

CONICET



INSTITUTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ESTUDIO DE ARMONICOS CON OPENDSS

Ing. Gustavo D. Baron

Av. Libertador 1109 (Oeste) - San Juan - Argentina
Tel: 0054 - 264 - 4226444 - Fax: 0054 - 264 - 4210299
email: ieedir@iee.unsj.edu.ar
Web: www.iee.unsj.edu.ar



INSTITUTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA – UNSJ - CONICET

INTRODUCCIÓN

Open DSS (Open Distribution System Simulator) fue desarrollado por EPRI (Electric Power Research Institute)

Es una plataforma de cálculo orientada a la simulación y estudio de redes de distribución, que permite realizar todos los estudios tradicionales en estado estacionario y nuevos tipos de análisis, incorporando generación distribuida renovable (GDR).

Desarrollado para planificación en distribución con GD, tiene orígenes característicos de análisis de armónicos (solución en dominio frecuencial), incorporando aspectos no comunes de manera nativa en programas tradicionales diseñado para flujo.

Algunas características innovadoras:

- **Simulaciones en tiempo secuencial: desde origen pueden realizar simulaciones de ciclos de trabajo con periodicidad deseada (anual, mensual, diaria, horas, etc.)**
- **Cada elemento modelado puede asociarse a una curva de carga o funcionamiento, pudiendo variar parámetros para cada instancia de cálculo.**
- **Considera redes balanceadas o desbalanceadas, mono o polifásicas**
- **Elementos de control se modelan por separado**
- **Flexible posibilidad de integración con desarrollos en otras plataformas (VBasic, Python, LabView, Matlab, Excel, etc.), potenciándose para análisis complejos o actuando en forma subordinada para la gestión sistemática y/o automática de datos.**

CAPACIDADES Y APLICACIONES

Algunas de las utilidades para las puede utilizarse Open DSS:

- **Análisis de sistemas con generación distribuida**
- **Simulación de sistemas de generación solar fotovoltaica**
- **Simulación de plantas de generación eólica**
- **Estudio de redes de distribución inteligentes**
- **Modelado de sistemas con almacenamiento de energía**
- **Análisis eléctrico de circuitos polifásicos de corriente alterna**
- **Simulaciones horarias, diarias y anuales de carga y demanda**
- **Análisis de planificación de sistemas de distribución**
- **Mejoramiento de la eficiencia en redes de distribución.**
- **Análisis de control de sistemas eléctricos**
- **Análisis de operación de sistemas eléctricos**
- **Análisis de Armónicos e Interarmónicos**
- **Simulación de tensiones Neutro-a-tierra**
- **y muchos otros ...**

Aunque Open DSS no está concebido como un programa de flujo de potencia, es tal vez uno de sus usos más frecuentes, destacando en potentes capacidad para este tipo de análisis.

MODOS DE SOLUCIÓN Y SIMULACIÓN

Flujo de potencia o Flujo de Carga (Power Flow)

Open DSS está diseñado para realizar un cálculo de flujo de potencia en el cual la red superior es en general la fuente predominantemente de energía, no obstante no aplica la solución tradicional en distribución de resolver redes malladas o radiales, a través de equivalentes radiales.

Modos de solución:

- **Direct (no iterativo):** Cálculo simple que no considera la evolución de las tensiones nodales, resolviendo a partir de los valores nominales y donde los elementos capaces de convertir energía (cargas, generadores, almacenadores, PV, etc.) son modelados como impedancias constantes.
- **Snapshot:** Solución iterativa única, omitiendo las curvas de carga y de generación, usando solo los valores base de estos elementos.
- **Daily, Yearly y Duty cycle:** Simulaciones de 24, 8760 horas con incrementos de 1 hs o ciclos de trabajo con incrementos de 1 a 5 seg, siguiendo curvas de diarias o anuales definidas por el usuario.

En modos iterativos los elementos de conversión de energía son modelados por fuentes de inyección de corriente (Norton) y resueltos mediante dos algoritmos posibles, inyección de corriente normal (método iterativo simple de punto flotante) y método de Newton (más robusto para resolver circuitos complejos).

