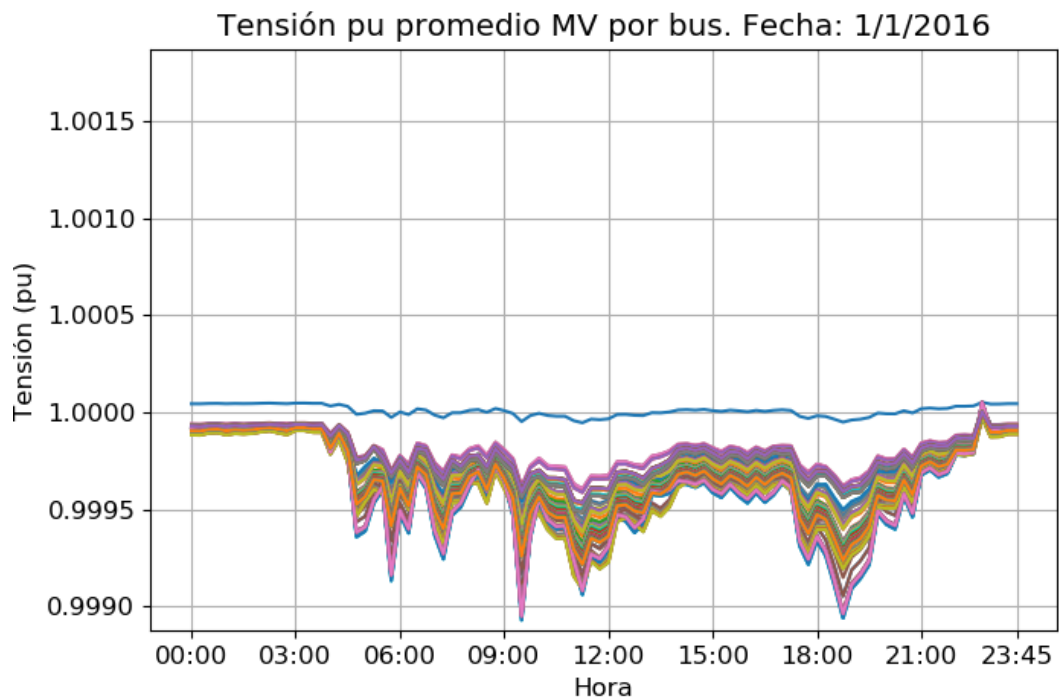


Figura 13. Tensión en pu promedio por barra en MT.

