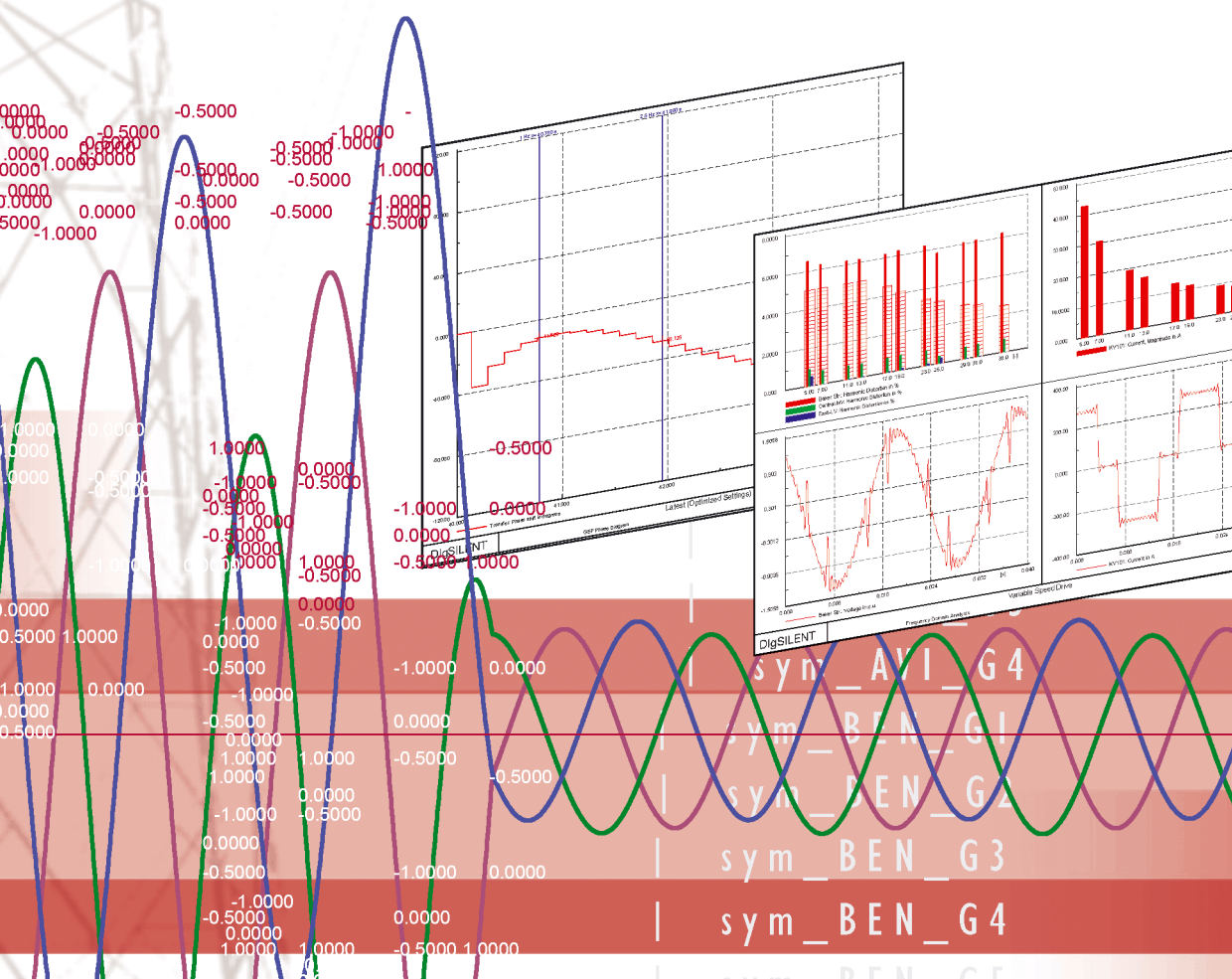


Ejemplo de Aplicación - Redes Inteligentes

Colocación Óptima de Almacenamiento en Redes de Distribución

preparado para:

IV Workshop Smart Grids
Almacenamiento energético en las Smart Grids





DlgSILENT GmbH
Heinrich-Hertz-Strasse 9
D-72810 Gomaringen
Tel.: +49 7072 9168 - 0
Fax: +49 7072 9168- 88
<http://www.digsilent.de>
e-mail: mail@digsilent.de

DlgSILENT Ibérica SL
José Abascal, 44. Planta 1
28003 – Madrid
Tel.: +34 91 1273723/4
<http://www.digsilent.es>
e-mail: iberica@digsilent.com

Por favor, contacte con:

Ana Morales
Tel.: +34-91-1273723
e-mail: a.morales@digsilent.com

Índice

1 Ejemplos de aplicación: Red de Distribución MT	4
2 Algoritmo de colocación óptima de almacenamiento	6
2.1 Análisis de sensibilidad	6
2.2 Optimización.....	10
3 Conclusiones	12

1 Ejemplos de aplicación: Red de Distribución MT

DIGSILENT PowerFactory 15.2 se suministra con un completo paquete de ayuda para usuarios. Se proporcionan documentos con información básica del programa y sus funciones, así como referencias técnicas con descripciones matemáticas de modelos, detalles de los algoritmos avanzados de simulación y ejemplos de aplicación. Los ejemplos de aplicación están disponibles para todos los usuarios desde el menú del programa "File→ Examples".

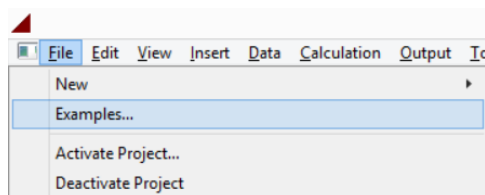


Figura 1: Menú File → Examples

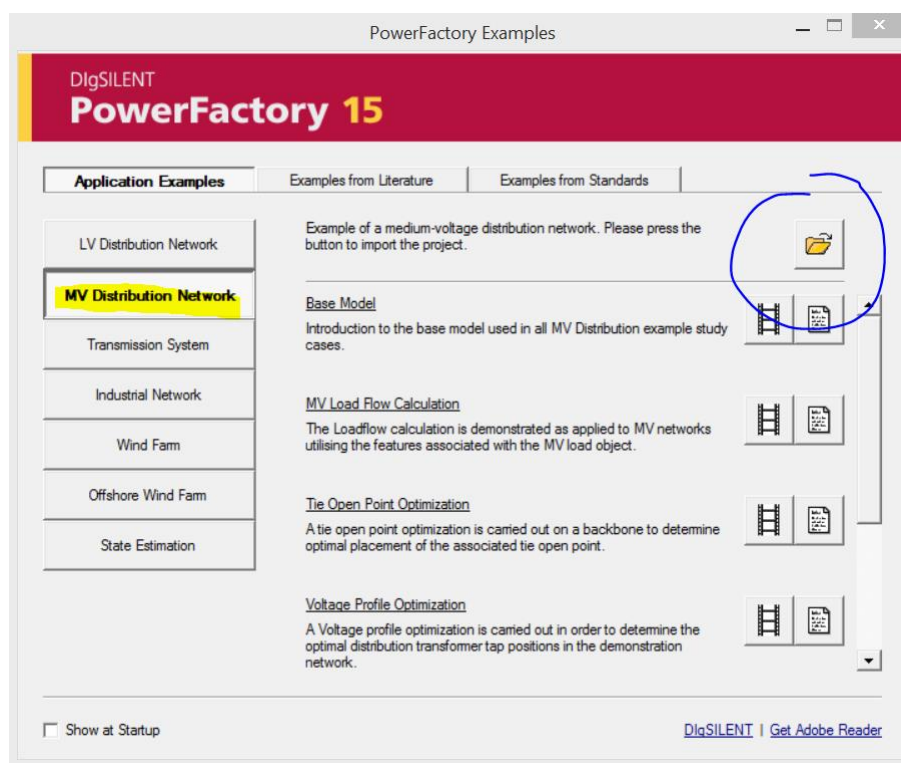


Figura 2: Ejemplos de aplicación de DIGSILENT PowerFactory

El ejemplo que presentamos en este documento es el ejemplo "MV Distribution Network". Como se observa en la Figura 2, es posible importar el proyecto para acceder a él mediante clic en la carpeta rodeada en azul. Este ejemplo se suministra ya preparado con varios casos de estudio predefinidos, como se ve en la Figura 3.