SIMULACIÓN Y MODOS DE SOLUCIÓN

Análisis de armónicos (Harmonic Flow)

Resuelve en el dominio de la frecuencia mediante penetración iterativa HPI.

Se establecen espectros armónicos asociados a elementos capaces de convertir energía del sistema, para calcular tensiones y corrientes en cada nodo y para cada frecuencia indicada.

Para inicializar el problema resuelve un flujo de potencia (snapshot), que establece módulos y fases a frecuencia nominal, utilizados como referencia para los modelos (fuentes de armónicos).

Modos de solución:

- **Cálculo armónico:** resuelve el modelo para las frecuencias establecidas, resultando en las tensiones y corrientes armónicas, para todos los nodos y ramas, mediante el teorema de superposición y suma vectorial.
- **Barrido en frecuencia:** permite conocer la relación impedancia vs frecuencia para un nodo particular del sistema.

Modelos de cargas (fuentes de corriente - modelo Norton especial):

- **Consideran fase y magnitud.**
- **Pueden definirse “Sin Secuencia” (rotación libre acorde a la frecuencia), “Secuencia positiva” (mantienen secuencia positiva para todas las frecuencias, igual magnitud y desfase de 120° ABC) o “Secuencia cero” (igual magnitud y en fase).**

OTRAS POSIBILIDADES DE SIMULACION

Cálculo de Falla (Fault Studies)

- **Convencional para todas las barras:** calcula I_f y V_f para de todas las fases y tipos de falla (FT, FF y BT). Considera grupo de conexión de transformadores.
- **Falla singular:** usuario ubica a voluntad una o más fallas, tipo y resistencia de contacto a tierra (Resistencia).
- **Falla aleatoria (Modo Monte Carlo):** se definen fallas y localizaciones y el algoritmo las selecciona de a una a la vez para resolver.

Estudios dinámicos (Dynamics)

Estudios básicos de transitorios electromecánicos (~1 ms). Metodología iterativa donde para el modelo de generador se calculan corrientes usando la tensión de bornes ajustada por ángulo de fase. La potencia entregada depende de las condiciones del sistema

Variación paramétrica de cargas (Load Parametric Variation)

Evaluar los efectos de modificar un parámetro asociado a un componente. Variar cargas según una función predefinida (por ej crecimiento de demanda), o evaluar el efecto de una modificación aleatoria (Monte Carlo o análisis estadístico).

Otras posibilidades....

COMPONENTES BASICOS DE OPENDSS

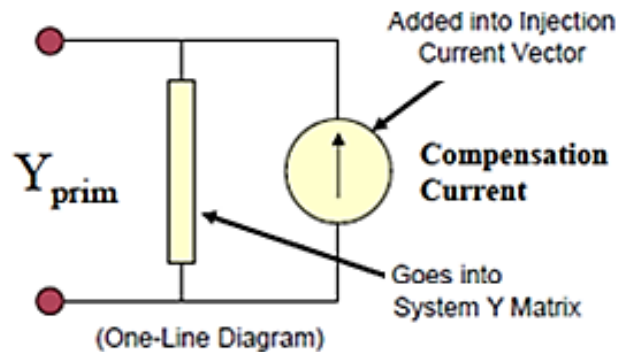
Open DSS utiliza una serie de elementos o componentes que pueden ser configurados con gran flexibilidad

- **Elementos de suministro y distribución de energía (Power Delivery - PD).**
 - **Líneas y cables (todos los tipos de líneas, cables)**
 - **Transformadores (polifásicos y con diferente cantidad de bobinados)**
 - **Capacitor y Reactor (serie y paralelo)**
- **Elementos de conversión de energía (Power Conversion - PC)**
 - **Generadores**
 - **Carga (modelos de carga general)**
 - **Generación Solar (conjunto panel solar - inversor)**
 - **Almacenaje de energía**
- **Medidores (Meters)**
 - **Medidor de Energía (permiten medir y capturar cantidades y pérdidas de energía)**
 - **Monitor (permiten medir y capturar magnitudes en un punto en el circuito)**
- **Otros componentes**
 - **Barras y nodos**
 - **Elementos de control (capcontrol, regcontrol, etc.)**
 - **Objetos de uso general (loadshape, growthshape, spectrum, scanfrequency, etc)**

MODELO DE PowerConversionElements (PC)

Open DSS realiza los diferentes análisis en base a la formulación de la *matriz de admitancia resuelta en el dominio de la frecuencia*. Los distintos modos de cálculo se logran principalmente a través del tratamiento de los elementos PC (cargas y generadores).