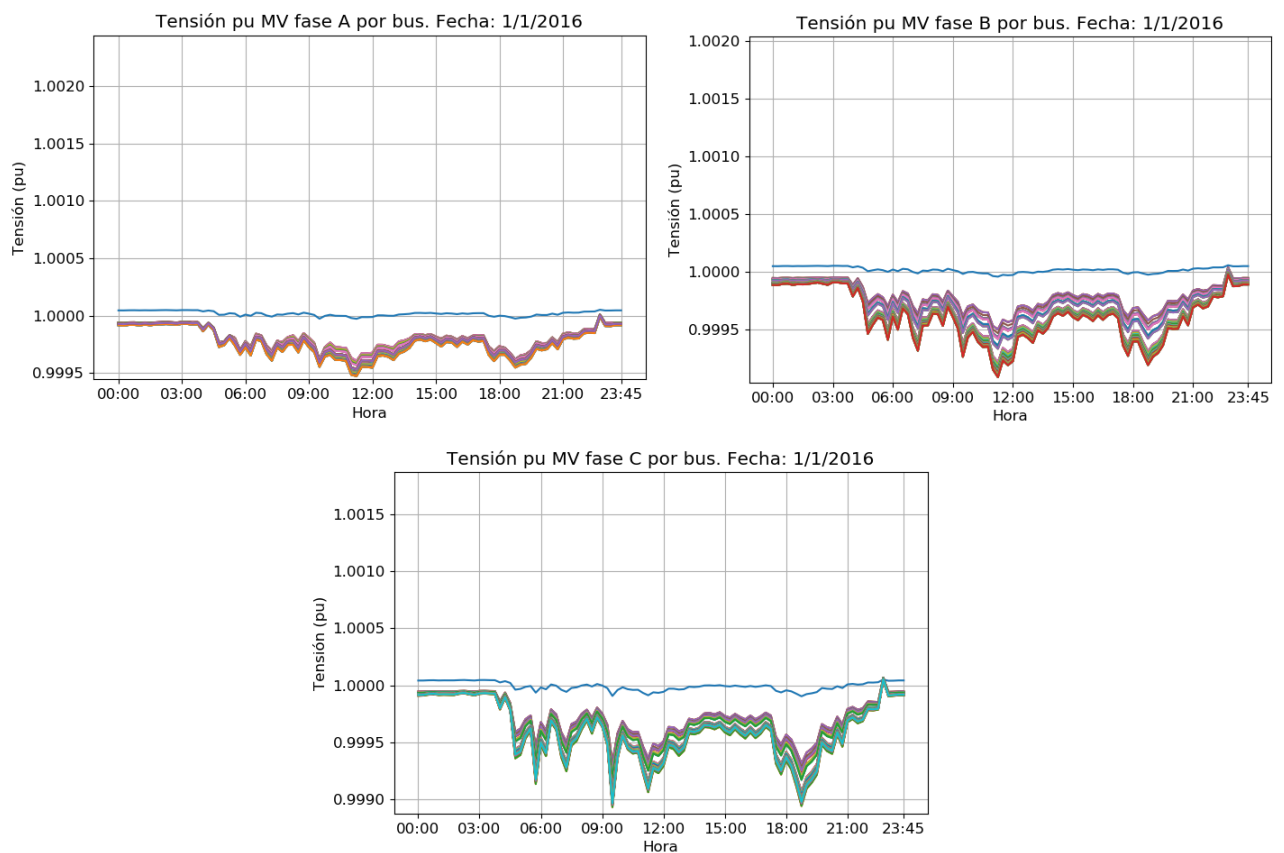


Figura 14. Tensión en pu por fase del circuito.

4. Corto circuito

4.1. Funcionamiento y utilización

Para estudios de corto circuito, se debe ingresar a la pestaña que indica dicho estudio y luego seleccionar la casilla respectiva, tal como se observa en la Figura 15.

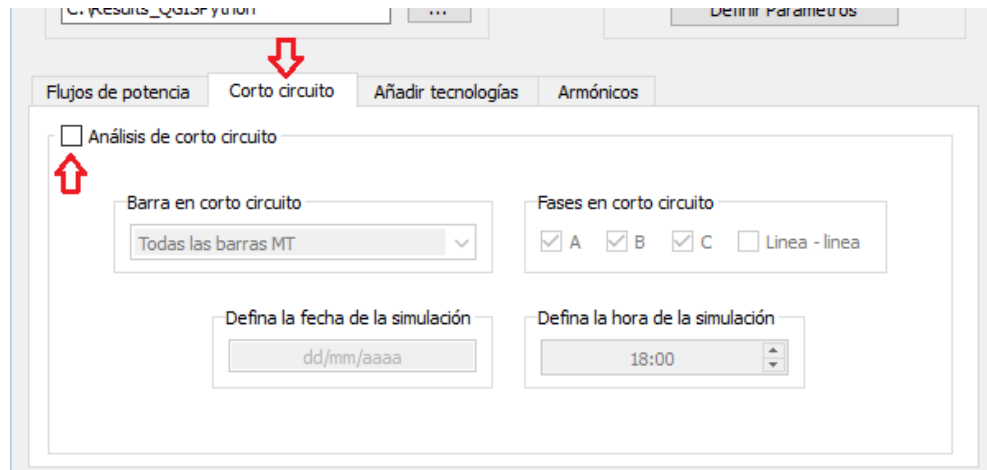


Figura 15. Apartado de la herramienta para la simulación de fallas de corto circuito

Al usuario se le solicita que ingrese la hora y fecha con el fin de correr un flujo de potencia y así obtener las tensiones pre-falla. En la Figura 16 se observan las opciones para realizar el estudio, donde es posible cortocircuitar una sola barra, o bien hacer un barrido de las barras de media tensión, baja tensión, o ambas. Además, mediante la selección de fases en corto se escoge el tipo de cortocircuito a realizar en cada barra, sea trifásico-tierra (ABC), bifásico a tierra (AB, BC, AC), bifásico línea a línea (AB Línea - Línea, BC Línea - Línea, AC Línea - Línea) o monofásica a tierra (A, B, C).

