



# SINT Srl

## ONE STEP AHEAD



### SIMULACIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA SISTEMAS DE POTENCIA, PUESTA A TIERRA Y PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

XGSLab (o abreviadamente XGS) es uno de los programas más poderosos de simulación electromagnética para sistemas de potencia, puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas y ha sido elegido por muchas universidades y entre las más grandes firmas de ingeniería eléctrica en todo el mundo.

XGS incluye los módulos:

- GSA (Grounding System Analysis) para aplicaciones básicas con sistemas enterrados.
- GSA\_FD (Grounding System Analysis in the Frequency Domain) para aplicaciones generales con sistemas enterrados.
- XGSA\_FD (Over and Underground System Analysis in the Frequency Domain) para aplicaciones generales sobre la superficie y enterrados.
- XGSA\_TD (Over and Underground System Analysis in the Time Domain) para aplicaciones generales sobre la superficie y enterrados.
- NETS (Network Solver) solucionador de redes enmalladas para multi-conductores y multi-fases.
- SHIELD (Lightning Shielding) para diseño de protección contra rayos basado en modelamiento numérico.
- SHIELD\_A (Lightning Shielding Advanced) para diseño de protección contra rayos basado en modelamiento analítico.

Los módulos GSA, GSA\_FD, XGSA\_FD y XGSA\_TD están basados en la teoría de campo electromagnético e incluye las siguientes herramientas auxiliares:

- SRA (Soil Resistivity Analysis) para generar el modelo de suelo a partir de las medidas de resistividad de suelo.
- SA (Seasonal Analysis) para variaciones en el modelo del suelo debido al cambio de estaciones.
- FA (Fourier Analysis direct / inverse) para cambiar desde el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo y viceversa (solo para XGSA\_TD).

El campo de aplicación de los módulos GSA, GSA\_FD, XGSA\_FD and XGSA\_TD es amplio ya que están basados en el método PEEC (Partial Element Equivalent Circuit), un método numérico para aplicaciones generales, poderoso, flexible y apropiado para estudios de ingeniería. Este método permite el análisis de escenarios complejos incluyendo parámetros externos tales como voltajes, corrientes e impedancias. El método implementado PEEC resuelve las ecuaciones de Maxwell en condiciones de onda completa tomando en cuenta las funciones de Green para propagación, las integrales de Sommerfeld para la reacción de tierra, las ecuaciones de Jefimenko para campos eléctricos y magnéticos y el paso desde el dominio de la frecuencia al dominio del tiempo por medio de las transformadas de Fourier.

Estos cuatro módulos pueden importar datos de archivos ".dxf", y además exportar datos y resultados de archivos ".dxf" con completa interacción con herramientas CAD. Además, los resultados pueden exportarse como archivos "kml o kmz" para luego desplegarse en Google Earth®.

El módulo NETS está basado en el método de las componentes de fase y teoría de grafos e integra rutinas específicas para el cálculo de parámetros de línea, cables y transformadores.

Los módulos SHIELD y SHIELD\_A están basados en un modelo 3D geométrico completo y gráfico el cual considera los métodos difusos más empleados en el diseño de protección contra descargas atmosféricas.

Las opciones de cálculo disponibles dependen del módulo y perfil de la licencia. Para detalles sobre perfiles XGS es recomendable referirse al documento "PRICE LIST".

Todos los módulos están integrados en un paquete "todo en uno" y proporcionan una profesional salida numérica y gráfica útil para investigar cualquier evento electromagnético.

Todos los algoritmos implementados en XGS son altamente eficientes en términos de velocidad de computación y han sido validados y probados por numerosos clientes a lo largo del mundo.

XGS es fácil de usar por ingenieros que no necesariamente necesitan ser expertos en el campo en específico, y además es preciso, estable y rápido.

Se ha hecho todo lo posible con el fin de mejorar el uso amigable e incrementar la productividad de esta poderosa herramienta.



### GROUNDING SYSTEM ANALYSIS

GSA es un módulo ampliamente usado y reconocido para cálculos y diseño de mallas de puesta a tierra incluyendo el análisis de resistividad de suelos.

GSA toma en cuenta el estándar Internacional (IEC/TS 60479-1:2018), Europeo (EN 50522:2010) y Americano (IEEE Std 80-2013).

GSA está basado en un modelo numérico estático PEEC y en la condición equipotencial de los electrodos, puede analizar las características de baja frecuencia de sistemas aterrizados compuestos por distintos electrodos de cualquier forma, pero con tamaño limitado a un modelo de suelo uniforme o multicapa.



### GROUNDING SYSTEM ANALYSIS in the FREQUENCY DOMAIN

GSA\_FD es un módulo para cálculo y diseño de mallas de puesta a tierra en el dominio de la frecuencia incluyendo el análisis de resistividad del suelo y representa el estado del arte de los softwares de puesta a tierra.

GSA\_FD está basado en un modelo numérico PEEC de onda completa y puede ser aplicado en condiciones generales con sistemas compuestos por distintos electrodos de cualquier forma, tamaño y tipo de conductor (sólido, hueco o trenzado y recubierto o desnudo) a un modelo de suelo uniforme, de multicapa o multizonas en un amplio rango de frecuencias desde DC hasta alrededor de 100 MHz. GSA\_FD también puede considerar conductores apantallados de un único núcleo o de múltiples núcleos. También es importante considerar que GSA\_FD es capaz de tomar en cuenta la dependencia a la frecuencia de los parámetros del suelo con respecto a muchos modelamientos y en particular el modelo con un consenso general que se indica en CIGRE TB 781 2019.

GSA\_FD permite el análisis de electrodos largos cuyas dimensiones son mayores que las longitudes de onda del campo electromagnético como se especifica de mejor manera a continuación. GSA\_FD supera los límites relacionados con la condición equipotencial de los electrodos en el cual está basado GSA. Con la hipótesis de condición equipotencial, el voltaje de contacto máximo es ampliamente subestimado y puede resultar en sistemas de puesta a tierra sobredimensionados con un costo adicional de hasta 50%.

El modelo implementado considera tanto impedancia propia como mutua. La experiencia indica que usualmente, la impedancia mutua no se puede descuidar incluso ante la frecuencia de operación del sistema (50/60 Hz). Unos pocos competidores toman en cuenta la impedancia propia y aún menos consideran los efectos de la impedancia mutua, esto puede conducir a errores relevantes en los cálculos. Descuidar los efectos de la inductancia propia normalmente es inaceptable, pero descuidar la impedancia mutua puede llevar a errores por sobre el 20% en los cálculos incluso a la frecuencia del sistema. Es importante considerar la precisión del cálculo usualmente conlleva a evitar pérdidas monetarias, y de hecho, GSA\_FD permite un ahorro significativo en el costo de la construcción y materiales de un sistema de puesta a tierra.

GSA\_FD puede además calcular campos magnéticos debido sistemas de puesta a tierra o cables, e interferencias electromagnéticas (corriente inducida y potencial debido a acoples resistivos, capacitivos o inductivos) entre los sistemas de puesta a tierra o cables y ductos/tuberías o electrodos enterrados en general.

En condiciones de DC, GSA\_FD es una buena herramienta para protección catódica.



### OVER AND UNDERGROUND SYSTEM ANALYSIS in the FREQUENCY DOMAIN



# SINT Srl

## ONE STEP AHEAD

XGSA\_FD extiende la aplicación de campo GSA\_FD a sistemas en sobre la superficie.

Además, XGSA\_FD está basado en un modelo numérico de onda completa PEEC y puede ser aplicado en condiciones generales con los mismos conductores y en el mismo rango de frecuencia que de GSA\_FD.

A través del uso de conductores apantallados XGSA\_FD puede simular sistemas aislados en gas como GIS o GIL.

XGSA\_FD puede además trabajar con catenarias y conductores agrupados, así tomar en cuenta las fuentes en donde el potencial o corriente de fuga y corriente longitudinal son forzadas e independientes de otras condiciones. Por estas razones XGSA\_FD es probablemente una de las herramientas más poderosas y de multipropósito existente en el mercado para este tipo de cálculos.

Además de GSA\_FD, XGSA\_FD pueden calcular los campos electromagnéticos y las interferencias entre sistemas sobre y bajo tierra (por ejemplo, entre líneas de potencia aéreas y subterráneas y en instalaciones de tuberías, vías ferroviarias o líneas de comunicación).

XGSA\_FD integra una poderosa herramienta para la evaluación del efecto corona (perdidas de potencia e interferencias de radiofrecuencia).



### OVER AND UNDERGROUND SYSTEM ANALYSIS in the TIME DOMAIN

XGSA\_TD es un poderoso módulo el cual extiende la aplicación de campo del XGSA\_FD al dominio del tiempo.

Con respecto a esto, XGSA\_TD usa el llamado "enfoque del dominio de la frecuencia". Este enfoque es riguroso y permite considerar la dependencia ante la frecuencia de los parámetros del suelo.

Se sabe que, una transiente puede ser considerada como la superposición de muchas formas de onda de una sola frecuencia calculadas con la transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transforms - FFT).

Usando el modelo PEEC de dominio en la frecuencia implementado en XGSA\_FD es posible calcular una respuesta para cada una de estas formas de onda de única frecuencia.

El resultado en el dominio del tiempo puede ser obtenido por aplicación de la transformada rápida de Fourier a todas aquellas respuestas calculadas en el dominio de la frecuencia.

La secuencia de cálculo implementada en XGSA\_TD es también llamada FFT – PEEC – IFFT.

XGSA\_TD ha sido probada para la simulación de transientes con un espectro de frecuencia máximo de más de 100 MHz y puede ser usado para transitorios de maniobra, relámpagos y transientes de falla en GIS.