Implementación básica de un PC:

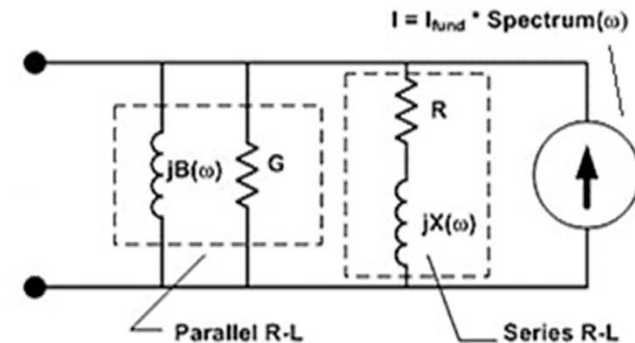


Para elementos lineales solo se considera la rama de admitancia (Y) mientras que para otros, en especial cargas no lineales y generadores, se le adiciona la fuente de corriente.

Este modelo permite considerar variaciones con la tensión y es capaz de representar diferentes tipos de cargas (P y Q Cte, P Cte, P cte y Q^2 , ZIP, Z Cte y P^2 - Q^2 y otros) y puede ser afectado por multiplicadores (loadshape, growthshape, etc.).

Para cálculo de armónicos :

Todas las cargas se modelan con esquema especial, donde las impedancias se ajustan con la frecuencia. El usuario tiene control de habilitar las ramas paralelas y sobre qué porcentaje de la carga representa cada parte.

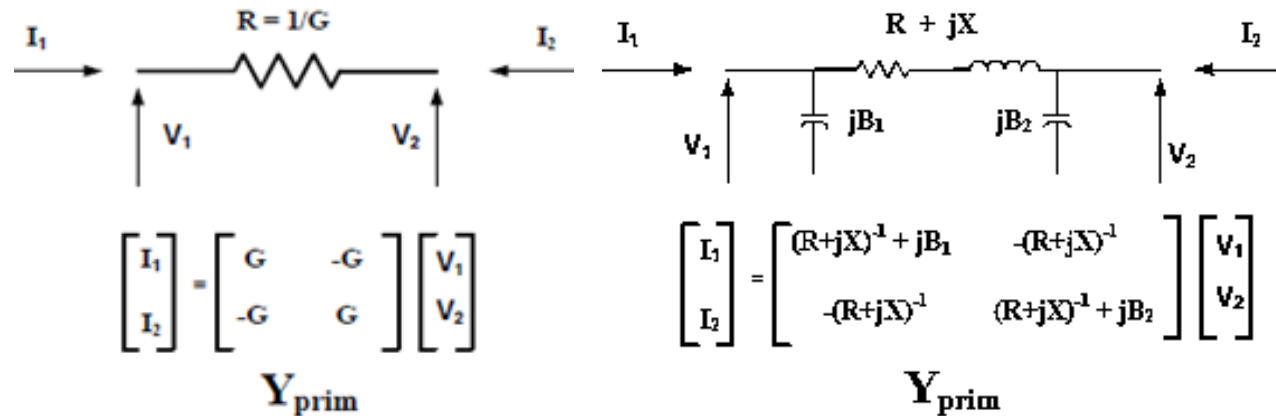


OBTENSION DE MATRIZ ADMITANCIAS

Para la formulación de la *matriz de admitancia de la red* es necesario que los diferentes elementos sean representados por sus matrices primitivas.

A modo de ejemplo

Matriz
primitiva de
un resistor y
una modelo
de línea



La estructura superior de Open DSS (en Delphi) gestiona la creación y modificación de las matrices primitivas (Y_{prim}) para cada elemento, así como la gestión de barras, recopilación de resultados a través de medidores y ejecución de los elementos de control.