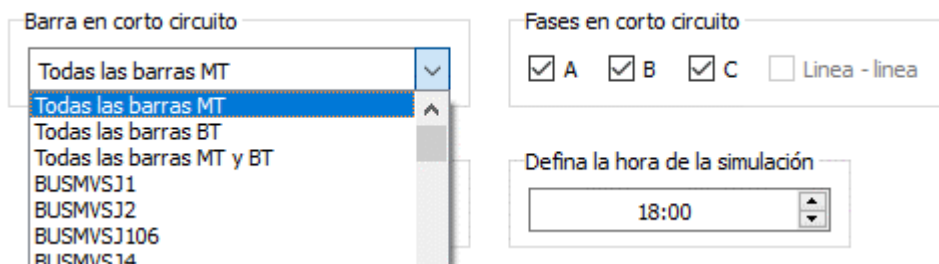


Figura 16. Especificaciones para fallas de corto circuito

5. Inclusión de tecnologías

5.1. Funcionamiento y utilización

La herramienta dispone de la facilidad de incorporar sistemas de generación distribuida y vehículos eléctricos en los clientes con el propósito de ser incluidos en los estudios de flujo de potencia y evaluar los impactos de altos niveles de penetración en ambos casos.

5.2. Generación distribuida

El usuario debe indicar la cantidad máxima de capacidad fotovoltaica que será incluida en el circuito a analizar, así como ingresar el archivo de información para la inclusión de paneles basado en un estudio previo de rentabilidad que realice la distribuidora (por medio de herramientas entregadas por el EPERLab), o basado en registros históricos de instalaciones de sus clientes, la cual varía según la tarifa, es decir, es necesario incluir archivos para Residencial, General y Media Tensión por separado, con la posibilidad de escoger, mediante las casillas, a cual tipo de cliente añadir las tecnologías. El espacio correspondiente a lo anteriormente citado se observa en la Figura 17.

Figura 17. Apartado de la herramienta para la inclusión de generación fotovoltaica

Un ejemplo de cómo debe ser el formato de los datos ingresados, así como los datos necesarios que contiene el *.csv se observa en la Figura 18.

	A	B	C
1	Consumo	Capacidad	Probabilidad
2	300	0.75	0
3	310	0.75	0.001481
4	320	0.75	0.002963
5	330	1	0.004444
6	340	1	0.005926
7	350	1	0.007407
8	360	1	0.008889
9	370	1.25	0.01037
10	380	1.25	0.011852
11	390	3.25	0.013333
12	400	3.25	0.014815
13	410	3.25	0.016296
14	420	3.25	0.017778
15	430	3.25	0.019259

Figura 18. Apartado de la herramienta para la inclusión de generación fotovoltaica

5.2.1. Ejemplo

En Figura 19 y Figura 20 se muestran los resultados de una simulación diaria al aplicar una capacidad de 200 kW de sistemas fotovoltaicos, asignados aleatoriamente al circuito de prueba.

