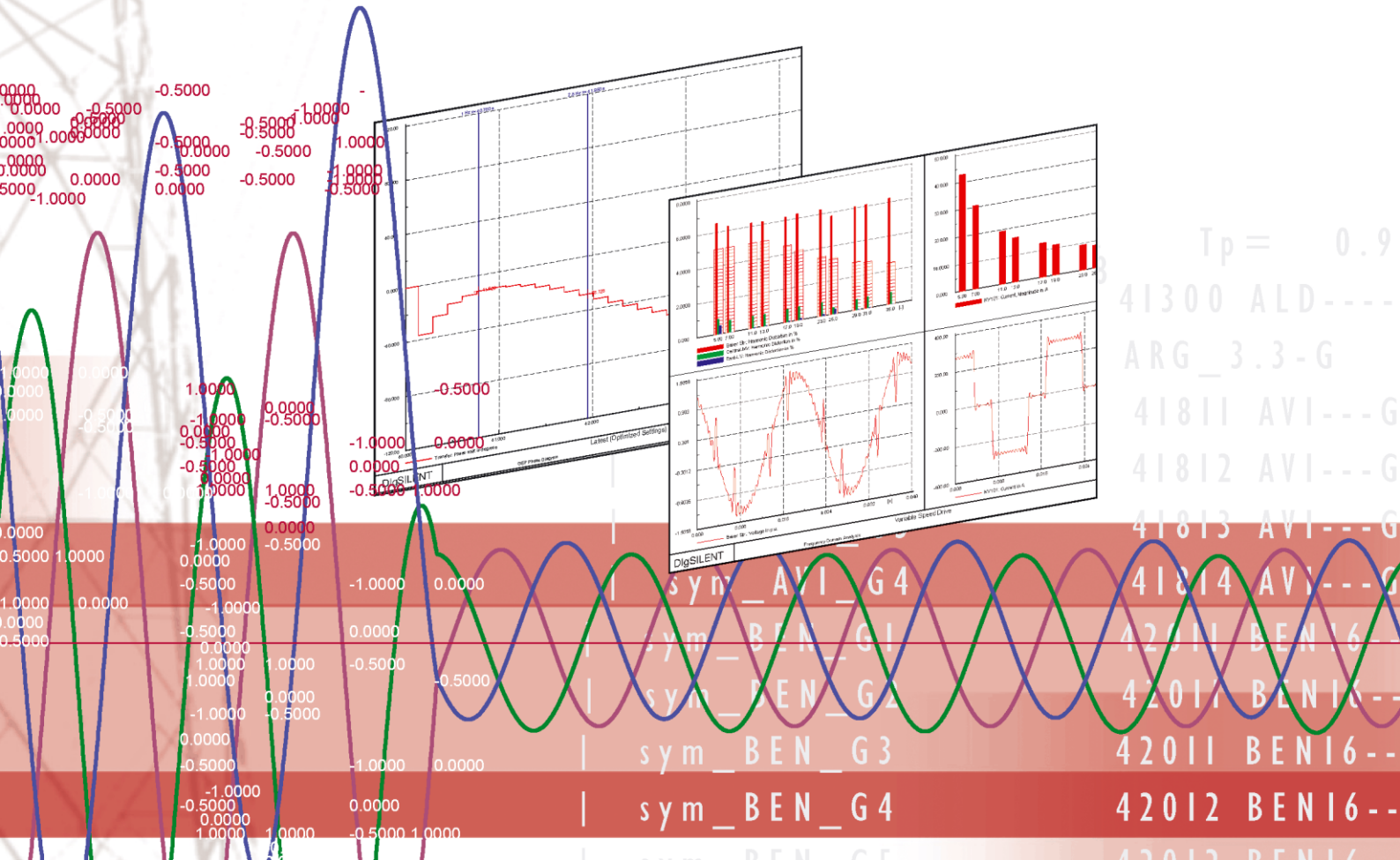
Fecha: 28/09/2021

Versión 3

Implementación de los modelos de simulación propuestos en la Norma Técnica de Supervisión 2016/631 por el Grupo de Trabajo de Supervisión (GTSUP)

Red eléctrica equivalente del Sistema Eléctrico Peninsular y Sistema Europeo Interconectado para simulación



DIgSILENT Ibérica S.L.
Javier Ferrero, 8
28002 – Madrid
Tel.: +34911253379
http://www.digsilentiberica.es
e-mail: info@digsilentiberica.es