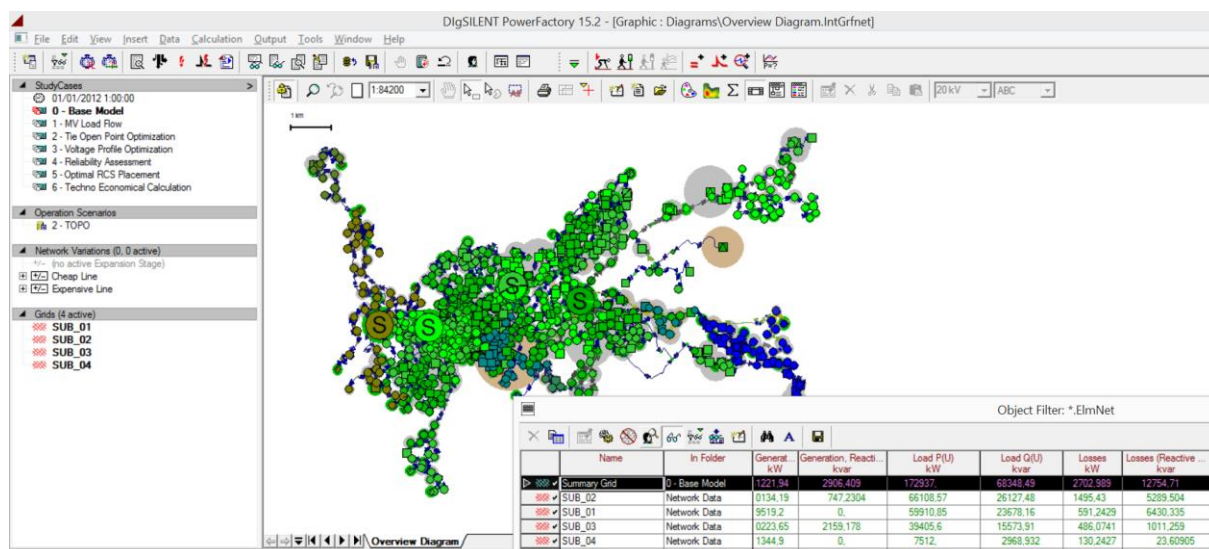


Figura 3: Visión general del Proyecto en DigSILENT PowerFactory 15.2

Los ejemplos de aplicación se acompañan de documentos en pdf que incluyen una descripción de cada uno de los casos de estudio predefinidos y además, de unos videos para facilitar al usuario el manejo y navegación a través de estos ejemplos.

En este proyecto, se emplea una red de media tensión con diagramas detallados de 4 subestaciones principales AT/MT (63/20kV) y 862 subestaciones secundarias o centros de distribución MT (20kV). En total se han definido 4329 terminales (buses). El sistema se compone de 950 cargas de media tensión cuyo modelo incluye transformador MT/BT, distribuidas en 75 líneas de alimentación principales (feeders). Se han definido 121 posibles caminos o anillos (backbones) para operar las líneas de alimentación principales. El sistema cuenta con tres generadores, modelados como generadores estáticos y tres sistemas de almacenamiento energético de 3MVar conectados a la subestación 1. La carga total del sistema es de 172.937 MW como se detalla en la Tabla 1. El consumo de reactiva, pérdidas y niveles de generación obtenidos al resolver un flujo de cargas en el caso base, también se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Potencia activa y reactiva, generada y consumida en la red de media tensión. Pérdidas.

Nombre	Generación P [kW]	Generación Q [kVar]	Carga P [kW]	Carga Q [kVar]	Pérdidas ΔP [kW]	Pérdidas ΔQ [kVar]
SUB_01	9519,20	0,00	59910,85	23678,16	591,24	6430,34
SUB_02	10134,19	747,23	66108,57	26127,48	1495,43	5289,50
SUB_03	10223,65	2159,18	39405,60	15573,91	486,07	1011,26
SUB_04	1344,90	0,00	7512,00	2968,93	130,24	23,61
Summary Grid	31221,94	2906,41	172937,00	68348,49	2702,99	12754,71

A continuación se presenta el algoritmo de colocación óptima de almacenamiento en redes de distribución aplicado a esta red de media tensión que se suministra como ejemplo en DigSILENT PowerFactory.

2 Algoritmo de colocación óptima de almacenamiento

El algoritmo de colocación óptima de baterías de condensadores o almacenamiento en redes de distribución calcula el mejor bus para colocar una o varias baterías de condensadores con el objetivo de minimizar el coste total anual de la red de distribución. En este coste se tienen en cuenta los siguientes componentes:

- Coste anual de las baterías de condensadores (inversión, mantenimiento, seguros), indicado en la pestaña "Descripción" del tipo de batería de condensadores.
- Coste de las pérdidas de energía en la red que pueden reducirse por los condensadores debido a la mejora del perfil de tensión y debido al transporte de potencia reactiva no realizado.
- Coste ficticio de penalización para los buses de la red con una tensión fuera de la banda permitida.

Existen dos procedimientos para encontrar la configuración óptima del almacenamiento:

- Análisis de sensibilidad: permite encontrar los buses candidatos para la colocación de las baterías de condensadores.
- Optimización: permite determinar las ubicaciones reales y los tamaños de las baterías de condensadores. Esta optimización puede realizarse tanto para un único nivel de carga como para una serie de niveles de carga diferentes especificados.