XGSA\_TD puede considerar transientes con ecuaciones conocidas como Doble Exponencial, Pulso o Heidler (transientes usadas en estudios EMC).

XGSA\_TD puede también considerar transientes con ecuaciones arbitrarias o registradas y luego conocidas como un número de muestras (transientes usadas en descargas atmosféricas y en estudios de alta tensión).

XGSA\_TD incluye una opción para exportar impedancias propias y mutuas dependientes de la frecuencia a EMTP® o ATP® con el objetivo de simular con un riguroso modelo el comportamiento dinámico de extensos sistemas de puesta a tierra durante los transientes electromagnéticos.



### NETWORK SOLVER

NETS es una herramienta muy flexible, capaz de resolver redes enmalladas multi-conductor y multi-fase tomando en cuenta todos los caminos posibles tanto de los conductores neutros como los conductores de tierra.

NETS está basado en el método de las componentes de fase (y por lo tanto en las leyes de kirchoff) y teoría de grafos para sistemas multi-conductores y multi-fase.

El método de las componentes de fase es general y sobrepasa los límites del método de componentes simétricas clásico.

El método de componentes simétricas está bien establecido desde 1918, pero solo puede ser usado en sistemas simétricos o en sistemas quasi-simétricos con las líneas transmisión tradicionales (aéreas y cables) o transformadores. Es posible que existan condiciones no simétricas, por ejemplo, en casos de líneas de potencia cuando la geometría de fase no es equilateral y no se ha aplicado transposición.

Además, el método de componentes simétricas no puede ser usado para casos con múltiples sistemas de puesta a tierra o en casos que involucren corrientes a tierra.

En cambio el método de componentes de fase puede ser usado para representar sistemas de potencia como redes de multi-conductores que permitan considerar sistemas no simétricos y además en presencia de múltiples circuitos de puesta a tierra.

Los componentes de la red (generadores, líneas, cables de un núcleo o multi-núcleos, transformadores, cargas, interruptores, fallas...) son representados usando celdas multi-puertos y la conexión entre celdas es obtenida por medio de buses multi-puertos.

NETS considera además una celda especial híbrida donde cables, líneas y conductores (tuberías, rieles, contrapesos...) pueden ser combinados en una única celda multi-puerto. Esta celda especial puede ser útil para la evaluación de interferencias electromagnéticas en caso de líneas de potencia o corredores ferroviarios y el cálculo de distribución de corrientes en vías férreas.

Los sistemas de puestas a tierra (subestaciones, puestas a tierra de torres ...) se pueden especificar de manera arbitraria.

NETS calcula parámetros de líneas, cables y transformadores a partir de información que normalmente se encuentra en la hoja de datos del fabricante.

NETS incluye un convertidor desde las competentes simétricas para obtener el dominio de fase. Esta herramienta puede convertir matrices de impedancia de secuencia en matrices de impedancia de fase.

Al igual que los demás módulos XGS, NETS también ha sido pensado para su uso del modo más general posible.

NETS puede ser usado para resolver redes de transmisión y distribución en estado estacionario o en condiciones de falla y para calcular potenciales y corrientes o cualquier otro tipo de corrientes de corto circuito con o sin impedancia de falla.

En particular, NETS puede ser usado para el cálculo de la distribución de corrientes de falla en redes de potencia entre circuitos de potencia y tierra. Un conocimiento preciso de la distribución de la corriente de falla es crucial en la puesta a tierra, mitigación para reducir interferencia en circuitos de comunicación y canalizaciones, sistemas de potencia, calibración de protecciones y coordinación, dimensionamiento de la resistencia de neutro y tierra y muchas otras aplicaciones.

NETS es también útil para calcular datos de entrada para otros módulos XGS (por ejemplo, el factor de división de corriente y la corriente a tierra) sin supuestos irreales como, por ejemplo, magnitud de corriente de falla conocida y no afectada por impedancias de tierra, impedancias aéreas de cables subterráneas o resistencias de la puesta a tierra de torre uniformes a lo largo de la línea, o de nuevo, largos infinitos de línea ...

Además, NETS representa el enlace entre XGS y el software comercial de análisis de sistemas de potencia más difundido.



# SINT Srl

## ONE STEP AHEAD



### LIGHTNING SHIELDING

SHIELD es una poderosa aplicación gráfica 3D para la evaluación de la protección de estructuras ante relámpagos usando los métodos de esfera rodante y el método de Eriksson.

SHIELD está basado en un modelo numérico útil para estructuras de más de 60 m de altitud.

SHIELD toma en cuenta el estándar Internacional (IEC 62305-3:2012), Europeo (EN 62305-3:2012) y Americano (IEEE Std 998-2012), el método de esfera rodante es considerado por muchos otros estándares (NFPA, AS...).

Cuando se establece el método de esfera rodante, SHIELD primero genera una superficie 3D correspondiente a todos los posibles puntos en que pueda hacer contacto la superficie de la esfera con un radio en específico a medida que rueda sobre el Sistema de terminación de aire. El Sistema de terminación de aire puede estar compuesto por cualquier combinación de mástiles y cables (cables catenarios incluidos). Esta superficie define el volumen protegido.

El volumen protegido es entonces superpuesto a la estructura por proteger. Las partes de la estructura a proteger que sobresalen de esta superficie no están protegidas.

Si el método es aplicado a la estructura por proteger, este puede identificar los posibles puntos de impacto de relámpago y dar una indicación para el posicionamiento de la terminación de aire.

Cuando el método de Eriksson es establecido, SHIELD genera el área de recolección del Sistema de terminación de aire y la estructura por proteger.

El Sistema de protección ante relámpagos es efectivo cuando el área de recolección del Sistema de terminación de aire incluye el área de recolección de la estructura por proteger.

El usuario puede modificar el Sistema de protección ante relámpago y generar otra vez el volumen protegido o las áreas de recolección.



### LIGHTNING SHIELDING ADVANCED

SHIELD\_A es una poderosa aplicación gráfica 3D para la evaluación de la protección de estructuras ante golpes directos de relámpagos usando el método de la esfera rodante.

SHIELD\_A está basado en un modelo analítico útil para uso general.

En progreso.

## APLICACIONES

	GSA	GSA_FD	XGSA_FD	XGSA_TD	NETS	SHIELD
Puesta a tierra (sistemas equipotenciales)	✓	✓	✓	✓		
Puesta a tierra (condiciones generales)		✓	✓	✓		
Sistemas de Protección Catódica		✓	✓			
Campo Magnético		✓	✓	✓		
Campo Eléctrico			✓	✓		
Interferencias Electromagnéticas		✓	✓	✓		
Efectos Corona			✓			
Transientes de Maniobra, Relámpagos y Transientes de Falla en GIS				✓		
Solución en Estado Estacionario para Redes Multiconductoras y Multifásicas de Malla Completa					✓	
Corriente de Corto Circuito en Redes Multiconductoras y Multifásicas de Malla Completa					✓	
Distribución de Corriente de Falla en Redes Multiconductoras y Multifásicas de Malla Completa					✓	
Distribución de Corriente e Interferencias Electromagnéticas en Sistema de Electrificación Ferroviaria					✓	
Blindaje Contra Relámpagos con Método de Esfera Rodante o Eriksson						✓



**GSA es un Software de Ingeniería para Diseño y Estudios de Mallas de Puesta a Tierra incluyendo Análisis de Resistividad de Suelo. GSA es altamente apreciado por su fácil uso, Interfaz de usuario y Calidad de Gráficos de Salida.**

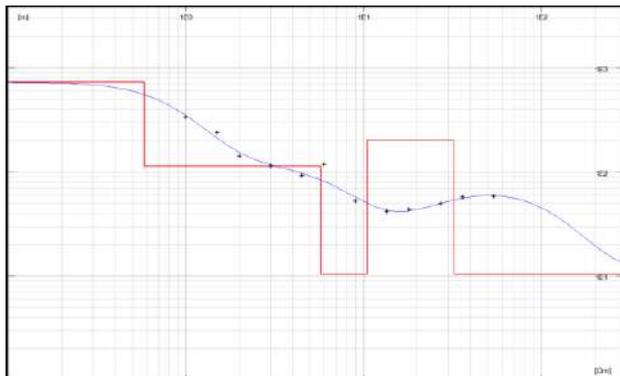
### DESCRIPCIÓN GENERAL

GSA está basado en un modelo numérico estático PEEC y en la condición equipotencial de los electrodos y puede analizar el rendimiento a baja frecuencia (DC) del Sistema de puesta a tierra compuesto por distintos electrodos de diferentes formas, pero limitados en tamaño a un modelo de suelo uniforme o de multicapa.

GSA puede tomar datos de entrada en forma de gráficos (de archivos "dxf" o del CAD integrado) o numéricos y renderizar potentes instalaciones gráficas a través de sus algoritmos de cálculo optimizados y validados, lo que lo convierte en una herramienta indispensable para el diseño y la verificación del sistema de puesta a tierra.

GSA incluye los módulos SRA para calcular parámetros de modelos de suelo multicapa a partir de datos de resistividad del suelo medidos y SA para calcular los efectos del cambio climático estacional.

GSA es esencialmente una herramienta de baja frecuencia, pero en varios casos prácticos (con pocos electrodos), también puede ser útil para calcular la impedancia de impulso de los electrodos bajo corrientes de rayo con un nivel de precisión adecuado para muchas aplicaciones de ingeniería.