Este algoritmo también determina qué elementos, o parte de ellos, se incorporaran a la matriz del sistema y construye la matriz de admitancias (Y) del sistema.

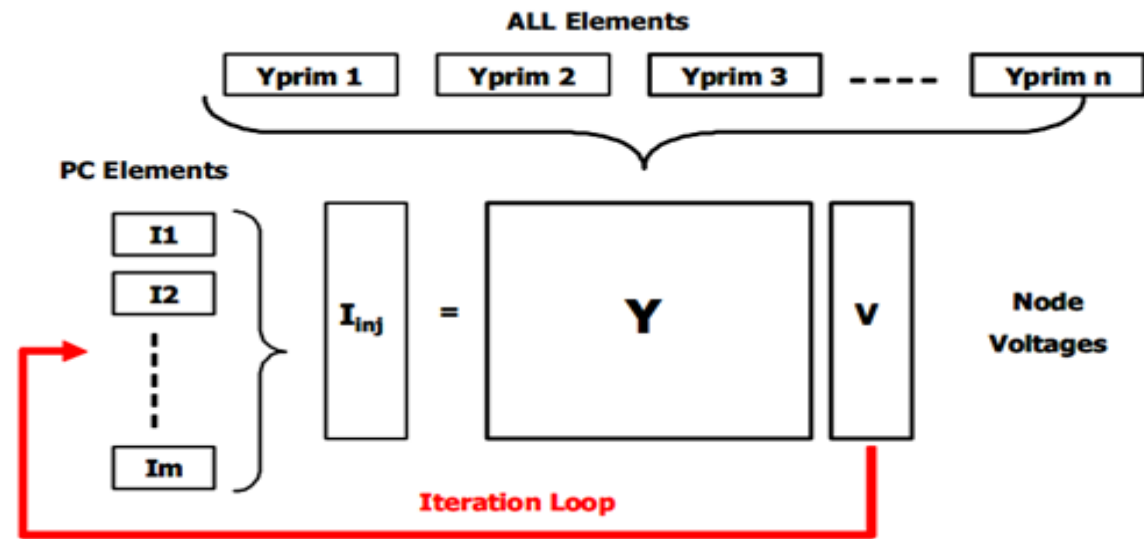
Antes de la creación de la matriz se toman *acciones particulares* según tipo de análisis (cálculo de flujo, de falla, dinámico, de armónicos, etc.), en relación con la frecuencia de cálculo y tratamiento de los componentes.

PROCESO DE SOLUCIÓN

Las acciones mencionadas son por ejemplo para flujo los elementos PC son linealizados y reemplazados por su equivalente Norton en base a los valores nominales y al modelo de carga elegido. Para armónicos las admitancias se ajustan a la frecuencia de cálculo, las cargas se reemplazaran por el modelo Norton especial y los generadores son reemplazados por su impedancia subtransitoria.

El proceso de solución continua una vez encontrada la matriz de admitancia Y .

El ciclo de iteración comienza al obtener el vector de corrientes (I_{inj}) a inyectar por los elementos (PC)