2.1 Análisis de sensibilidad

En este caso el almacenamiento de prueba se instala en todas las barras de la línea principal de alimentación seleccionada (número 67) y se evalúa su efecto en el coste total anual del sistema. El tamaño de las baterías de condensadores de prueba utilizadas para evaluar el beneficio de coste que supone su instalación puede ser seleccionado de acuerdo a 4 opciones diferentes:

- Utilización del tamaño de batería de condensadores mínimo disponible.
- Utilización del tamaño de batería de condensadores máximo disponible.
- Utilización del tamaño de batería de condensadores determinado por los requisitos de potencia reactiva de la carga.
- Utilización del tamaño de batería de condensadores que mejor se ajusta al consumo de energía reactiva de la carga.

Para ilustrar el funcionamiento del análisis de sensibilidad determinaremos los buses candidatos para la instalación de varias baterías de condensadores de 250kVA en la línea principal de alimentación número 67 de la red de distribución cuya localización se muestra en la siguiente figura.

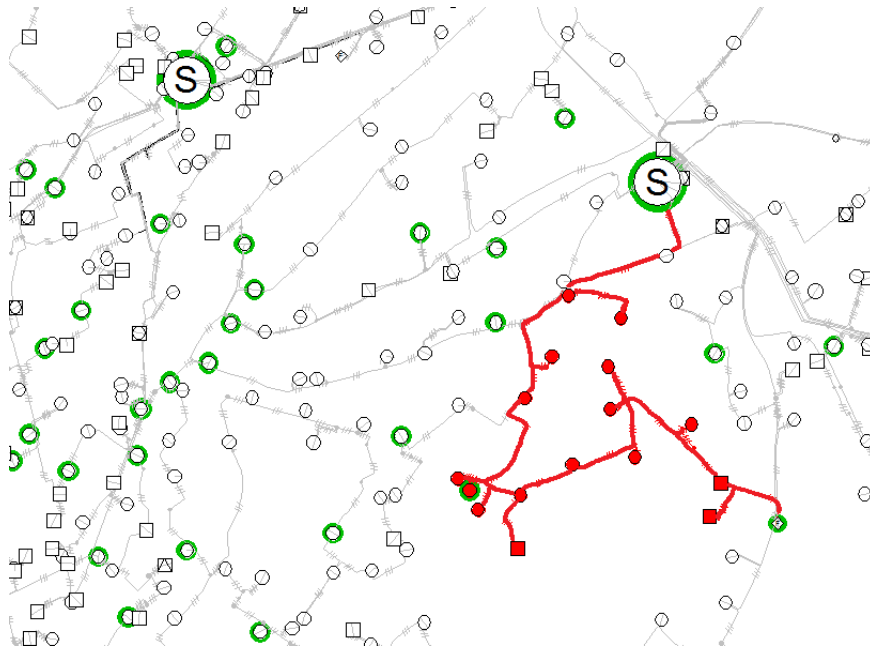


Figura 4: Línea principal de alimentación número 67.

En DigSILENT PowerFactory tras seleccionar la barra de herramientas "Optimal Capacitor Placement", es posible realizar el análisis de sensibilidad utilizando la opción "Calculate Optimal Capacitor Placement" ().

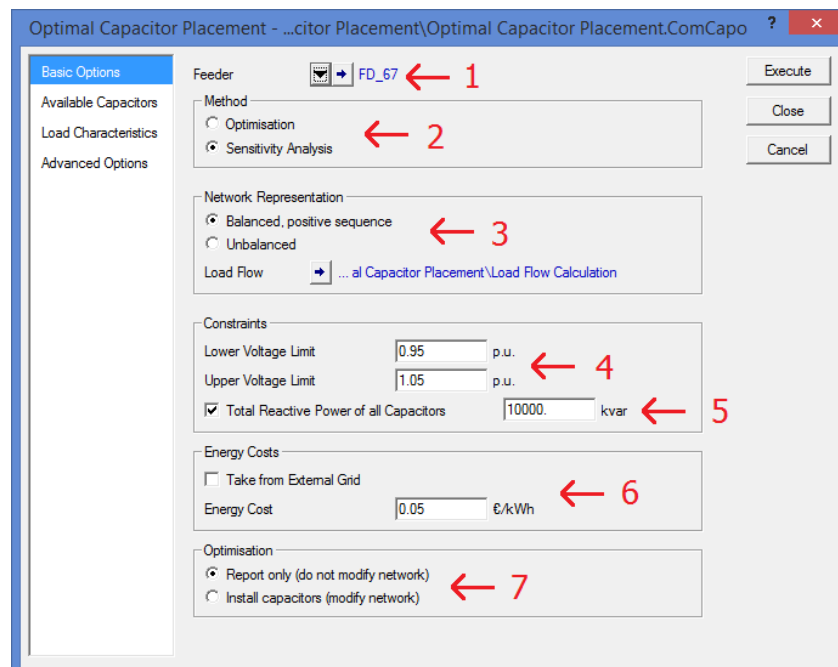


Figura 5: Cuadro de diálogo de la función de colocación óptima de condensadores. Pestaña "Basic Options"