Medidas de resistividad del suelo y parámetros de un modelo de suelo de 5 capas (escala logarítmica)

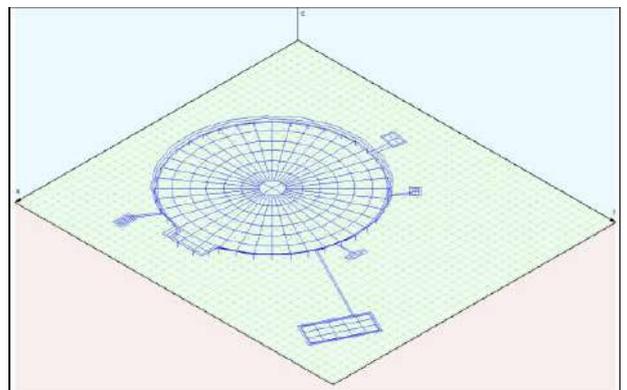
### DATOS DE ENTRADA

- Datos eléctricos (por ejemplo, corriente de falla monofásica a tierra, datos para el cálculo de la corriente de puesta a tierra, estándar de referencia, tiempo de operación de las protecciones, resistencia adicional entre los pies y la superficie de tierra o guantes, etc.).
- Datos geométricos (por ejemplo, diseño del sistema de puesta a tierra de todos los electrodos (hasta 999), sección transversal de los conductores, espesor del recubrimiento, propiedades del material, etc.). Cada electrodo consiste en una red de conductores conectados arbitrariamente (o separados).
- Datos físicos (por ejemplo, resistividad del suelo o valores medidos de resistividad aparente, características superficiales de capas delgadas, etc.).

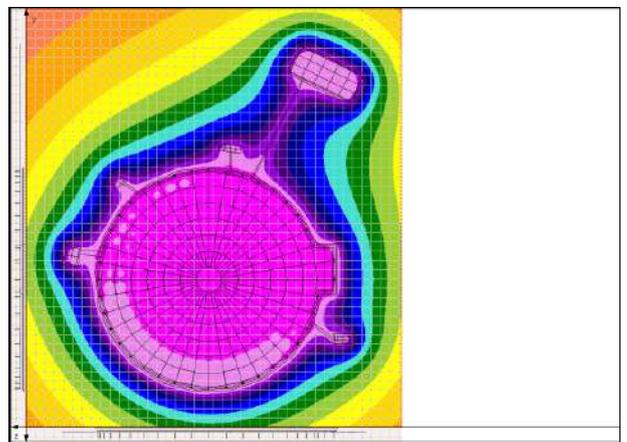
### RESULTADOS DE SALIDA

- Factor de decremento (Df) según el estándar IEEE.
- Factor de división (r) según el estándar EN o (Sf) según el estándar IEEE.
- Corriente de tierra.
- Sección transversal mínima de los conductores del sistema de puesta a tierra para la especificación térmica.
- Parámetros uniformes o multicapa del modelo de suelo a partir de medidas in situ de valores de resistividad aparente con métodos de Wenner o Schlumberger.
- Factor de reducción de voltajes de contacto y paso debido a una capa delgada superficial (Cs) según el estándar IEEE.
- Voltajes máximos permitidos de contacto y de paso según las normas IEC, EN e IEEE teniendo en cuenta la resistencia del cuerpo y posiblemente la resistencia adicional (zapatos, guantes ...). Con las normas IEC y EN, se dan valores prospectivos y permisibles de voltajes de contacto y de paso.
- Resistencia de tierra y valores de elevación de potencial de tierra (GPR) de todos los electrodos.
- Distribución de la corriente de fuga de los electrodos con representación gráfica 1D, 2D y 3D para verificar la eficiencia de piezas específicas del sistema de puesta a tierra

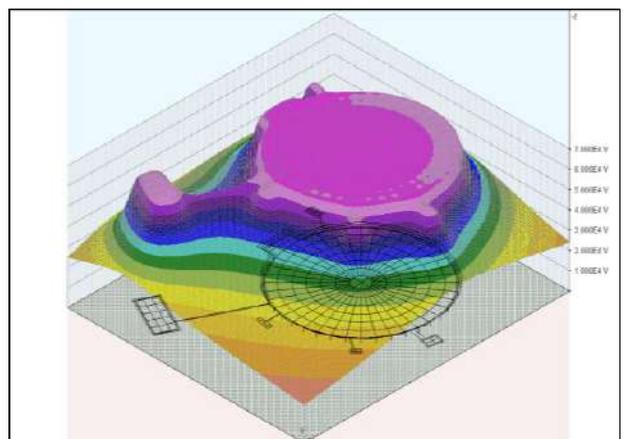
- Valor máximo del campo eléctrico cerca de los electrodos (útil para verificar rápidamente si puede ocurrir el fenómeno de ionización del suelo).
- Potenciales de tierra y distribuciones efectivas de voltajes de contacto y de paso en líneas rectas o áreas rectangulares que se encuentran sobre o debajo de la superficie del suelo mediante representaciones gráficas coloreadas en 2D y 3D, para la individuación de áreas seguras y peligrosas.
- Lista de materiales utilizados para el sistema de puesta a tierra (alambres y varillas).
- Proyecciones ortográficas o representaciones isométricas del sistema de puesta a tierra.



Diseño de Sistema de Puesta a Tierra.



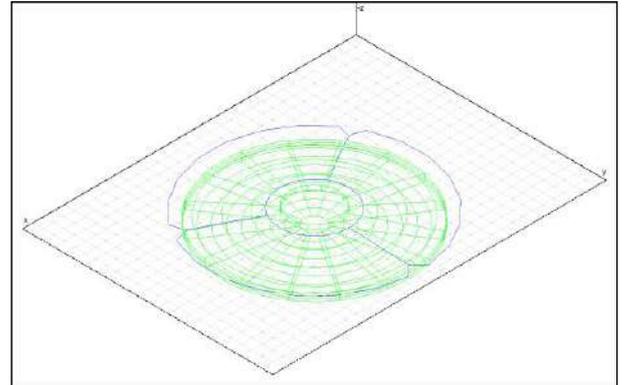
Distribución del potencial en la superficie 2D.



Distribución de potencial en la superficie 3D.



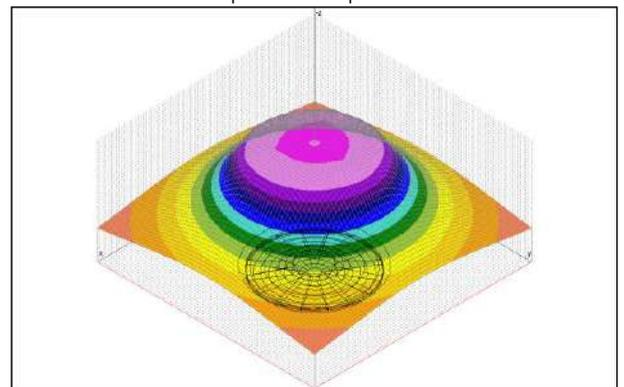
Distribución del potencial de la superficie en presencia de un electrodo flotante.



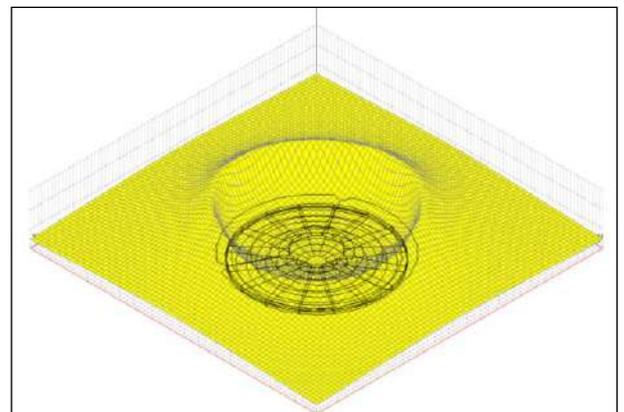
Diseño de una puesta a tierra para una torre eólica.

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Modelo de cálculo basado en el método PEEC en condiciones estáticas.
- Posibilidad de considerar estándares internacionales (IEC/TS 60479-1:2018), europeos (EN 50522:2010) y americanos (IEEE Std 80-2000 e IEEE Std 80-2013).
- Posibilidad de importar diseños de redes desde archivos ".dxf".
- Depuración automática de datos antes del cálculo.
- Análisis de sistemas de puesta a tierra de cualquier forma, con elección del número total de fuentes elementales.
- Posibilidad de analizar hasta 999 electrodos distintos en el mismo cálculo, incluidos, por ejemplo, electrodos de retorno, sistemas de puesta a tierra de líneas de transmisión o electrodos subterráneos de potencial flotante.
- Caracterización del suelo con un modelo uniforme o multicapa. Más allá de esto, se puede agregar una capa delgada superficial.
- Posibilidad de analizar electrodos parcialmente aislados o encerrados en hormigón o enterrados en suelo tratado para reducir la resistividad.
- Bibliotecas con propiedades típicas de suelos, revestimientos de suelos, materiales de hormigón y relleno.
- Posibilidad de exportar datos de diseño y resultados en archivo de extensión ".dxf".
- Posibilidad de exportar salidas gráficas a otras aplicaciones WINDOWS®.
- Posibilidad de elegir el idioma (inglés, alemán, francés, italiano, español, portugués).



Distribución de potencial en la superficie.



Distribución del potencial de paso.



**GSA\_FD** es un software de ingeniería para diseño y estudios de redes de puesta a tierra en el dominio de frecuencia desde DC hasta aproximadamente 100 MHz, incluido el análisis de resistividad del suelo.

**GSA\_FD** se puede aplicar en condiciones generales y es irremplazable cuando la hipótesis de la condición equipotencial del electrodo no es aceptable.