Contacto

A. Recas
Tel.: +34911253379
e-mail: a.recas@digsilentiberica.es

REF: INF-NT 2016/631-GTSUP
Versión: v003
Fecha: 28.09.2021
PF Build: 2021 Build 21.0.4.0 (11021)

© 2021 DIgSILENT Ibérica, S.L. Todos los derechos reservados. Este documento ha sido creado por DIgSILENT Ibérica, S.L. y contiene material registrado, marcas y otra información de nuestra propiedad. No está permitida la reproducción total o parcial ni la copia en ningún formato ni por ningún medio gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo el fotocopiado, grabaciones, o información acerca del almacenamiento y sistemas de recuperación sin el permiso previo de DIgSILENT Ibérica, S.L. No está permitido alterar o quitar ninguna marca, registro u otra nota de este documento. Este documento es sólo para uso interno y no debe ser enviado a terceras partes sin el consentimiento de DIgSILENT Ibérica, S.L.

Índice

Versiones **4**

Índice de figuras **5**

Índice de tablas **6**

1 Introducción **7**

2 Histórico **8**

3 Descripción del modelo **10**

3.1 Valores base 11

4 Configuración de la red mediante DPL **12**

4.1 Parámetros de entrada 13

4.2 Objetos externos 13

5 Ejecutar DPL **14**

Versiones

Versión del informe	Fecha	Comentarios
INF-NT 2016/631-GTSUP-v001	06.03.2019	Implementación de los modelos según la "Norma técnica de supervisión de la conformidad de los módulos de generación de electricidad según el Reglamento UE 2016/631". Borrador. Documento de Trabajo. Versión 6. Febrero de 2019
INF-NT 2016/631-GTSUP-v002	05.04.2021	Revisión de los modelos según la "Norma técnica de supervisión de la conformidad de los módulos de generación de electricidad según el Reglamento UE 2016/631". Versión 2.0 del 3/11/2020 tras Aprobación de la Orden TED/749/2020 y del Real Decreto 647/2020.
INF-NT 2016/631-GTSUP-v003	28.09.2021	Revisión de los modelos según la "Norma técnica de supervisión de la conformidad de los módulos de generación de electricidad según el Reglamento UE 2016/631". Versión 2.1 del 09/07/2021 tras incorporación de correcciones y otras modificaciones.

Índice de figuras

Figura 1: Modelo de red eléctrica equivalente (esquema unifilar). 10
Figura 2: Modelo en DIgSILENT PowerFactory 10
Figura 3: DPL para configurar la Red Eléctrica Equivalente de REE 12
Figura 4: Interfaz del programa DPL para configurar la red equivalente 12
Figura 5: Tabla para determinar la tensión en terminales de GEN_EQ 14
Figura 6: Tabla para determinar el valor de R/X de la línea en función de las tensiones 15
Figura 7: Tabla para registrar el valor de Rf y Xf calculado para cada caso de estudio (MGES de ejemplo conectado a tensión superior a 110kV) 17
Figura 8: Casos de estudio creados automáticamente en DIgSILENT PowerFactory 17

Índice de tablas

Tabla 1: Casos de estudio en la carpeta "Cases folder" para MGES de ejemplo conectado a tensión superior a 110kV .. 16

1 Introducción

El objetivo de este informe es presentar la actualización de la implementación en DIgSILENT PowerFactory de los modelos de simulación propuestos en la Norma Técnica de Supervisión (NTS) por el Grupo de Trabajo de Supervisión (GTSUP) para la realización de simulaciones de conformidad de huecos de tensión.

El documento de referencia que se ha empleado es el siguiente:

> *[1] "Norma técnica de supervisión de la conformidad de los módulos de generación de electricidad según el Reglamento UE 2016/631"* ***Versión 2.1. Fecha 09/07/2021.***

Este documento de referencia propone varios modelos para verificación de las unidades de generación:

- Sistema de prueba para amortiguamiento de oscilaciones de potencia en Módulos de Generación de Electricidad Síncronos (MGES, sección 5.9).
- Sistema de prueba para amortiguamiento de oscilaciones de potencia en Módulos de Parque Eléctrico (MPE, sección 5.10).
- Red eléctrica equivalente del Sistema Eléctrico Peninsular y Sistema Europeo Interconectado para simulación (Sección 7.2)

Este documento describe los detalles de la implementación del modelo descrito en el capítulo 7.2. La revisión de la implementación de los modelos se ha realizado con la herramienta de simulación DIgSILENT PowerFactory versión 2021 (Build 21.0.4.0).