En la Figura 5 se muestra el cuadro de diálogo de la función de colocación óptima de baterías de condensadores en la que se deben introducir los siguientes ajustes:

1. Línea de alimentación principal en la cual se desea colocar las baterías de condensadores.
2. Método a utilizar para la colocación de las baterías de condensadores.
3. Tipo de representación de red para resolver el flujo de cargas.
4. Límites de tensión máximo y mínimo a tener en cuenta durante el cálculo.
5. Máxima capacidad a considerar para instalar.
6. Coste de la energía perdida en la red de distribución. Puede tomarse el valor introducido en los elementos que representan la red externa o especificar un valor nuevo. En este caso se indica un coste de 0.05€/kWh (valor por defecto).
7. Tipo de acción a realizar: únicamente calcular y emitir los resultados en un informe o modificar la red e incluir las baterías de condensadores en los buses encontrados como óptimos.

En la pestaña "Available Capacitors" es posible introducir el tamaño de las baterías de condensadores a instalar como se muestra a continuación.

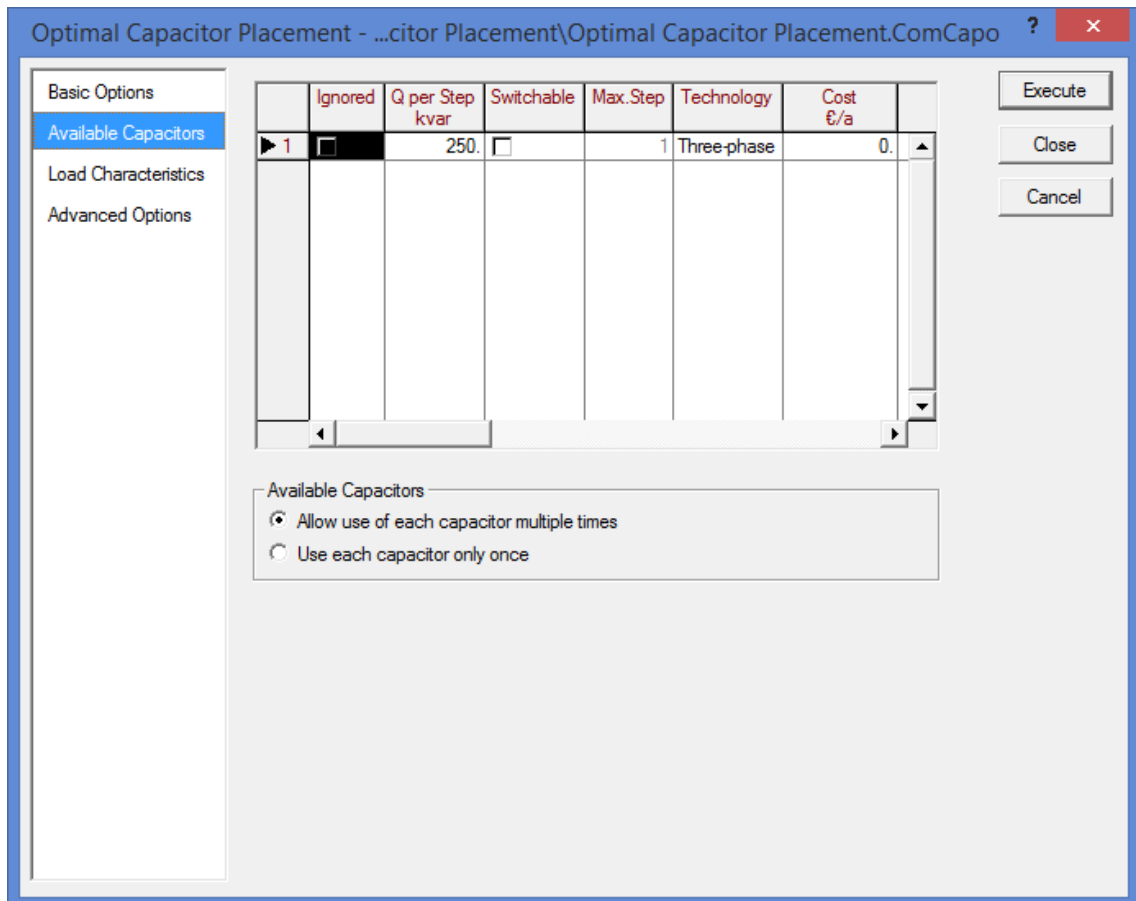
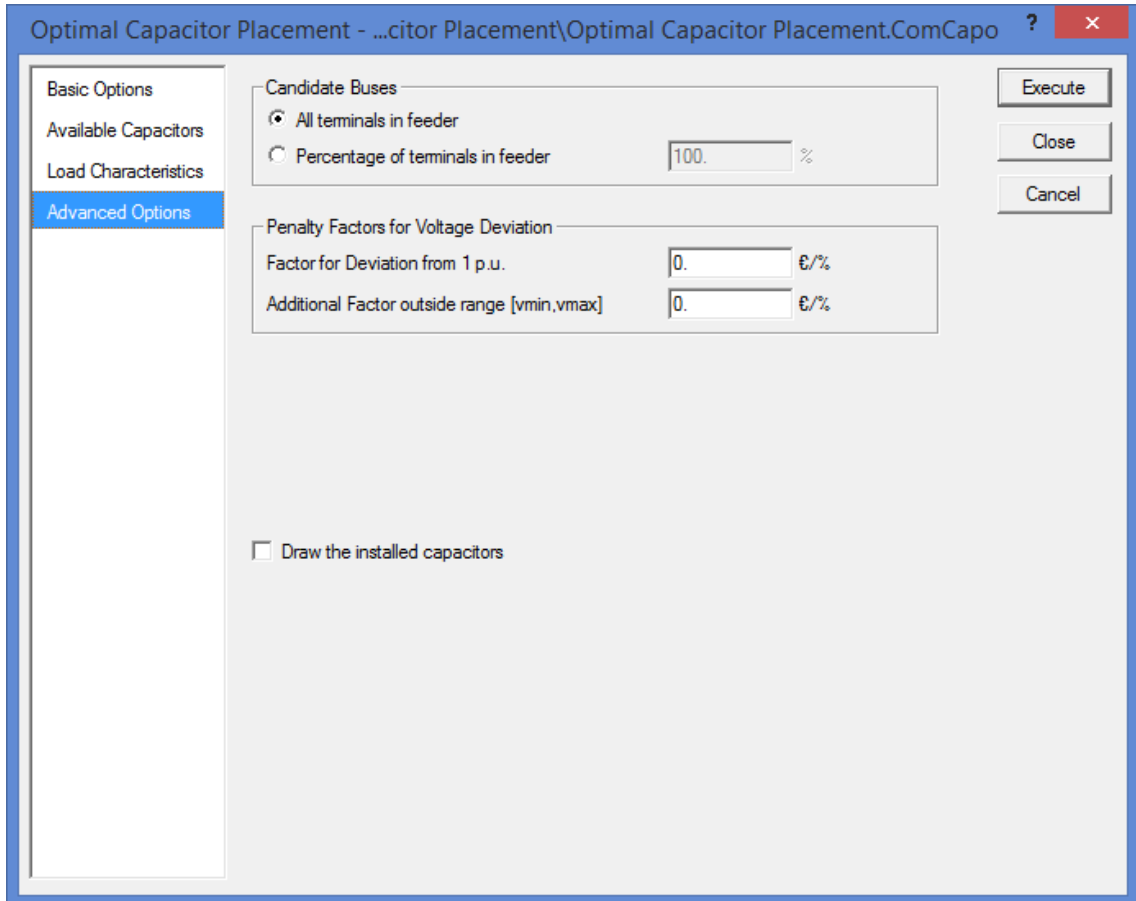


Figura 6: Cuadro de diálogo de la función de colocación óptima de condensadores. Pestaña "Available Capacitors"

En la tabla de la ventana de diálogo de la Figura 6 se pueden definir diferentes tamaños de baterías de condensadores a instalar, mientras que en la parte inferior se debe indicar:

- Si se quieren utilizar los diferentes tamaños definidos tantas veces como sea necesario y posible hasta alcanzar la cifra máxima introducida en el campo 5 de la Figura 5.
- Si se quiere instalar únicamente una batería de condensadores de cada uno de los tamaños especificados.



The screenshot shows a software dialog box titled "Optimal Capacitor Placement - ...citor Placement\Optimal Capacitor Placement.ComCapo". The "Advanced Options" tab is selected in the left sidebar. The main area contains the following settings:

- Candidate Buses:**
 - ☒ All terminals in feeder
 - ☐ Percentage of terminals in feeder (with a text box containing "100. %")
- Penalty Factors for Voltage Deviation:**
 - Factor for Deviation from 1 p.u.: [0.] €/%
 - Additional Factor outside range [vmin,vmax]: [0.] €/%
- ☐ Draw the installed capacitors

Buttons for "Execute", "Close", and "Cancel" are located on the right side of the dialog.