### DESCRIPCIÓN GENERAL

**GSA\_FD** se basa en un modelo numérico de onda completa PEEC y se puede aplicar en condiciones generales con sistemas compuestos por muchos electrodos distintos de cualquier forma, tamaño y tipo de conductor (sólido, hueco o trenzado y recubierto o desnudo) en un modelo de suelo uniforme, multicapa o multizona en un amplio rango de frecuencia desde CC hasta aproximadamente 100 MHz. **GSA\_FD** también puede considerar conductores apantallados de un solo núcleo y multinúcleos. Además, es importante considerar que **GSA\_FD** es capaz de tener en cuenta la dependencia de frecuencia de los parámetros del suelo de acuerdo con muchos modelos, incluidos Messier, Visacro - Portela, Visacro - Alipio y el modelo con un consenso general indicado en el CIGRE TB 781 2019.

Los datos gráficos (de archivos "dxf" o del CAD integrado) y numéricos de entrada, los algoritmos de cálculo optimizados y validados y las potentes instalaciones gráficas hacen de **GSA\_FD** una herramienta indispensable para el diseño y la verificación del sistema de puesta a tierra, cuando no se puede ignorar la tensión de caída en los conductores.

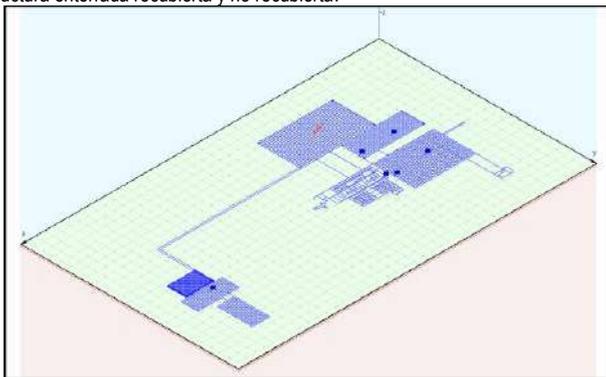
**GSA\_FD** incluye los módulos SRA para calcular parámetros de modelos de suelo multicapa a partir de datos medidos de resistividad del suelo y SA para calcular los efectos del cambio climático estacional.

**GSA\_FD** también puede considerar un modelo de suelo multizona. Se debe utilizar un modelo de suelo multizona cuando el tamaño de la red de conductores es tan grande que el cambio horizontal de resistividad del suelo es más significativo que las variaciones verticales.

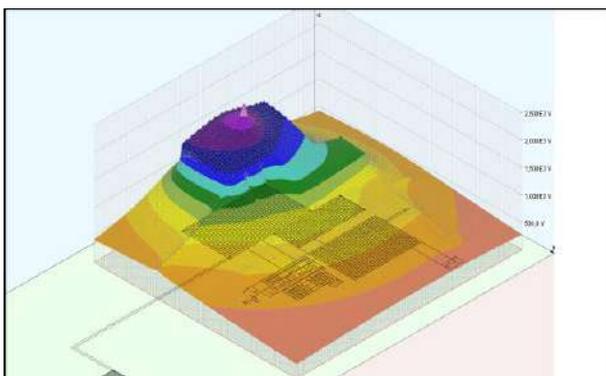
**GSA\_FD** es uno de los software más potentes y generales del mercado para el análisis de sistemas de puesta a tierra y se puede utilizar para resolver problemas de compatibilidad electromagnética o interferencia debido al acoplamiento resistivo, capacitivo e inductivo en la tierra.

**GSA\_FD** es útil para calcular el campo magnético debido a sistemas de conexión a tierra o cables enterrados y se puede utilizar para investigar la efectividad de los sistemas de mitigación de bucle pasivo.

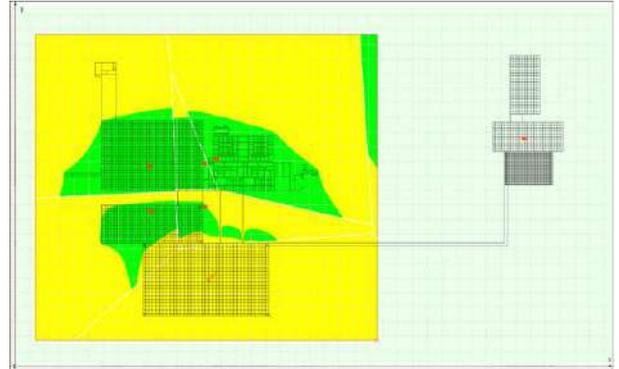
En condiciones DC, **GSA\_FD** se puede utilizar para la protección catódica y el análisis de cama anódica, con sistemas de corriente impresa que involucran una extensa estructura enterrada recubierta y no recubierta.



Diseño de sistema de puesta a tierra para una planta extensa.



Distribución superficial de potencial de tierra.



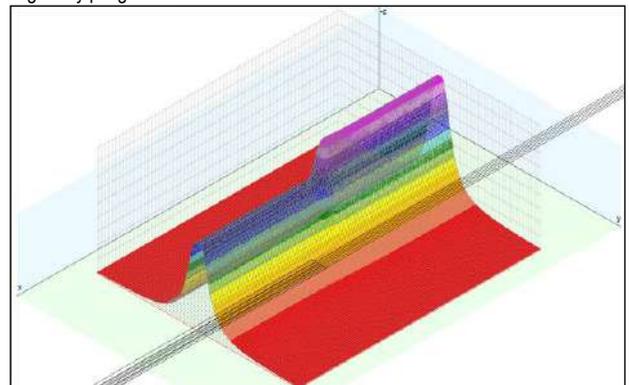
Áreas seguras para tensiones de contacto y paso.

### DATOS DE ENTRADA (además de GSA)

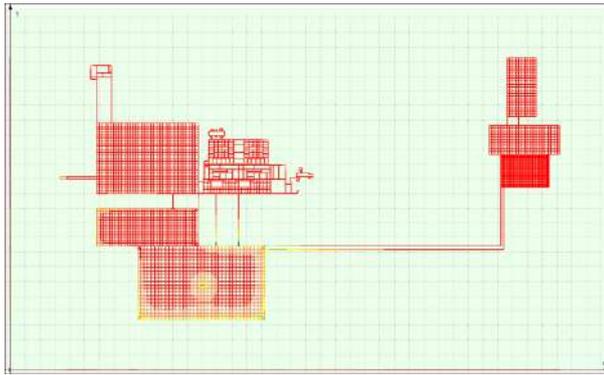
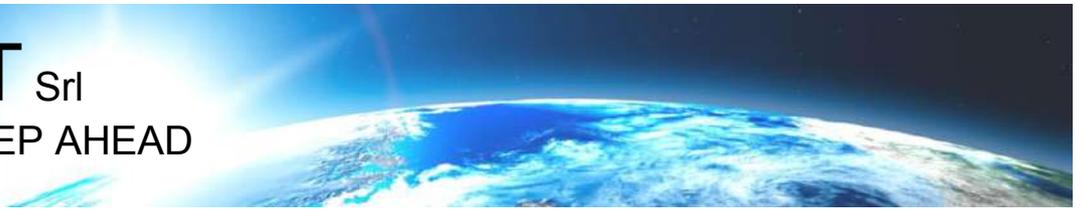
- Datos eléctricos adicionales (por ejemplo, corriente inyectada o potencial especificado en un número arbitrario de puntos, CEM impresos o inducidos, frecuencia operativa, impedancias longitudinales adicionales, etc.)
- Datos geométricos adicionales (topología de la red de conductores, conductores y sección transversal de conductores apantallados, espesor del recubrimiento, propiedades del material, etc.)
- Datos físicos adicionales (por ejemplo, permitividad del suelo, modelo para la dependencia de la frecuencia de los parámetros del suelo, etc.)

### RESULTADOS DE SALIDA (además de GSA)

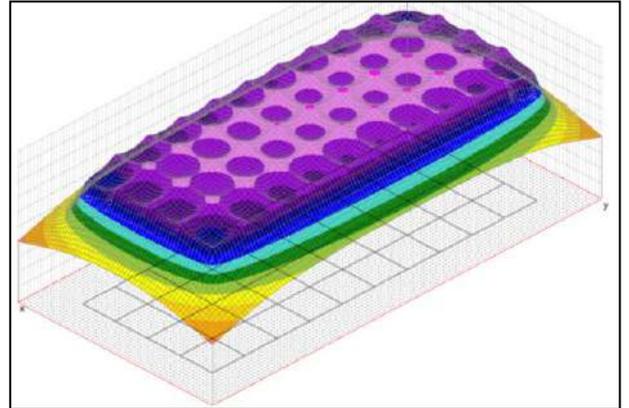
- Impedancia a tierra y aumento del potencial de tierra de todos los puntos de referencia (la impedancia de tierra se calcula como relación entre su GPR del punto específico y la corriente total inyectada en los electrodos).
- Distribución de corriente de fuga de los electrodos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D para verificar la eficiencia de partes específicas del sistema de puesta a tierra.
- Distribución de corriente longitudinal (transferida o inducida) en los electrodos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D.
- Distribución del potencial (transferido o inducido) en los electrodos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D.
- Distribución de la fuerza electromotriz en los electrodos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D.
- Distribución de potencia compleja en los electrodos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D.
- Distribuciones de campo magnético en línea recta horizontal o área rectangular con representaciones gráficas coloreadas 1D, 2D y 3D, para la individuación de áreas seguras y peligrosas.