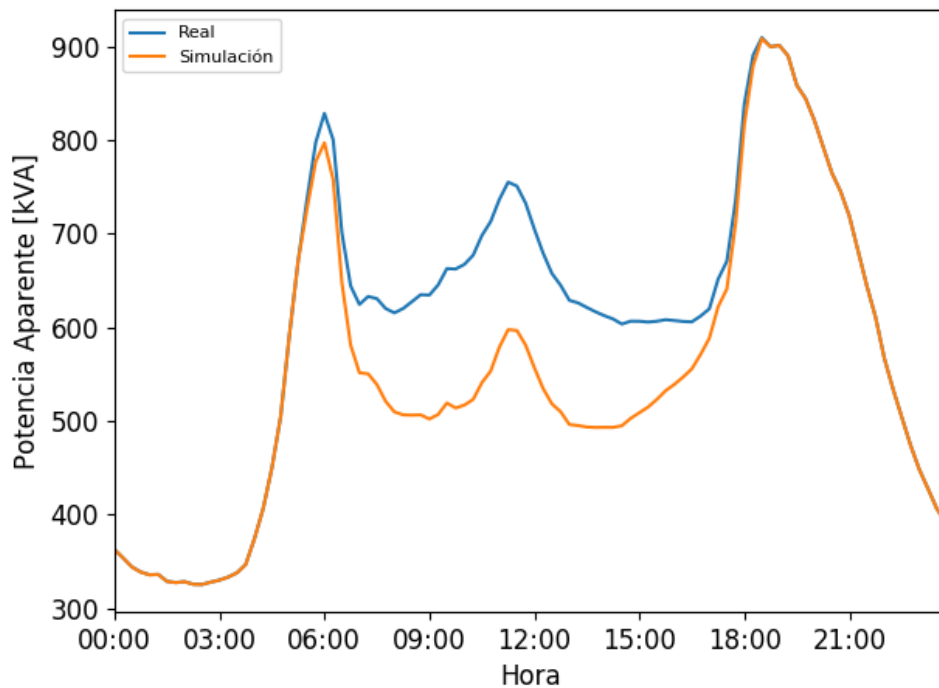


Figura 19. Potencia Aparente

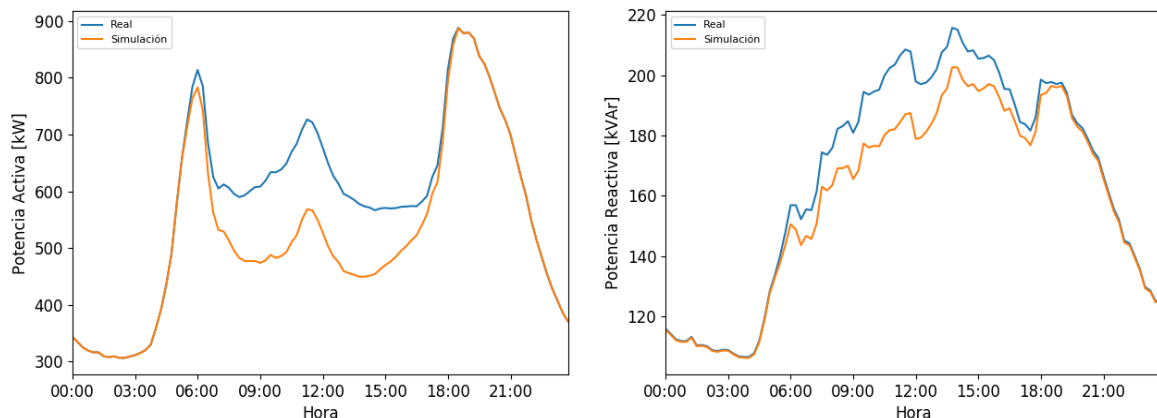


Figura 20. Potencia Activa (izquierda) y potencia Reactiva (derecha)

5.3. Vehículos eléctricos (VEs)

En este caso se permite seleccionar el nivel de penetración de Vehículos Eléctricos (VEs) con base en la cantidad de usuarios residenciales que existan. Además, si existe un archivo dss de VEs previamente generado por el plugin QGIS2OpenDSS se toma en cuenta la cantidad de VEs suministrada por este archivo para calcular cuál es la cantidad de VEs que se tienen que suministrar para alcanzar el porcentaje deseado.

En la figura Figura 21 se muestra la interfaz para realizar un estudio de este tipo, la cual se accede directamente desde la ventana principal del plugin, al habilitar el check de estudio de vehículos eléctricos y dar click en añadir parámetro.

Parámetros vehículos eléctricos ✕

Estrategia de ubicación ☒ Aleatoria ☐ Probabilística ☐ Por consumo

Seleccione los archivos de información

... Nivel de penetración (%):

Figura 21. Interfaz para añadir estudio de VEs.

Se pueden ubicar los VEs en aquellos lugares donde existan cargas residenciales, según la estrategia de ubicación aleatoria, probabilística (para lo cual se deberá suministrar un archivo de probabilidades) y por consumo (los VEs se asignarán primero a aquellas residencias que tengan mayor consumo en kWh).

En la figura Figura 22 se puede observar un csv de ejemplo para asignar las probabilidades de que exista un VE en determinada carga. La parte derecha es la continuación de la parte izquierda. Los datos pueden cambiar, sin embargo, la estructura debe permanecer invariante.