Para facilitar al usuario el empleo de los modelos se ha programado una herramienta en lenguaje de programación DIgSILENT (DPL) que permite configurar la red externa de acuerdo con las diferentes opciones propuestas en la NTS:

- Tensión nominal en el Punto de Conexión con la Red (PCR).
- Potencia nominal del MGE a evaluar.
- Relación de potencia de cortocircuito en el punto de conexión con la red respecto a la potencia nominal del MGE a evaluar (SCR).

2 Histórico

A continuación, se describe el histórico de modificaciones del proyecto para cumplir con la versión 2.1 de la NTS.

- DPL v0 y v1:
    - Publicación proyecto versión 1 respecto según borrador preliminar y NTS 2.0.
- DPL v2:
    - Actualización de la DPL para fijar la tensión nominal del transformador por el método de convergencias sucesivas propuesto por REE. Cuando el TRF_EQ se encuentra desconectado (tensiones <10kV) entonces es el Station Controller el que controla la tensión en PCR.
    - Actualización de la DPL para crear automáticamente todos los casos de estudio.
    - Actualización para la creación de los eventos automáticamente. Cálculo automático de impedancia de falta en función de la potencia de cortocircuito y la tensión.
    - Propuesta de actualización de modelo que incluya control de potencia. El usuario define los valores iniciales del flujo de cargas y ejecuta de nuevo la DPL.
- DPL v2.2:
    - Mejora del control de tensión en PCR:
        - Cuando hay transformador equivalente, el control se realiza con tomas de transformador continuas.
        - Cuando no hay transformador equivalente, el control se realiza con el generador equivalente directamente.
    - Añadidas variables (Pini, Qini) de configuración de la DPL para que el usuario pueda fijar el valor inicial del flujo de cargas. Ensayo con modelo de parque para poder probar varios casos en carga.
    - Definición de matrices para varios casos de huecos, en función del tipo de MGE y de la tensión en el punto de conexión (MPE, MGES, tensiones >110kV y <110kV).
- DPL v2.3:
    - Añadido parque eólico 30MW para poder probar varios casos en carga.
    - Añadidos los parámetros siguientes con valores por defecto y descripción:
        - TstepRMS 0.005 s Paso de integración simulación RMS.
        - TstepEMT 0.0001 s Paso de integración simulación EMT.
        - Pini 0 MW Potencia activa inicial load flow MGE a evaluar.
        - Qini 0 Mvar Potencia reactiva inicial load flow MGE a evaluar.
    - Control de ángulo en PCR igual a 0º en el comando load flow para ajustar la falta en cortocircuitos bifásicos cuando las tensiones de dos de las fases son iguales.
- DPL v2.4:

  - Objeto ALL CALCULATIONS referenciado en la tabla de cada plot (si no se ejecuta la sim, el objeto es el de resultados del caso base).
  - Resuelto cambio de formato decimal al crear nombre de caso de estudio --> floor
  - Posibilidad de definir el tiempo final de simulación.
  - Posibilidad de ejecutar automáticamente la simulación RMS.
  - Posibilidad de ejecutar automáticamente la simulación EMT desconectando MPE (modelo sólo RMS).
  - Posibilidad de no ejecutar las simulaciones.
  - Autoescala eje X en todos los gráficos.
  - Autoescala eje Y en todos los gráficos.
- DPL v2.5:
  - Eliminado MPE para ensayo. Reemplazado por MGES en PCR.
  - Escribir en el tipo del generador MGES bajo ensayo el valor de potencia base mBasePCR mayorado en 10% para compensar las pérdidas del transformador y poder obtener mBasePCR en el PCR.
  - Cambio de curva PQ del generador MGE a per unit.
- DPL v2.6:
  - Escribir Pini y Qini en el elemento generador MGE.
  - Escribir P_max y Pmax_uc en el elemento generador MGE →mayoradas 10%
  - Escribir en el tipo de transformador MGE el valor de potencia nominal mBasePCR mayorada en 10% para evitar sobrecargas.
  - Escribir en el tipo de generador el factor de potencia nominal calculado a partir de P=1pu y Q=0.3pu.
- DPL v2.7:
  - Mejora para evitar avisos de primera iteración en ausencia de datos.
- DPL v3:
  - Release definitiva correspondiente a v2.1 de la NTS.