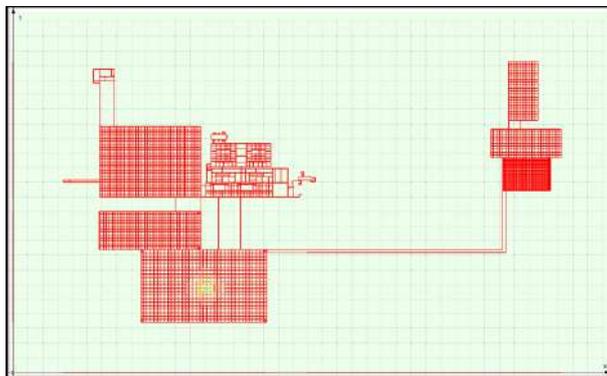
Distribución del campo magnético - Mitigación con un bucle pasivo



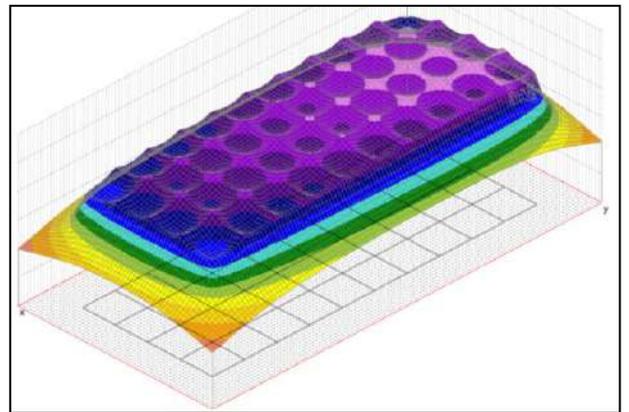
Distribución de Corrientes de fuga.



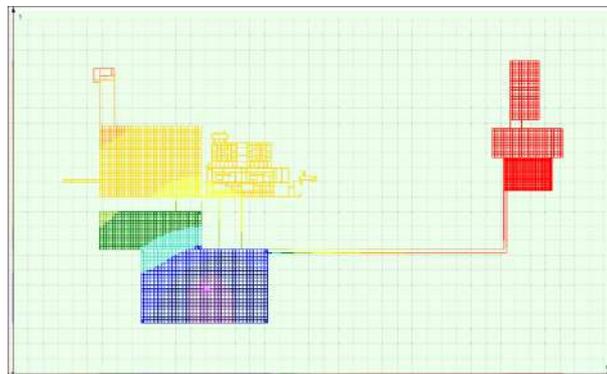
Distribución superficial de potencial de tierra - 50 Hz.



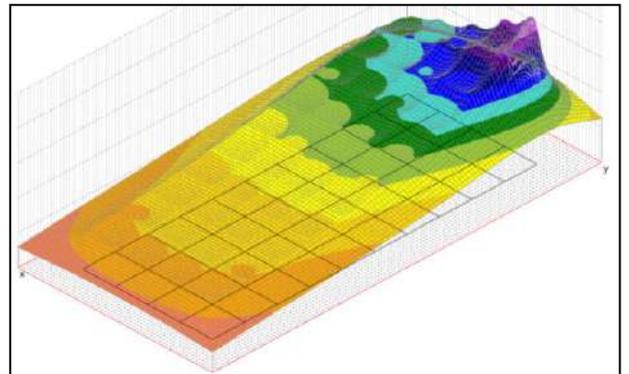
Distribución de Corrientes longitudinales.



Distribución superficial de potencial de tierra - 500 Hz.



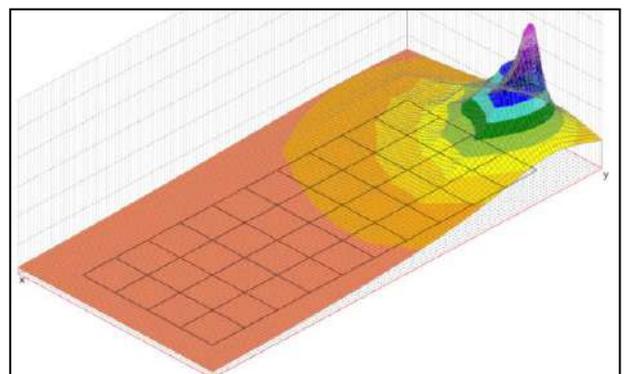
Distribución de potencial.



Distribución superficial de potencial de tierra - 5 kHz.

#### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES (además de GSA)

- Modelo de cálculo basado en el método "PEEC" en condiciones de onda completa.
- Depuración avanzada automática de datos antes del cálculo.
- Reconocimiento automático de las conexiones entre conductores.
- Posibilidad de considerar la permitividad del suelo.
- Posibilidad de considerar la dependencia de frecuencia de los parámetros del suelo, y permite establecer el modelo utilizado eligiendo entre los más establecidos.
- Posibilidad de analizar electrodos enterrados en un modelo de suelo multizona.



Distribución superficial de potencial de tierra - 50 kHz.



XGSA\_FD es un software de ingeniería multipropósito para sistemas de puesta a tierra, campo electromagnético y análisis de interferencias en el dominio de frecuencia desde CC hasta aproximadamente 100 MHz, incluido el análisis de resistividad del suelo. XGSA\_FD amplió el campo de aplicación de la GSA\_FD a los sistemas aéreos.

### DESCRIPCIÓN GENERAL

XGSA\_FD extiende el campo de aplicación GSA\_FD a los sistemas aéreos. También XGSA\_FD se basa en un modelo numérico de onda completa PEEC y se puede aplicar en condiciones generales con los mismos conductores y en el mismo rango de frecuencia de GSA\_FD. Utilizando conductores apantallados, XGSA\_FD pueden simular sistemas aislados en gas como GIS y GIL.

XGSA\_FD también puede manejar conductores de catenaria y conductores agrupados (sólidos, huecos o trenzados y recubiertos o desnudos) y pueden tener en cuenta fuentes donde la corriente de fuga o potencial y la corriente longitudinal son forzadas e independientes por otras condiciones.

XGSA\_FD es un software multipropósito y su uso no se limita a casos específicos. XGSA\_FD campo de aplicación incluye el análisis del sistema de puesta a tierra, pero está orientado de manera particular a resolver problemas de compatibilidad electromagnética o interferencia debido al acoplamiento resistivo, capacitivo e inductivo en el aire o en la tierra.

Por ejemplo, XGSA\_FD puede evaluar las interferencias electromagnéticas entre las líneas eléctricas aéreas o subterráneas y las instalaciones como tuberías, ferrocarriles o líneas de Comunicaciones.

XGSA\_FD también es útil para calcular los campos magnéticos y eléctricos debido a electrodos subterráneos o aéreos (sistemas de puesta a tierra, cables enterrados, líneas eléctricas aéreas) y se puede utilizar para investigar la efectividad de los sistemas de mitigación de bucle pasivo.

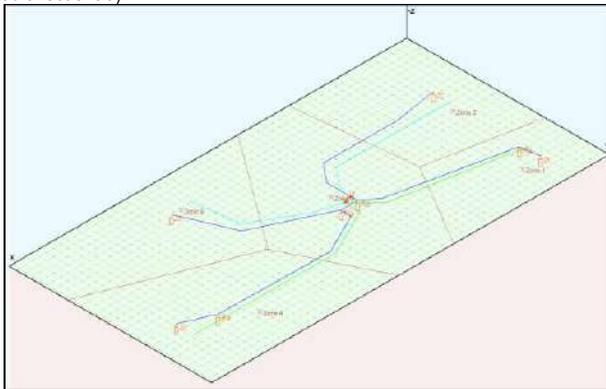
Además, XGSA\_FD integra una potente herramienta basada en el modelo sugerido por CIGRE para la evaluación de los efectos corona (pérdidas de potencia e interferencias de radiofrecuencia).

### DATOS DE ENTRADA (además de GSA\_FD)

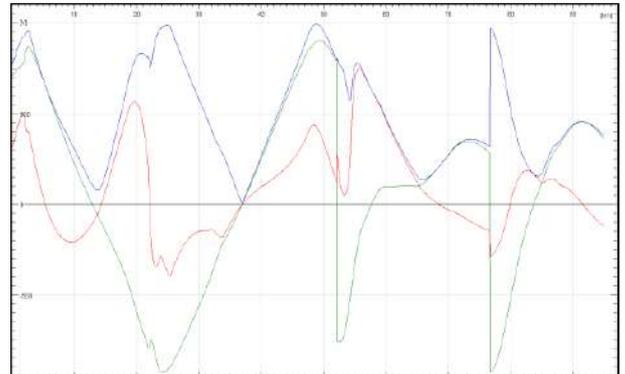
- Datos eléctricos adicionales (por ejemplo, conductores con potenciales forzados o corrientes de fuga o corriente longitudinal, impedancias longitudinales y transversales adicionales, etc.)
- Datos geométricos adicionales (por ejemplo, diseño del sistema aéreo y topología de todos los electrodos (hasta 999), constante de catenaria, diámetro del agrupamiento, número de conductores del agrupamiento, sección de conductores, espesor del recubrimiento, propiedades del material, etc.)