Figura 7: Cuadro de diálogo de la función de colocación óptima de condensadores. Pestaña "Advanced Options"

Por último, en la pestaña de opciones avanzadas es posible seleccionar los buses que se quieren considerar como candidatos a la instalación de las baterías de condensadores (todos o un porcentaje que se especifique). También es posible introducir factores de penalización por desviación de los rangos de tensión.

Los resultados del análisis de sensibilidad realizado se presentan mediante un informe en la ventana de salida del programa.

```

DIgSI/info - Calculating Optimal Capacitor Placement...
DIgSI/info - Time period under consideration: 1 year
DIgSI/info - Initial Losses Cost 1064949.71 € with Energy Cost of 0.050 €/kWh
DIgSI/info - Costs Evaluation <Power Losses + Voltage Violation Penalties> for Candidate Buses:
DIgSI/info - 1: Candidate bus: ➔ND_2705 Cost: 1056944.87 €
DIgSI/info - 2: Candidate bus: ➔ND_2706 Cost: 1057190.79 €
DIgSI/info - 3: Candidate bus: ➔ND_2707 Cost: 1057248.17 €
DIgSI/info - 4: Candidate bus: ➔ND_2877 Cost: 1057294.48 €
DIgSI/info - 5: Candidate bus: ➔ND_2874 Cost: 1057296.06 €
DIgSI/info - 6: Candidate bus: ➔ND_2939 Cost: 1057306.25 €
DIgSI/info - 7: Candidate bus: ➔ND_2940 Cost: 1057318.41 €
DIgSI/info - 8: Candidate bus: ➔ND_3525 Cost: 1057324.47 €
DIgSI/info - 9: Candidate bus: ➔ND_3001 Cost: 1057330.33 €
DIgSI/info - 10: Candidate bus: ➔ND_3000 Cost: 1057341.17 €
DIgSI/info - 11: Candidate bus: ➔ND_3335 Cost: 1057352.11 €
DIgSI/info - 12: Candidate bus: ➔ND_3002 Cost: 1057366.76 €
DIgSI/info - 13: Candidate bus: ➔ND_2937 Cost: 1057367.52 €
DIgSI/info - 14: Candidate bus: ➔ND_3529 Cost: 1057371.62 €
DIgSI/info - 15: Candidate bus: ➔ND_2823 Cost: 1057399.08 €
DIgSI/info - 16: Candidate bus: ➔ND_3311 Cost: 1057422.95 €
DIgSI/info - 17: Candidate bus: ➔ND_2799 Cost: 1057441.44 €
DIgSI/info - 18: Candidate bus: ➔ND_2871 Cost: 1057461.12 €
DIgSI/info - 19: Candidate bus: ➔ND_3298 Cost: 1057500.35 €
DIgSI/info - 20: Candidate bus: ➔ND_2969 Cost: 1057510.54 €
DIgSI/info - 21: Candidate bus: ➔ND_3124 Cost: 1057540.37 €
DIgSI/info - 22: Candidate bus: ➔ND_2917 Cost: 1057547.32 €
DIgSI/info - 23: Candidate bus: ➔ND_3493 Cost: 1057550.20 €
DIgSI/info - 24: Candidate bus: ➔ND_2958 Cost: 1057560.84 €
DIgSI/info - 25: Candidate bus: ➔ND_3201 Cost: 1057609.73 €
DIgSI/info - 26: Candidate bus: ➔ND_2978 Cost: 1057623.27 €
DIgSI/info - 27: Candidate bus: ➔ND_3158 Cost: 1057633.27 €
DIgSI/info - 28: Candidate bus: ➔ND_2977 Cost: 1057643.09 €
DIgSI/info - 29: Candidate bus: ➔ND_3253 Cost: 1057683.38 €
DIgSI/info - 30: Candidate bus: ➔ND_2704 Cost: 1057710.95 €
DIgSI/info - 31: Candidate bus: ➔ND_3315 Cost: 1057790.22 €
DIgSI/info - 32: Candidate bus: ➔ND_3029 Cost: 1057837.62 €
DIgSI/info - 33: Candidate bus: ➔ND_3028 Cost: 1057850.65 €
DIgSI/info - 34: Candidate bus: ➔ND_3086 Cost: 1057900.58 €

```

Figura 8: Resultados del análisis de sensibilidad

Los resultados muestran que el mejor bus para instalar las baterías de condensadores sería el número 2705 de la línea de alimentación principal número 67.