3 Descripción del modelo

La figura siguiente muestra el esquema unifilar del modelo de red eléctrica equivalente para la realización de las simulaciones de conformidad. Los ajustes para resolver flujo de cargas se detallan en verde.

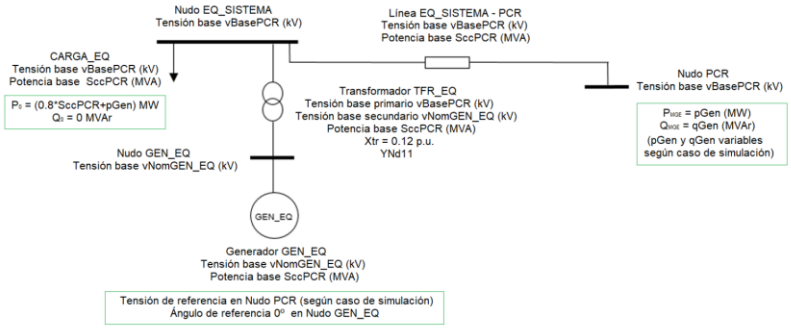


Figura 1: Modelo de red eléctrica equivalente (esquema unifilar).

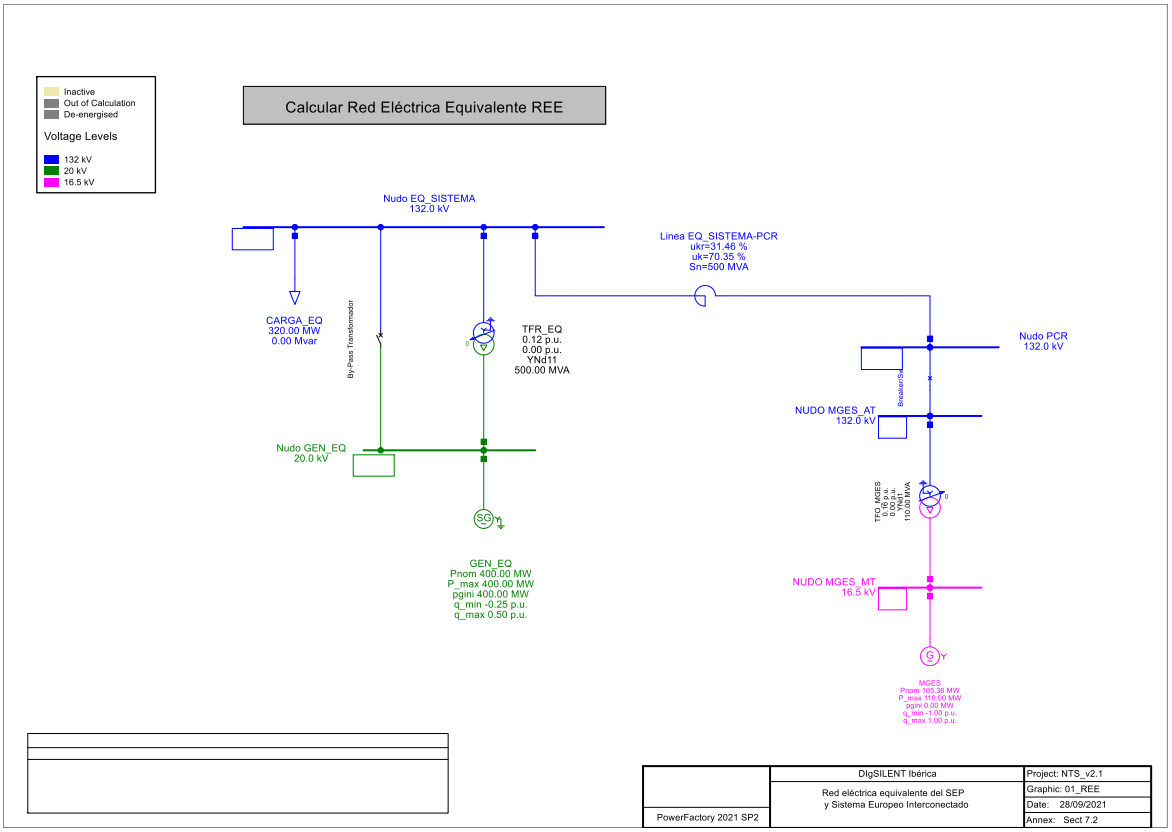


Figura 2: Modelo en DIgSILENT PowerFactory

La Figura 2 representa el esquema unifilar del modelo de red eléctrica equivalente en DIgSILENT PowerFactory 2021.