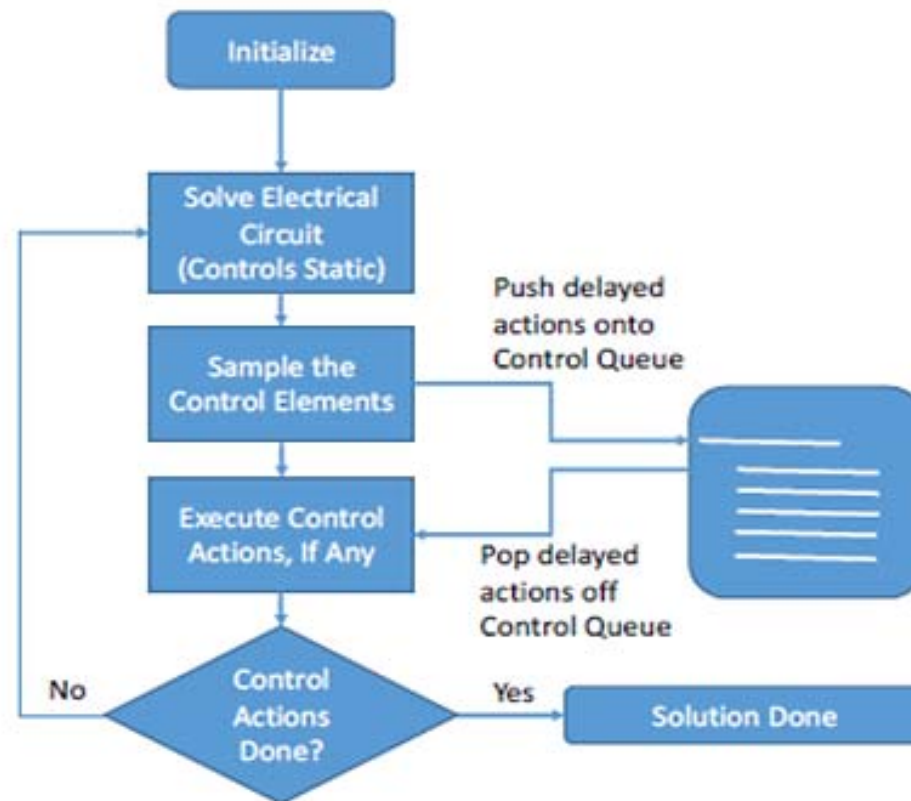
Luego se obtienen las tensiones iniciales a partir de la matriz Y .

El ciclo se repite hasta que los voltajes convergen (variaciones inferiores a 0,0001 pu). La matriz Y no se reconstruye durante el proceso.

ACCIONES DE CONTROL

Las acciones de control se realizan fuera del bucle descripto, es decir, una solución convergente se logra antes de comprobar si se requieren acciones de control.

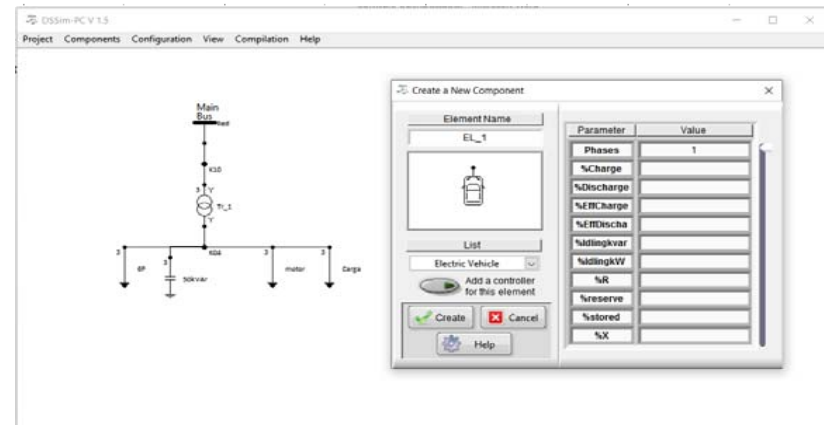
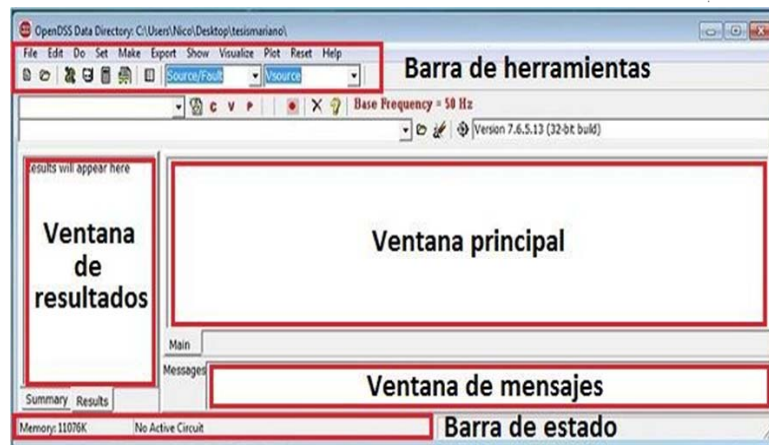
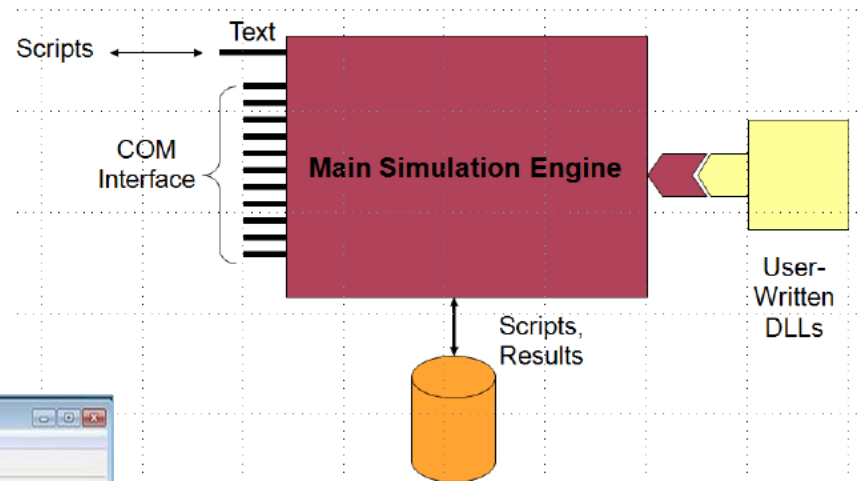
Estas acciones son definidas por el usuario (interruptores) o por los elementos de control automático (capcontrol y regcontrol) que modifican el funcionamiento de los elementos de distribución de energía (Power Delivery Elements PD).