### RESULTADOS DE SALIDA (además de GSA\_FD)

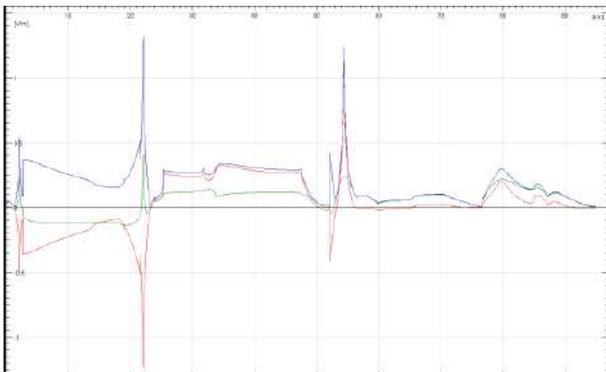
- Distribución de corriente de fuga, corriente longitudinal, potencial, fuerza electromotriz y potencia compleja en los electrodos aéreos con representación gráfica 1D (magnitud, real e imaginaria), 2D y 3D
- Distribuciones de campo magnético en línea recta orientada arbitrariamente o área rectangular horizontal o vertical con representaciones gráficas coloreadas 1D, 2D y 3D, para la individuación de áreas seguras y peligrosas
- Flujo magnético a través de áreas rectangulares horizontales o verticales, para la individuación de los CEM inducidos y la evaluación de la distancia de separación
- Distribuciones de campo eléctrico en línea recta orientada arbitrariamente o área rectangular horizontal o vertical con representaciones gráficas coloreadas 1D, 2D y 3D, para la individuación de áreas seguras y peligrosas



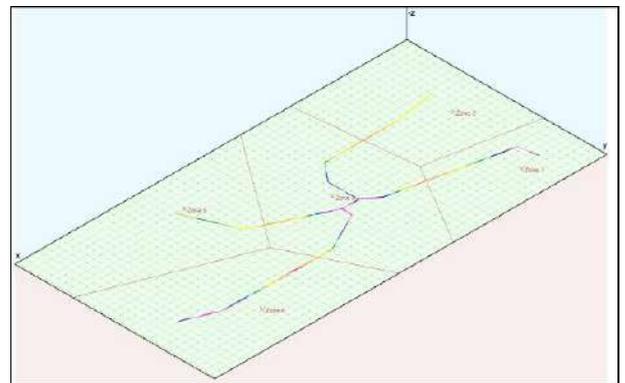
Diseño de interferencias entre las líneas eléctricas aéreas y la red de tuberías (azul).



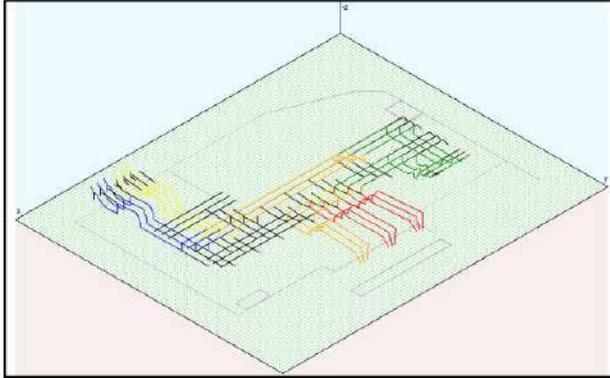
Distribución de corrientes inducidas en la tubería (magnitud azul, real verde, imaginario rojo).



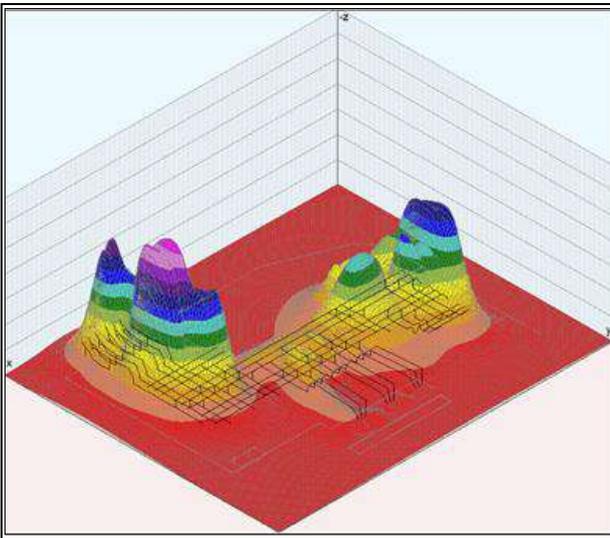
Distribución EMF inducida en las tuberías (magnitud azul, real verde, imaginario rojo).



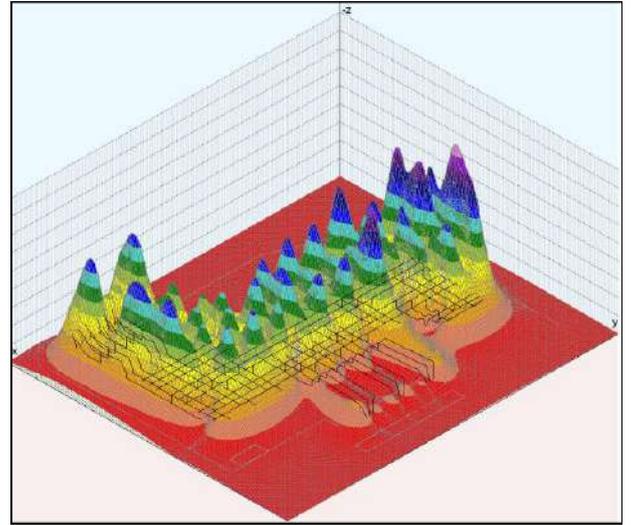
Distribución de potencial inducido en la tubería.



Distribución de corriente en los conductores principales en una subestación eléctrica .



Distribución del campo magnético en una superficie horizontal.



Distribución del campo eléctrico en una superficie horizontal Electric.

**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES (además de GSA\_FD)**

- Análisis de sistemas aéreos (y/o subterráneos) de cualquier forma, con elección del número total de fuentes elementales.
- Posibilidad de analizar hasta 999 electrodos aéreos (y/o subterráneos) distintos en el mismo cálculo.
- Posibilidad de tener en cuenta fuentes con potenciales forzados o corrientes de fuga y corrientes longitudinales.
- Posibilidad de analizar conductores rectos o catenarios aéreos de conductores simples o agrupados.
- Posibilidad de analizar las pérdidas de potencia y las interferencias de radiofrecuencia relacionadas con los efectos corona.



**XGSA\_TD** es un software de ingeniería multipropósito para el análisis de la red de conductores en el dominio del tiempo teniendo en cuenta transitorios con ancho de banda máximo de hasta aproximadamente 100 MHz, incluido el análisis de resistividad del suelo y el análisis de Fourier. **XGSA\_TD** extiende el campo de aplicación de **XGSA\_FD** al dominio del tiempo.

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

**XGSA\_TD** es un potente módulo que extiende el campo de aplicación **XGSA\_FD** al dominio del tiempo.

Con respecto a esto, **XGSA\_TD** utiliza el llamado "enfoque de dominio de frecuencias". Este enfoque es riguroso y permite considerar la dependencia de frecuencia de los parámetros del suelo.

**XGSA\_TD** se puede aplicar a transitorios con ancho de banda máximo de hasta aproximadamente 100 MHz, y luego se puede usar para conmutar transitorios, rayos y también en transitorios de falla en SIG.

En cuanto a **XGSA\_FD**, también **XGSA\_TD** es un software multipropósito y su campo de aplicación incluye análisis de sistemas de alimentación, puesta a tierra y protección contra rayos. Por ejemplo, **XGSA\_TD** puede evaluar la distribución de las corrientes del golpe de rayo a lo largo del sistema de protección contra rayos (componentes subterráneos y aéreos) y también el potencial relacionado, la fuerza electromotriz y las distribuciones de corriente de fuga en el dominio del tiempo.

**XGSA\_TD** también es útil para calcular los campos magnéticos y eléctricos debido a electrodos subterráneos o aéreos en el dominio del tiempo.

#### DATOS DE ENTRADA (además de **XGSA\_FD**)

- Frecuencia máxima de cálculo utilizada 1, 10 o 100 MHz (1 MHz para conmutación de transitorios, 10 MHz para rayos, 100 MHz para transitorios rápidos como transitorios de falla en SIG)
- Parámetros de la función transitoria estándar normalizada (funciones Exponencial Doble, Pulso o Heidler)
- Muestras o funciones transitorias normalizadas arbitrarias o transitorias grabadas (copiadas de archivos EXCEL®)
- Número de frecuencias críticas (con selección predeterminada o personalizada)

#### RESULTADOS DE SALIDA

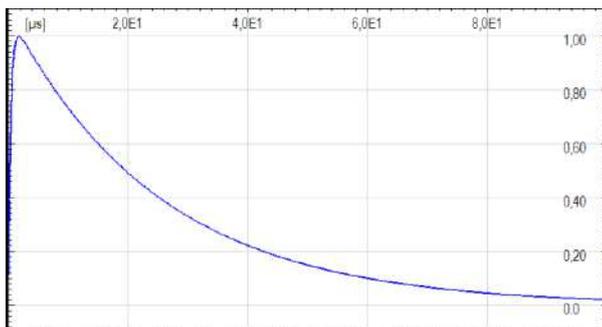
**XGSA\_FD** proporciona la distribución del dominio del tiempo y el espectro de frecuencias del transitorio de entrada (con diagrama lineal y de escala logarítmica).

**XGSA\_TD** emite resultados similares a **XGSA\_FD** pero en el dominio del tiempo. Los cálculos de los potenciales de la tierra, los voltajes de contacto y paso, los campos eléctricos y magnéticos son posibles a lo largo de las líneas.