3.1 Valores base

Para este ejemplo se han utilizado los siguientes valores:

- Tensiones nominales:
  - Nudo PCR: 132kV.
  - Nudo EQ_SISTEMA: 132kV.
  - Nudo GEN_EQ: 20kV.
- SCR: 5
- MGE a evaluar:
  - Potencia base: 100MVA
  - Tensión base: 132kV
- Generador equivalente GEN_EQ:
  - Potencia base: 500MVA
  - Tensión base: 20kV
- Carga:
  - Potencia base: 400MVA + 0 MVA (MPE desconectado)
  - Tensión base: 132kV
- Transformador TFR_EQ:
  - Potencia base: 500MVA
  - Tensión base arrollamiento alta tensión: 132kV
  - Tensión base arrollamiento baja tensión: 20kV
  - Ucc 12%
  - Acoplamiento YNd11
- Línea EQ_SISTEMA-PCR:
  - Potencia base: 500MVA
  - Tensión base: 132kV
  - Parámetros de línea calculados en función de la tensión y potencia base.
- By-pass Transformador:
  - Cerrado para tensiones en el PCR < 10kV
  - Abierto para el resto de las tensiones nominales.

4 Configuración de la red mediante DPL

Para configurar automáticamente la red equivalente, se ha programado una DPL accesible desde un botón situado en la parte superior del diagrama unifilar, tal y como se representa en la figura siguiente. Mediante clic en este botón, podemos definir los parámetros mínimos necesarios para configurar la red, como se muestra en la Figura 4.