INTERACCION CON OPENDSS

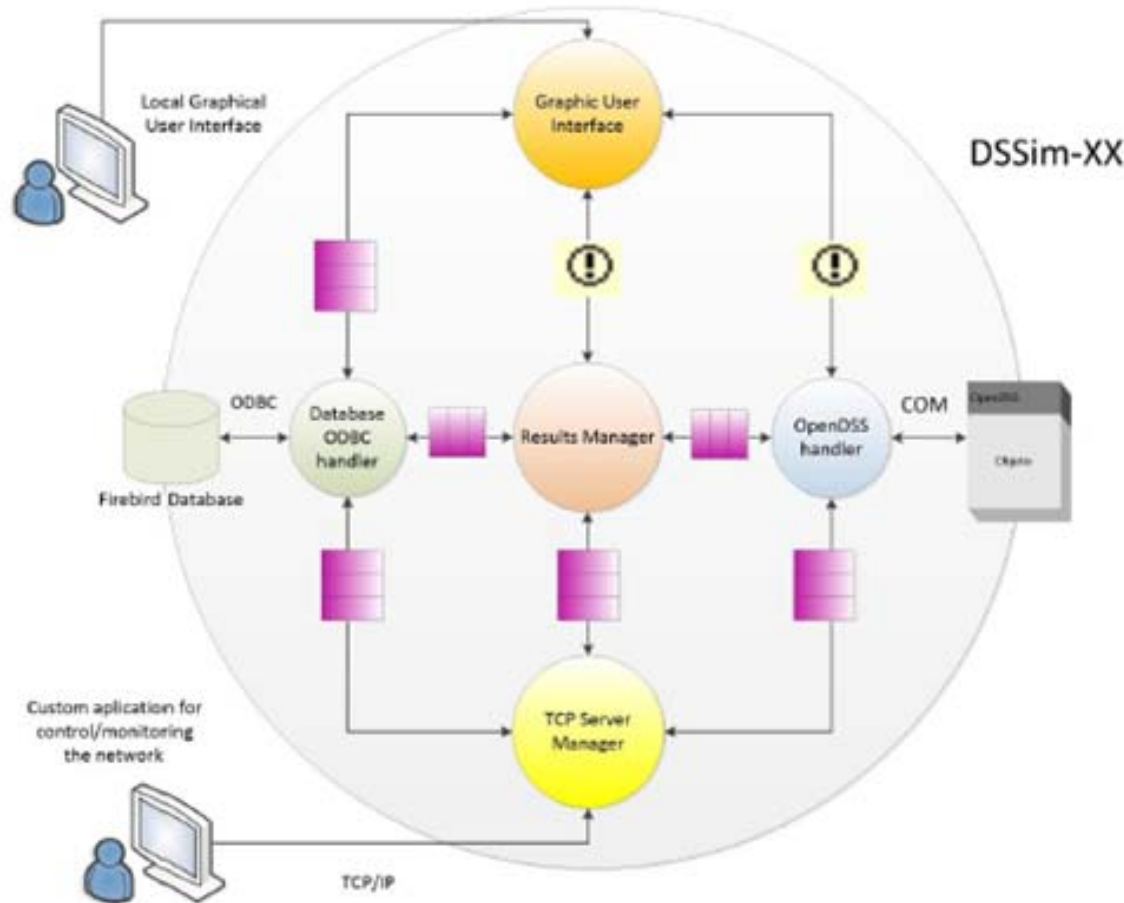
El armado de un modelo y el control de la simulación, se puede realizar a través de diferentes métodos: Desde una aplicación externa que invoca a una librería DLL o desde una versión ejecutable autónoma del programa (stand-alone executable program).