Consumo	Probabilidad		
		280	0.04695784
0	0	290	0.07889932
10	0	300	0.107693
20	0	310	0.12970839
30	0	320	0.14466561
40	0	330	0.15583029
50	0	340	0.16315111
60	0	350	0.16836601
70	0	360	0.17282137
80	0	370	0.18636488
90	0	380	0.19736163
100	0	390	0.20543219
110	0	400	0.2115363
120	0	410	0.21604962
130	0	420	0.21962783
140	0	430	0.22249973
150	0	440	0.22496755
160	0	450	0.22444312
170	0	460	0.23020375
180	0	470	0.23476412
190	0	480	0.23832856
200	0	490	0.24118461
210	0	500	0.24348527
220	0	510	0.24531067
230	0	520	0.24676249
240	0	530	0.24796898
250	0	540	0.24895135
260	0.027491392	550	0.24783754
270	0.038349177	560	0.25004236
280	0.046957843	570	0.25198028
		580	0.25370827
		590	0.25525765
		600	0.2566239
		610	0.25780248
		620	0.25882594

Figura 22. Ejemplo de csv con probabilidades para estudio de VEs

5.4. Planteles de buses eléctricos (AEBs)

Para el análisis de planteles de buses eléctricos se debe haber generado un archivo dss de planteles de buses con el plugin QGIS2OpenDSS. A partir de ese archivo se modificarán los buses eléctricos que se incluirán en la simulación a partir del porcentaje de penetración indicado en la interfaz de la Figura 23.

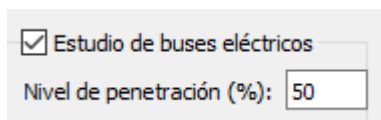


Figura 23. Interfaz para simulación de buses eléctricos (AEBs)

6. Armónicos

6.1. Funcionamiento y utilización

Para el análisis de componentes armónicas en el complemento, es necesario cargar un archivo de información como el mostrado en la Figura 24, en este caso, se muestra la pestaña que contiene los pesos de cada componente Gaussiana utilizada que se utilizará para la asignación de espectros a las cargas. En este momento solamente se cuenta con información sobre los espectros de cargas Residenciales.

En la Figura 25 se muestra la pestaña Armónicos, en donde es necesario activar “Flujo de potencia de armónicos” para acceder a las opciones. En esta sección es necesario definir los armónicos que se desean simular, en donde se admiten las siguientes opciones:

- Según cantidad, por ejemplo, si se introduce “25”, se realizará una simulación que incluya las componentes desde la 1 hasta la 25
- Por rangos, por ejemplo “1-10”
- Separación de rangos, por ejemplo “1-5,10-15”
- Por pasos, por ejemplo “3:3:9” (simula las componentes 1,3,6,9)
- Individuales, por ejemplo “1,3,9”

	A	C	D
1	tiempo	I_h2	I_h3
2	00:00	[0.49 0.03 0.49]	[0.15 0.51 0.12 0.22]
3	00:10	[0.49 0.03 0.48]	[0.52 0.15 0.12 0.22]
4	00:20	[0.49 0.03 0.48]	[0.15 0.52 0.11 0.22]
5	00:30	[0.49 0.48 0.03]	[0.53 0.15 0.11 0.21]
6	00:40	[0.48 0.49 0.03]	[0.54 0.15 0.11 0.21]
7	00:50	[0.5 0.48 0.03]	[0.59 0.16 0.25]
8	01:00	[0.03 0.48 0.49]	[0.6 0.16 0.25]
9	01:10	[0.48 0.49 0.03]	[0.25 0.16 0.6]
10	01:20	[0.5 0.48 0.02]	[0.6 0.16 0.24]
11	01:30	[0.48 0.5 0.03]	[0.59 0.16 0.25]

Figura 24. Ejemplo de archivo con información del espectro armónico

Lo siguiente, es definir el archivo de parámetros (ver Figura 24) el cual es un archivo .x/s que será proveído junto con el complemento y tiene una resolución de 144 muestras.

Nota: Al estar la curva de demanda en resolución de 96 muestras se realiza una interpolación para poder realizar el análisis de armónicos a 144 muestras.

Las opciones de flujos de potencia a simular son “Flujo de potencia diario”, el cual genera gráficas de la distorsión armónica total (THD) y distorsión total de la demanda (TDD), en valores reales y porcentuales, cuyas medidas se encuentran en la primera línea del circuito. La herramienta también cuenta con la opción “Flujo de potencia instantáneo”, en donde se genera un gráfico de barras cada una representando la contribución por fase de cada componente armónica para mostrar el estado de la red en ese instante dado. Además, los datos graficados son exportados en archivos *.csv los cuales serán guardados en la ubicación escogida por el usuario.