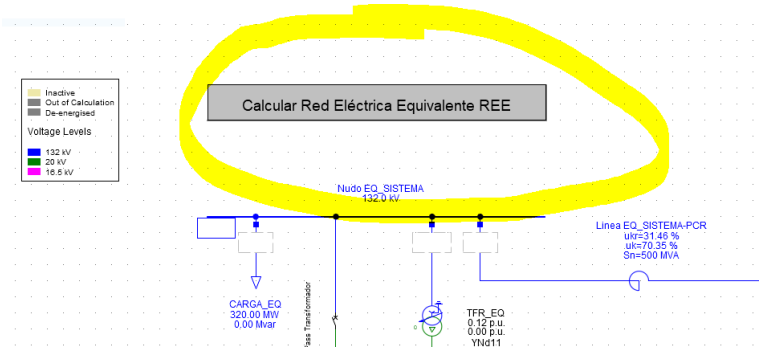


Figura 3: DPL para configurar la Red Eléctrica Equivalente de REE

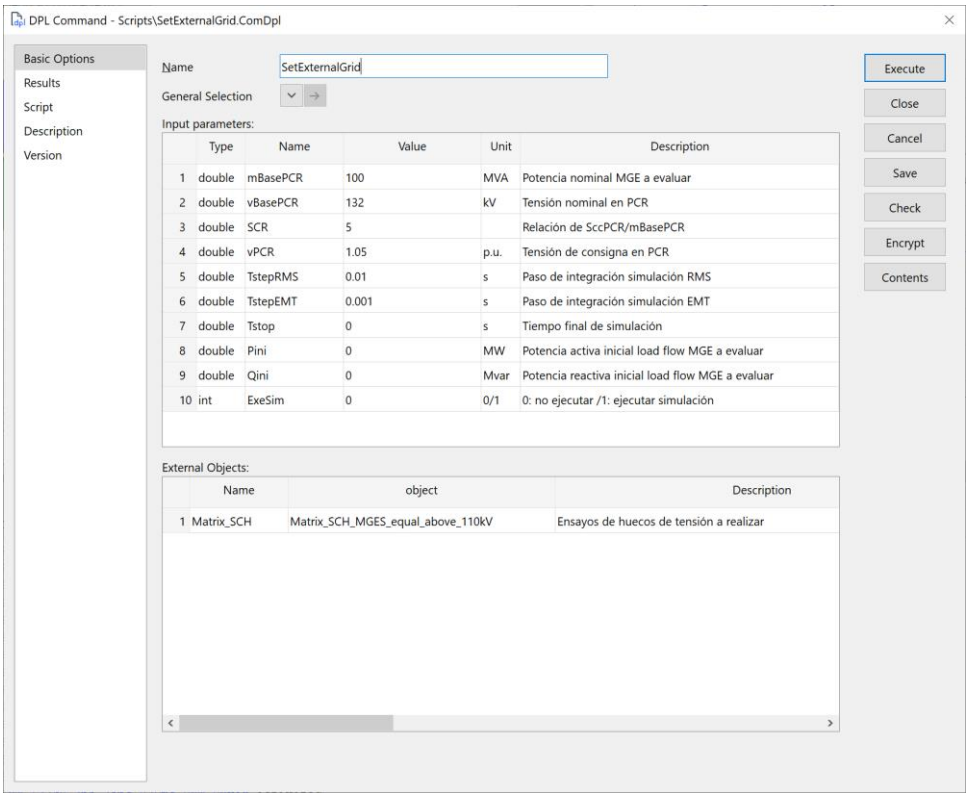


Figura 4: Interfaz del programa DPL para configurar la red equivalente

4.1 Parámetros de entrada

Los parámetros de entrada para ejecutar la DPL son:

- mBasePCR: La potencia nominal del MGE a evaluar [MVA].
- vBasePCR: La tensión nominal en el PCR [kV].
- SCR: La relación de cortocircuito respecto a la potencia nominal del MGE.
- vPCR: La tensión objetivo en el nudo PCR para resolver flujo de cargas e inicialización dinámica [p.u.].
- TstepRMS: Paso de integración para simulación RMS [s].
- TstepEMT: Paso de integración para simulación EMT [s].
- Tstop: Tiempo final de simulación en [s].
- Pini: Potencia activa inicial load flow MGE a evaluar [MW].
- Qini: Potencia reactiva inicial load flow MGE a evaluar [Mvar].
- ExeSim: Ejecutar simulación [1] / No ejecutar simulación [0].

4.2 Objetos externos

- Matrix_SCH: seleccionar objeto tabla con los ensayos de huecos de tensión a realizar según tecnologíaMGES/MPE y según tensión. Las siguientes tablas están disponibles:
    - Matrix_SCH_MPE_equal_above_110kV
    - Matrix_SCH_MPE_below_110kV
    - Matrix_SCH_MGES_equal_above_110kV
    - Matrix_SCH_MGES_below_110kV

5 Ejecutar DPL

Seleccionar el caso de estudio "Base case" y activarlo. Hacer clic en el botón "Calcular Red Eléctrica Equivalente REE" y configurar los parámetros y objetos externos adaptados al caso que se desea simular. En este ejemplo se ha considerado un MGES de 100MW conectado a tensión superior a 110kV (132kV). Al ejecutar la DPL, se realizarán las siguientes acciones:

- Escribir la tensión nominal del Nudo PCR.
- Escribir la tensión nominal del Nudo EQ_SISTEMA.
- Calcular la potencia base GEN_EQ, como SCR*mBasePCR y escribir el dato en GEN_EQ.
- Escribir la tensión base para la línea, igual a la tensión base PCR.
- Escribir la potencia base para la línea, igual a la potencia base de GEN_EQ.
- Obtener la tensión nominal adecuada en terminales de GEN_EQ a partir de la tensión en el PCR y escribir el valor en el nudo GEN_EQ. Para ello se ha definido una tabla que emplea la DPL y que el usuario puede modificar en caso de variaciones en el borrador de la NTS. La tabla se encuentra almacenada y accesible en la carpeta del comando DPL:

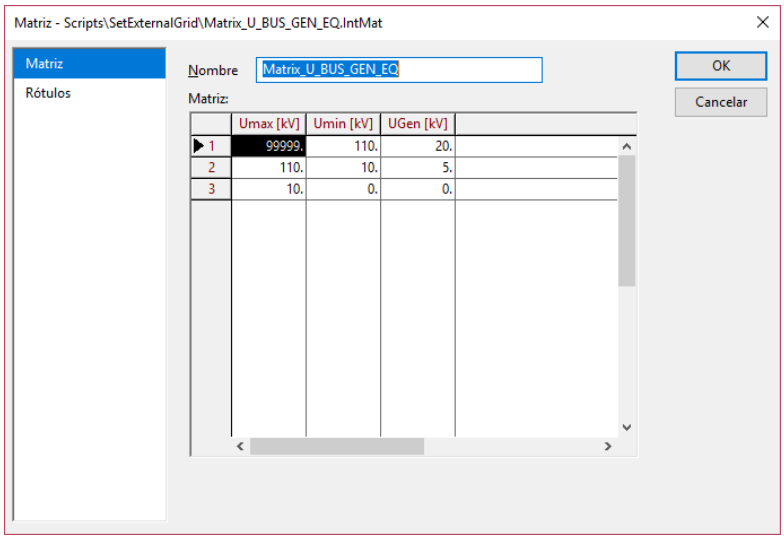


Figura 5: Tabla para determinar la tensión en terminales de GEN_EQ

- Verificación automática de la necesidad de transformador en la red:
    - Si la tensión en terminales de GEN_EQ es cero, se cierra el By-pass y se anula el elemento transformador. Se activa el control de subestación para que sea el GEN_EQ el que fije la tensión vPCR en el PCR.