Los desarrolladores incluyen una interfaz COM (Component Object Model) que a través de invocar la librería DLL, proporciona un entorno de trabajo a nivel comando.



INTERFAZ DSSim

DSSim es un simulador de redes de distribución cuyo motor de cálculo es OpenDSS y puede ser utilizada como interfaz gráfica para este, permitiendo el armado de modelos y la gestión de los cálculos. Metodología de trabajo de DSSim:

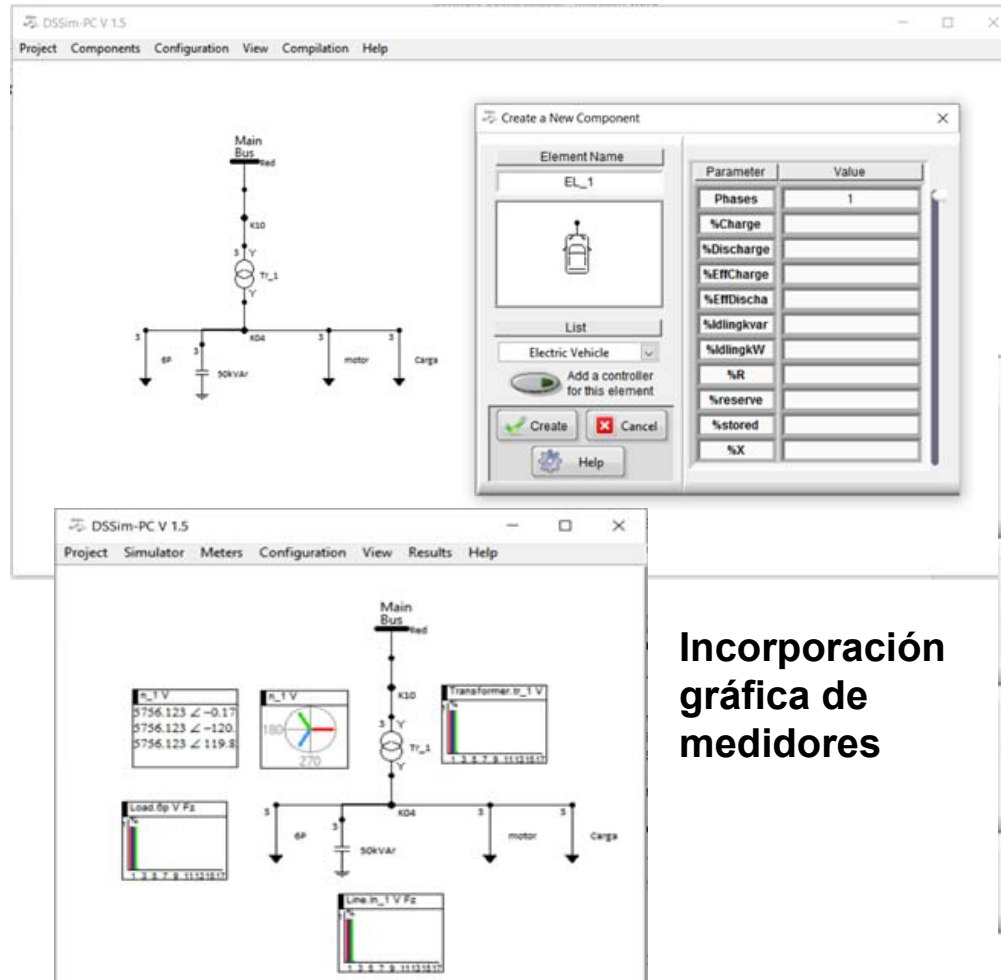


La primera versión de DSSim-PC (Electrical Distribution System Simulator for PC) fue lanzada en 2013, y puede ser descargada desde

<http://sourceforge.net/projects/dssimpc/?source=navbar>

INTERFAZ DSSim

La aplicación proporciona un espacio de trabajo con dos modos de funcionamiento, el modo constructor y el modo simulador