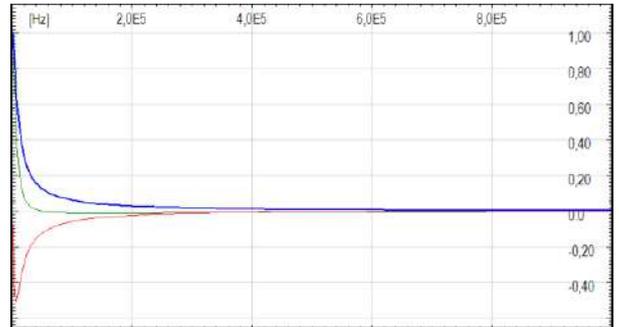
**XGSA\_TD** incluye una opción para exportar impedancias propias y mutuas dependientes de la frecuencia a EMTP® o ATP® con el fin de simular con un modelo riguroso el comportamiento dinámico de los grandes sistemas de puesta a tierra durante los transitorios electromagnéticos.

Es posible representar:

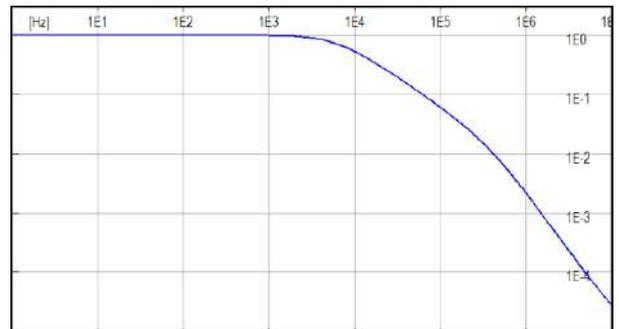
- La distribución del dominio temporal de la corriente de fuga, la corriente longitudinal, el potencial, la fuerza electromotriz y la potencia compleja en cada punto de los electrodos con representación 1D.
- La distribución del dominio del tiempo de los potenciales de tierra, los voltajes de contacto y paso, los campos eléctricos y magnéticos en cada punto de un cálculo de línea.
- La distribución de potenciales de tierra, voltajes de contacto y paso, campos eléctricos y magnéticos a lo largo de un cálculo de línea completo en un tiempo fijo
- La animación de la distribución del dominio del tiempo de los potenciales de tierra, los voltajes de contacto y paso, los campos eléctricos y magnéticos a lo largo de un cálculo de línea completa.



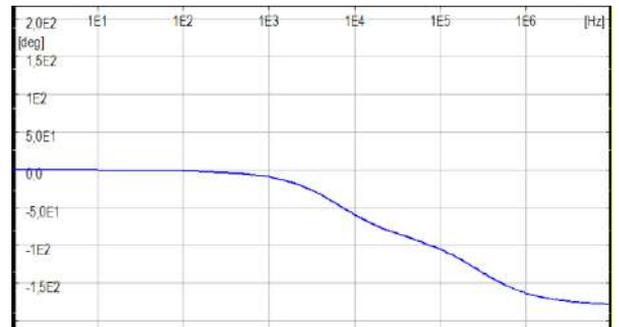
Transiente normalizado en el dominio del tiempo (Escala lineal)



Espectro de frecuencia normalizado – Magnitud, partes real e imaginaria (Escala lineal)



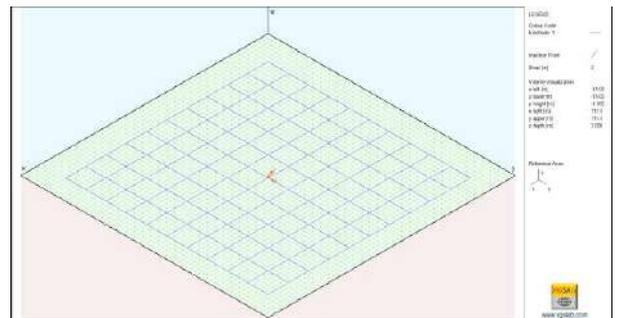
Espectro de frecuencia normalizada – Magnitud (Escala logarítmica)



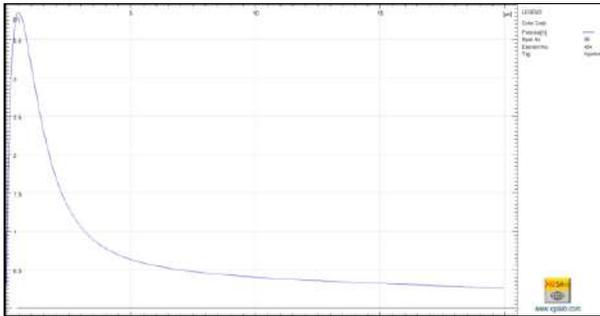
Espectro de frecuencia normalizado – Argumento (Escala logarítmica lineal)

#### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

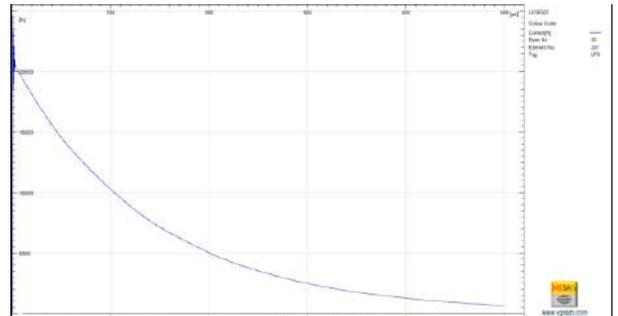
También para **XGSA\_FD** pero en el dominio del tiempo.



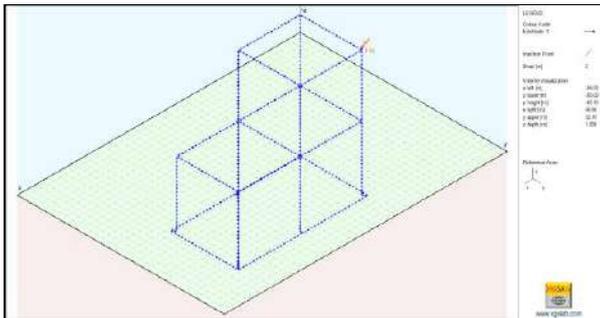
Diseño de red con punto de inyección



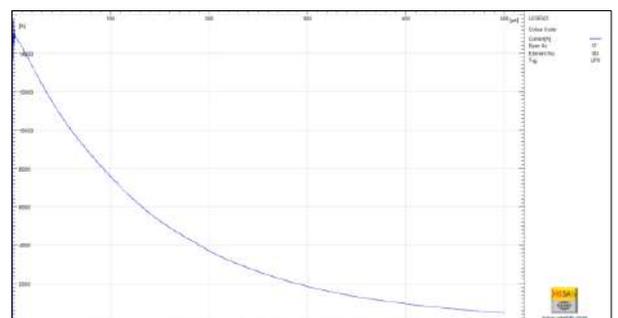
TGPR en el dominio del tiempo (Escala lineal)



Corriente en el dominio del tiempo en un conductor bajo (Escala lineal).



Golpe de rayo en un edificación (LPS)



Corriente en el dominio del tiempo en un conductor de terminación de aire (Escala lineal).



**NETS es una herramienta muy flexible para resolver redes de múltiples conductores y fases de basado en el método de componentes de fase y la teoría de grafos. NETS se puede utilizar para resolver redes en estado estacionario o condiciones de falla y, en particular, NETS puede calcular la distribución de corriente de falla en sistemas de potencia.**

#### DESCRIPCIÓN GENERAL

NETS es un módulo para la solución de redes subterráneas y/o aéreas de múltiples conductores y fases en el dominio de la frecuencia. El rango de aplicación se limita a la precisión del modelo de transformadores (hasta 1 kHz), cables (hasta 1 kHz) y líneas (hasta 10 kHz).

NETS se basa en el método de componentes de fase (y luego en las leyes de Kirchoff) y la teoría de grafos para sistemas multi-conductores y multifásicos. El método de componentes de fase es general y supera los límites del método clásico de componentes simétricas y se puede utilizar para representar sistemas de potencia como redes de multiconductores que permiten la consideración de sistemas no simétricos también en presencia de múltiples circuitos de puesta a tierra. El número máximo de conductores (y por lo tanto de puertos para un solo lado de celda) es de 26, por lo que es suficiente para representar la mayoría de los componentes de red (la simulación de 6 cables con núcleo, pantalla y armadura requiere 18 conductores).

Los componentes de la red (fuentes, generadores de tensión ideal, generadores de corriente ideales, cargas, transformadores, líneas, cables de núcleo único y multinúcleo, enlaces híbridos, impedancias, interruptores, fallos...) se representan con celdas multipuerto y la conexión entre celdas se obtiene mediante buses multipuerto. Los sistemas de puesta a tierra (redes de subestaciones, puesta a tierra de torres...) pueden especificarse de forma arbitraria.

NETS calcula los parámetros de las líneas y cables a partir de los datos normalmente disponibles en la hoja de datos del fabricante. NETS calcula las impedancias y admitancias propias y mutuas para todos los conductores utilizando fórmulas precisas y teniendo en cuenta la resistividad y permitividad de la tierra.

NETS calcula los parámetros de los transformadores monofásicos o trifásicos de dos o tres devanados a partir de los datos generalmente disponibles en la hoja de datos del fabricante.

NETS incluye un convertidor desde las competentes simétricas al dominio de fase. Esta herramienta puede convertir una matriz de impedancias de secuencia en una matriz de impedancia de fase.

NETS se puede utilizar para resolver redes de transmisión y distribución simétricas o no simétricas, equilibradas o desequilibradas en estado estacionario o en condiciones de falla.

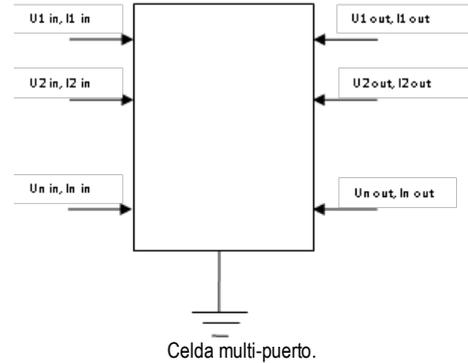
En particular, NETS se puede utilizar para el cálculo de la distribución de corriente de falla en redes de potencia y entre circuitos de potencia y tierra.