- Si la tensión en terminales de GEN_EQ es 5kV o 20kV, se configura el By-pass como abierto y se desactiva el control de subestación.

- Escribir la tensión nominal del arrollamiento de alta tensión, igual a la tensión nominal del PCR.
- Escribir la tensión nominal del arrollamiento de baja tensión, igual a la tensión nominal de GEN_EQ.
- Escribir la potencia nominal del transformador, igual a la potencia base de GEN_EQ.
- Escribir datos del GEN_EQ:
  - Potencia activa para flujo de cargas igual a 0.8 * potencia base del GEN_EQ.
  - Potencia activa mínima al 20%.
  - Potencia activa máxima al 80%.
  - Potencia aparente nominal en TGOV igual a potencia base de GEN_EQ.
- Consultar el valor de R/X de la línea en la tabla de tensiones que se encuentra almacenada y accesible desde la carpeta de la DPL.

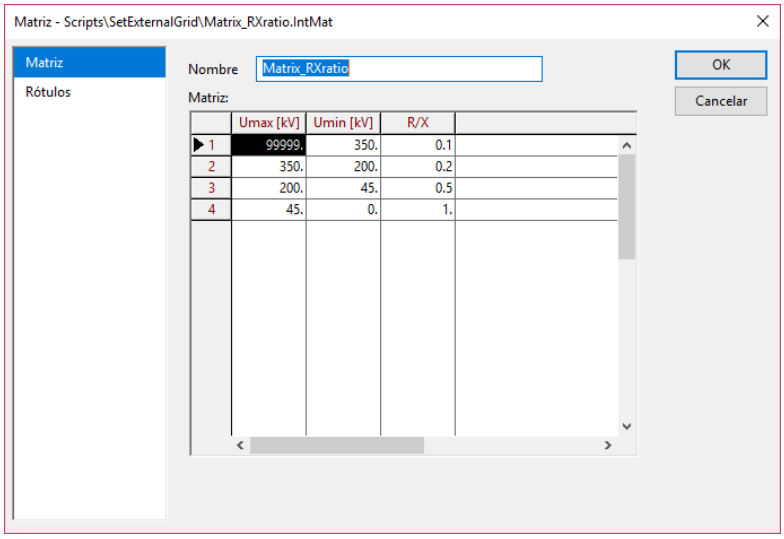


Figura 6: Tabla para determinar el valor de R/X de la línea en función de las tensiones

- Cálculo de R y X de la línea mediante las ecuaciones definidas en la NTS. Escribir el valor de R y X en el elemento línea.
- Definir la tensión objetivo en el control de estación asociado al GEN_EQ como vPCR.
- Ejecutar flujo de cargas y medir la potencia entregada por el MGE en el PCR.

- Si la potencia medida es diferente de cero, sumar a la carga el valor de 0.8 * potencia base del GEN_EQ + potencia del flujo de cargas. Se ha eliminado la dependencia de la tensión en el flujo de cargas para garantizar que la inicialización del sistema es correcta.
- Repetir el cálculo de flujo de cargas como solución final.
- La DPL versión 3 se ha mejorado con la creación de los casos de estudio automáticamente para analizar el comportamiento de un MGES como ejemplo frente a los requisitos de robustez. En cada caso de estudio se crean automáticamente los eventos de inicio y final de cortocircuito adaptados a la tensión nominal de la red, a la tensión residual del cortocircuito y a los valores de potencia activa y reactiva iniciales del MGES definidos por el usuario. El script calcula automáticamente los valores de impedancia de falta.