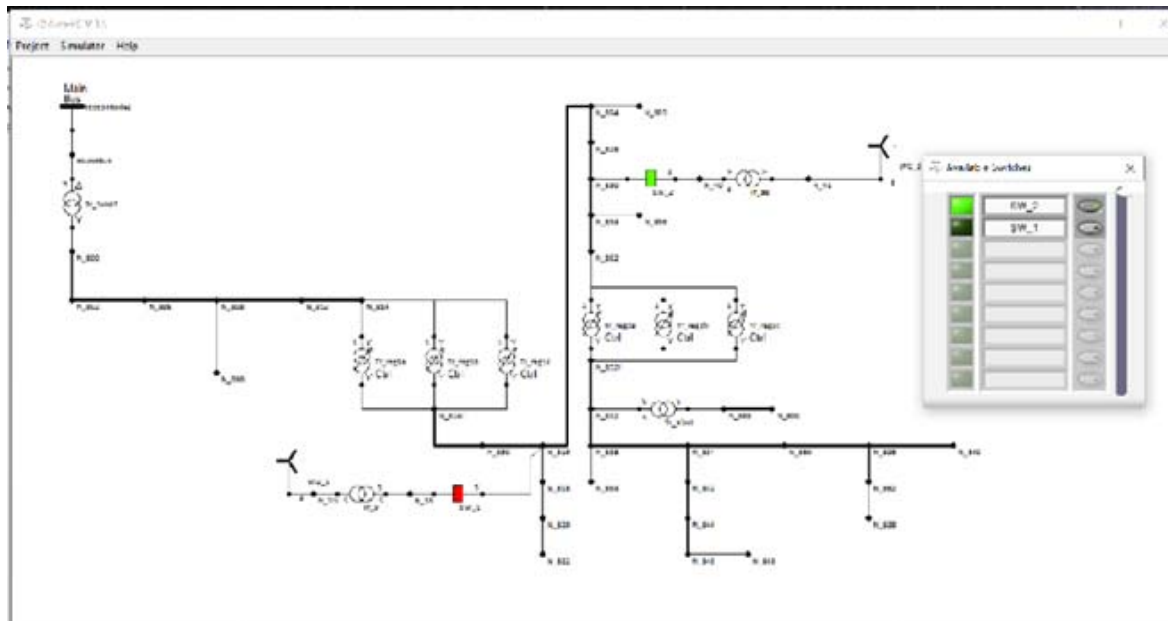
Cada componente dispone de una ficha de configuración de propiedades

Selección del tipo de simulación, paso y número de iteraciones, así como tiempo final y número de días según corresponda

Incorporación gráfica de medidores

INTERFAZ DSSim

Adicionalmente se dispone de otros formularios que permiten generar elementos comunes como variaciones de carga (loadshape) o espectros armónicos (Spectrum Harmonic)



Por su esquema de trabajo permite interactuar con la simulación durante la ejecución, disponiendo de paneles o formularios que habilitan a comandar interruptores incluidos en el modelo, y observar resultados en tiempo de simulación.