2.2 Optimización

A continuación se realizará la optimización para el caso definido en el apartado anterior. Tan solo será necesario modificar el campo 2 de la Figura 5 para seleccionar "Optimisation". Tras cambiar el método de optimización, en la pestaña de opciones avanzadas aparecerá un nuevo campo en el que se puede introducir el número máximo de iteraciones hasta finalizar el cálculo. Introduciremos un número máximo de 20 iteraciones a modo de ejemplo.

Con los valores ajustados, el algoritmo de colocación óptima iterará tras la colocación de una batería de condensadores para comprobar si se puede conseguir una reducción de costes con una batería adicional. Los resultados se muestran en la figura siguiente.

					DigSILENT	Project:
					PowerFactory	
					15.2.4	Date: 7/2/2015
Network Representation				Balanced, positive sequence		
Time period under consideration				1 year		
				Upper Voltage Limit		1.05 p.u.
				Lower Voltage Limit		0.95 p.u.
Energy Costs				Limit Reactive Power of all Capacitors		Yes
Take from External Grid				No		
Energy Cost				0.05 €/kWh		10000.00 kvar
Costs				Reactive power of installed capacitors		
Before Optimisation				Before Optimisation		0.00 kvar
Power Losses				1064949.71 €		2750.00 kvar
Voltage Violations				0.00 €		2750.00 kvar
Total				1064949.71 €		
After Optimisation						
Power Losses				1054830.91 €		
Voltage Violations				0.00 €		
Costs of new capacitors				0.00 €		
Total				1054830.91 €		
Saved Costs						
Power Losses				10118.81 €		
Voltage Violations				0.00 €		
Total				10118.81 €		
New Capacitors	Busbar	Technology	Station	Costs	Phases	Vector Group Un [kV] Capacitor
Shunt/Filter 11	ND_2705	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 9	ND_2706	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 7	ND_2707	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 8	ND_2874	ABC	TRFSTAT_037	0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 10	ND_2877	ABC	TRFSTAT_038	0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 5	ND_2969	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 2	ND_3028	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 3	ND_3029	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 4	ND_3086	ABC		0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 6	ND_3298	ABC	TRFSTAT_335	0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
Shunt/Filter 1	ND_3315	ABC	TRFSTAT_341	0.00 €/a	abc	D 20.00 250.00 kvar
New Capacitors	Busbar	Technology	Station	Load Level	Act.Step	Max.Step
Shunt/Filter 11	ND_2705	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 9	ND_2706	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 7	ND_2707	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 8	ND_2874	ABC	TRFSTAT_037	Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 10	ND_2877	ABC	TRFSTAT_038	Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 5	ND_2969	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 2	ND_3028	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 3	ND_3029	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 4	ND_3086	ABC		Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 6	ND_3298	ABC	TRFSTAT_335	Load Level 100 %	1	1
Shunt/Filter 1	ND_3315	ABC	TRFSTAT_341	Load Level 100 %	1	1

Figura 9: Informe de resultados del algoritmo de colocación óptima de almacenamiento

En este informe se muestra el periodo de tiempo considerado (1 año), los límites de tensión fijados para los buses (mínimo 0.95 p.u. y máximo 1.05 p.u.), así como los costes anuales de la red antes y después de realizar la optimización. Se observa un ahorro de 10.118,81€ con la instalación de las 11 baterías de condensadores calculadas por el algoritmo.

En la parte inferior se muestran las baterías de condensadores que se deberían instalar para alcanzar el ahorro calculado, los buses en los se instalarían y el nivel de carga al que se ha realizado la optimización (en este caso y para simplificar solo se ha realizado la optimización a plena carga).

3 Conclusiones

Se ha presentado el ejemplo de aplicación que se suministra con el programa DIgSILENT PowerFactory. El ejemplo lleva incluidos los siguientes casos de estudio:

- Optimización de puntos de apertura
- Optimización de perfiles de tensión
- Evaluación de la fiabilidad
- Localización óptima de interruptores inteligentes controlados telemáticamente
- Cálculos técnico-económicos

Además, se ha detallado un nuevo caso de estudio relacionado con la localización óptima de almacenamiento en redes de distribución y las opciones que proporciona DIgSILENT PowerFactory de análisis de sensibilidad y optimización. En el marco de las redes inteligentes, es interesante explotar el potencial de los datos reales medidos por contadores inteligentes para calcular la localización óptima de baterías de condensadores y además, en función de la carga del día, determinar la operación del sistema de almacenamiento con objeto de reducir los costes de explotación y pérdidas de la red.