Tabla 1: Casos de estudio en la carpeta "Cases folder" para MGES de ejemplo conectado a tensión superior a 110kV

Nº de caso de estudio	**RMS/EMT**	**Tensión PCR [kV]**	**Tipo de cortocircuito**	**Tensión residual [%]**	**Duración en ms**	**P_{MGES} [MW]**	**Q_{MGES} [Mvar]**
01	RMS	132kV	3PH	0%	150ms	0	0
02	RMS	132kV	3PH	25%	270ms	0	0
03	RMS	132kV	3PH	75%	830ms	0	0
04	RMS	132kV	2PH	50%+0%	150ms	0	0
05	RMS	132kV	2PH	50%+12.5%	270ms	0	0
06	RMS	132kV	2PH	50%+37.5%	830ms	0	0
07	EMT	132kV	3PH	0%	150ms	0	0
08	EMT	132kV	3PH	25%	270ms	0	0
09	EMT	132kV	3PH	75%	830ms	0	0
10	EMT	132kV	2PH	50%+0%	150ms	0	0
11	EMT	132kV	2PH	50%+12.5%	270ms	0	0
12	EMT	132kV	2PH	50%+37.5%	830ms	0	0

- Los resultados de impedancia de falta se registran en la tabla de SCH que se encuentra almacenada y accesible desde la carpeta de la DPL.

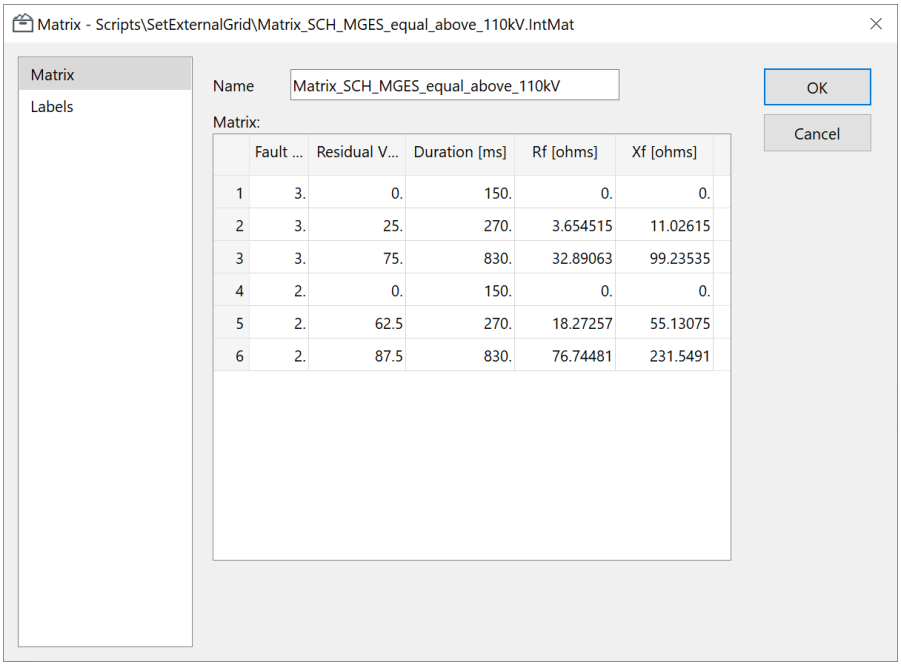


Figura 7: Tabla para registrar el valor de Rf y Xf calculado para cada caso de estudio (MGES de ejemplo conectado a tensión superior a 110kV)

La figura siguiente muestra los casos de estudio creados en DIgSILENT PowerFactory según la Tabla 1.

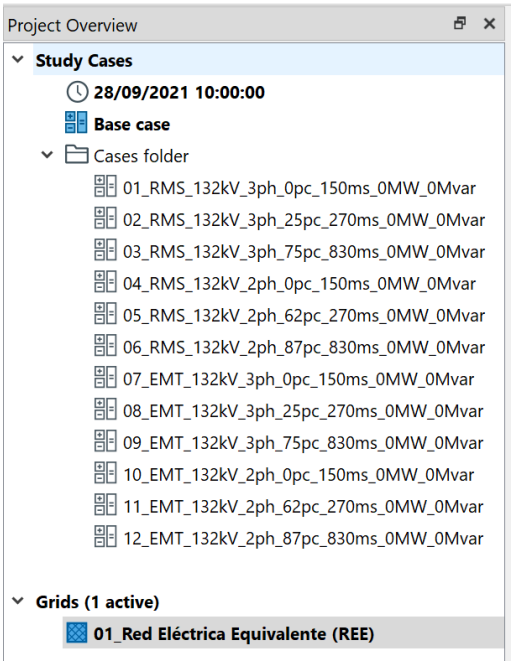


Figura 8: Casos de estudio creados automáticamente en DIgSILENT PowerFactory