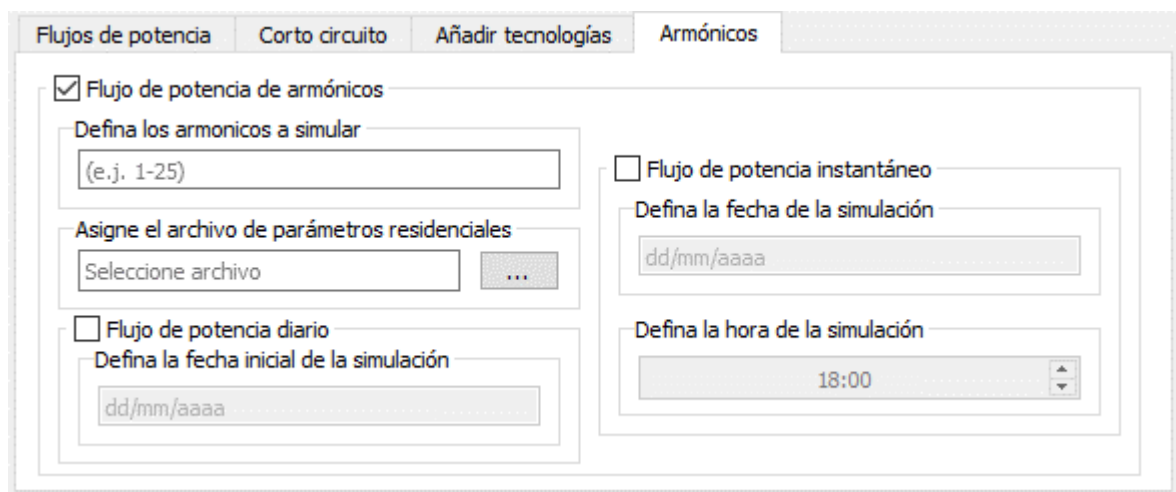


Figura 25. Opciones para análisis de armónicos

6.2. Presentación de resultados

En la Figura 26 se muestra el gráfico de una estimación de TDD utilizando la corriente máxima diaria en un circuito de prueba, mientras que la Figura 27 muestra el THD para este mismo circuito. Ambas gráficas son obtenidas al realizar un estudio diario con componentes armónicas.

Por otra parte, la gráfica Figura 28 muestra el estado de la red ante un instante dado y grafica la contribución de corriente de cada componente armónica.

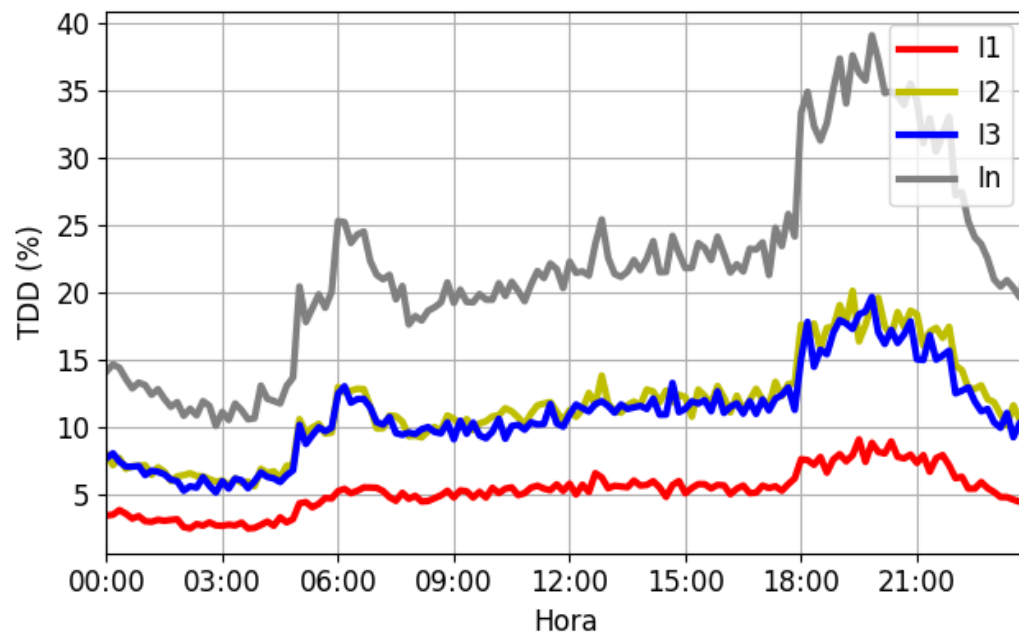


Figura 26. Distorsión Total de la Demanda

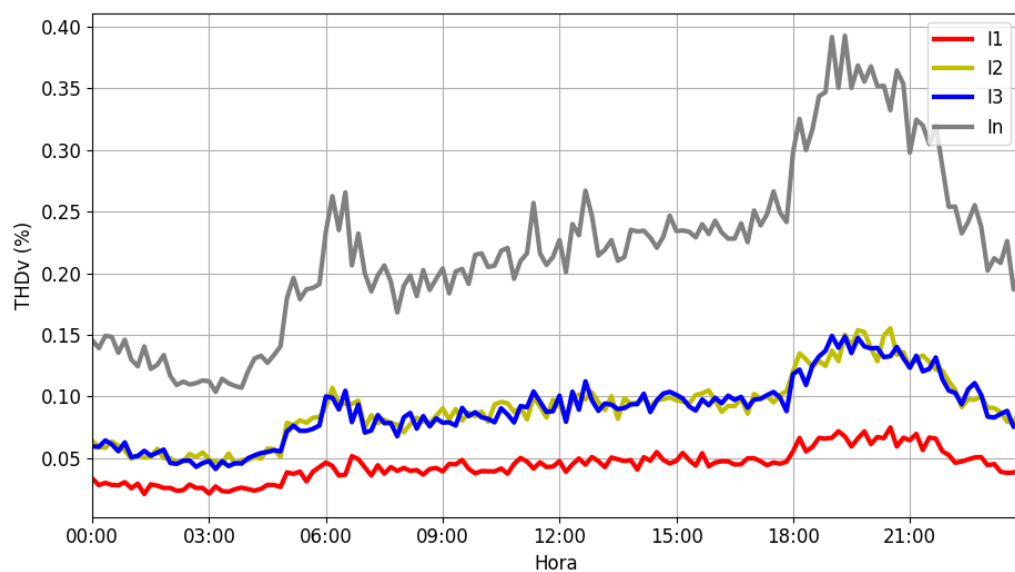


Figura 27. Distorsión Armónica Total en la tensión

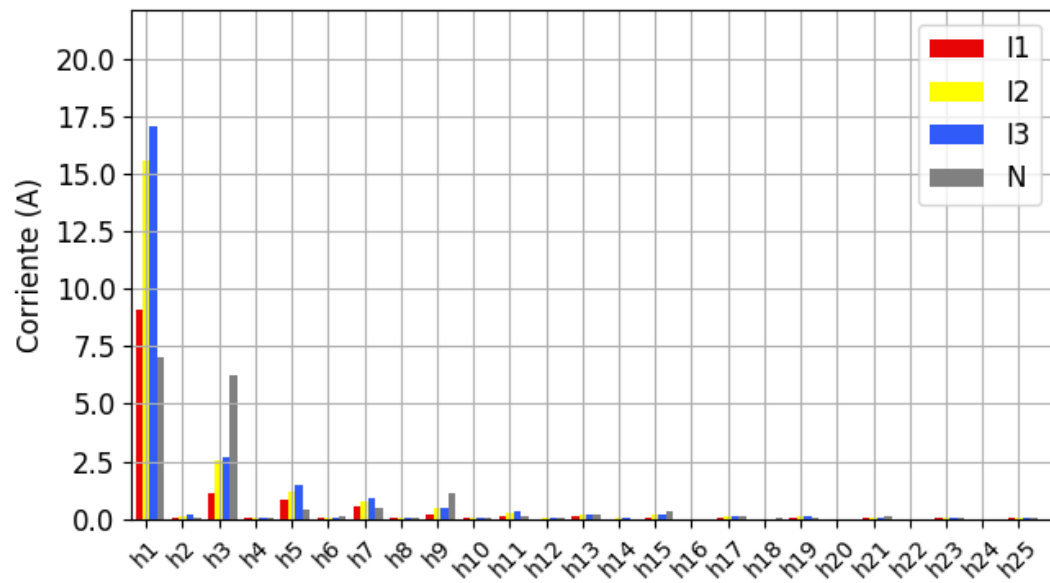


Figura 28. Estado de la red, flujo de potencia instantáneo