Además, NETS es una poderosa herramienta para la evaluación de la distribución de corriente y las interferencias electromagnéticas en el caso de los corredores ferroviarios.

Un conocimiento preciso de la distribución de la corriente de falla es crucial en la puesta a tierra, la mitigación para reducir la interferencia en los circuitos de comunicación y tuberías, la calibración y coordinación de las protecciones de los sistemas de energía, el tamaño de la resistencia de puesta a tierra neutral y muchas otras aplicaciones.

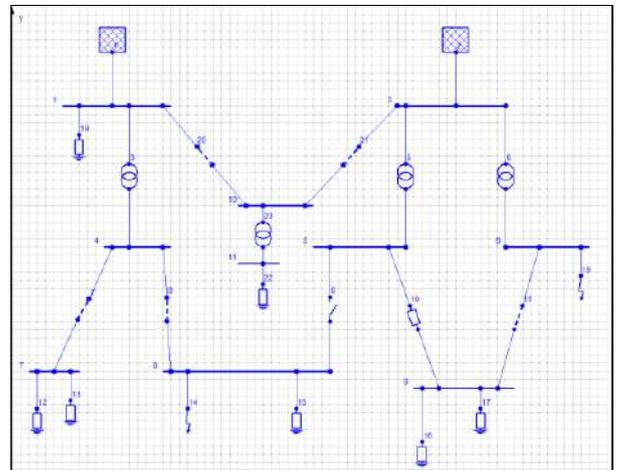
#### DATOS DE ENTRADA

- La interfaz de datos de entrada ha sido diseñada para requerir un conjunto mínimo y simple de información.
- Diseño de circuitos (distribución y conexión de buses y celdas).
- Datos para celdas genéricas (por ejemplo, clase de celda, tipo de celda, números de puertos y, para cada puerto, fase de la A a la Z y parámetros como voltajes, corrientes e impedancias).
- Datos para celdas de línea y/o cable (como celda genérica y además, longitud de línea o cable, resistividad a tierra, temperatura operativa y, para cada puerto, código de biblioteca e información de diseño de sección transversal). La biblioteca de líneas y la biblioteca de cables incluyen todos los datos adicionales requeridos por las celdas de línea y cable.
- Datos para celdas híbridas. Similar a las celdas de línea y cable, pero incluye conductores como tuberías, rieles, contrapesos ...
- Datos para celdas de transformador (como celda genérica y además, código de biblioteca, impedancias neutras, y para cada puerto, impedancias longitudinales). Las bibliotecas de transformadores incluyen todos los datos adicionales requeridos por un transformador de celda de dos o tres bobinados.

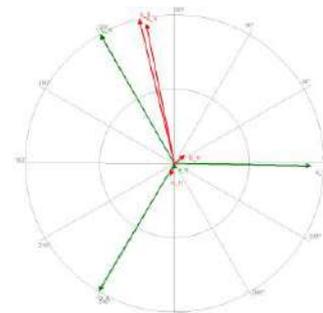


#### RESULTADOS DE SALIDA

- Corriente en cada puerto de cada celda.
- Corriente a tierra en cada conexión a tierra.
- Potencial en cada Puerto de cada celda.
- Potencial en cada conexión con la tierra.
- Flujo de alimentación en cada puerto de cada celda.
- Distribución de corriente a lo largo de línea y cables.
- Distribución de potencial a lo largo de líneas y cables.
- Distribución de EMF a lo largo de líneas y cables.
- Los resultados están disponibles en forma numérica y gráfica.

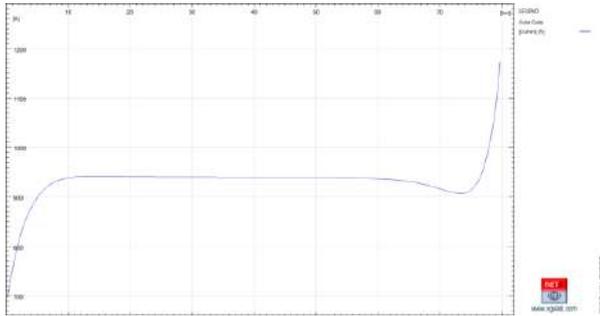


Diseño de red.

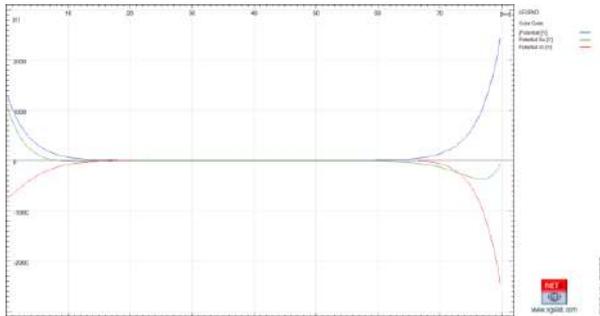


Componente	Valor	Unidad
Voltaje	110	V
Corriente	10	A
Impedancia	10	Ω
Admitancia	0.1	S
Inductancia	0.1	H
Capacitancia	0.1	F
Resistencia	10	Ω
Reactividad	10	Ω
Factor de potencia	0.8	
Potencia activa	1000	W
Potencia reactiva	1000	Var
Potencia compleja	1414	VA
Factor de potencia	0.707	
Ángulo de fase	45	°

Diagrama de fasores (o diagrama Fresnel) de potenciales y corrientes en el lado de la celda .



Distribución de corriente a lo largo de un OHEW – Magnitud (Escala lineal).



Distribución de potencial a lo largo de un OHEW (Magnitud, partes real e imaginaria).

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

- Modelo de cálculo basado en el método de componentes de fase y teoría de grafos para sistemas multi-conductores y multifásicos.
- Depuración automática de datos antes del cálculo.
- Reconocimiento automático de las conexiones entre celdas y buses y definición automática de ecuaciones de enlace (o límite).
- Número arbitrario de buses y celdas (el número está limitado solo por las restricciones de hardware).

- Celdas clase 1: celdas multipuerto con solo un grupo de puertos (entrada) utilizados para representar fuentes, fuentes de voltajes o corrientes ideales, impedancias transversales o fallas.
- Celdas clase 2: celdas multipuerto con dos grupos de puertos (entrada y salida) utilizadas para representar líneas aéreas, cables aéreos o subterráneos de un solo núcleo y multinúcleos, enlaces híbridos, transformadores de dos bobinados, impedancias longitudinales o interruptores.
- Celdas clase 3: celdas multipuerto con tres grupos de puertos (entrada y dos de salida) utilizadas para representar transformadores de tres bobinados.
- Buses: buses multipuerto con un número arbitrario de grupos de puertos.
- Cálculo automático de parámetros de cables, líneas y transformadores.
- Las celdas de cable pueden representar cables de un solo núcleo o de tipo tubería. Cada cable puede incluir núcleo, pantalla y armadura.
- Una sola celda puede representar una línea larga o un cable largo o un solo tramo o parte de él. El nivel de detalle en el modelo puede ser decidido por el Usuario.
- Las celdas de transformador de dos bobinados pueden representar transformadores monofásicos o trifásicos de dos bobinados. Los transformadores trifásicos pueden tener conexiones Y, D o Z, cualquier número de grupo (0 a 11), cualquier tipo de estado neutro (aislado, conectado a tierra y generalmente conectado a tierra con una impedancia a tierra) y neutro distribuido o no.
- Las celdas de transformador de tres bobinados pueden representar transformadores de tres bobinados monofásicos o trifásicos. Los transformadores trifásicos pueden tener conexiones Y o D, cualquier número de grupo (0 a 11), cualquier tipo de estado neutro (aislado, conectado a tierra y generalmente conectado a tierra con una impedancia a tierra) y neutro distribuido o no.
- Las celdas de impedancia longitudinal pueden representar interrupciones de todas las fases o de una sola fase.
- Las celdas de impedancias transversales pueden representar cualquier tipo de cortocircuito entre fases y/o a tierra.
- Las impedancias de fase necesarias para representar componentes como fuentes, impedancias longitudinales o transversales se pueden calcular a partir de la matriz de impedancias de secuencia correspondiente utilizando la herramienta de conversión de secuencia a fase.
- Bibliotecas con datos comerciales para líneas, cables de un solo núcleo y multinúcleo, conductores y transformadores.
- Posibilidad de elegir el idioma (inglés, alemán, francés, Italiano, español, portugués).



**SHIELD es una herramienta muy poderosa para la evaluación de la protección de las estructuras contra los golpes directos de rayos. SHIELD puede calcular el volumen protegido utilizando el método de la esfera rodante y el área de recolección utilizando el método Eriksson.**

## DESCRIPCIÓN GENERAL

SHIELD es una aplicación gráfica 3D completa para la evaluación de la protección de estructuras contra golpes de rayos directos utilizando los métodos de la esfera rodante y Eriksson y un modelo numérico adecuado para estructuras de hasta 60 m de altura.

El método de la esfera rodante es considerado por muchos estándares (EN, IEEE, NFPA, AS ...) y es un método universal para el diseño de blindaje, y particularmente recomendado para geometría compleja.

Los métodos alternativos como el ángulo de protección o el método de malla son adecuados para edificios de forma simple o para edificios donde se deben proteger las superficies planas.

El método de la esfera rodante se puede aplicar a la estructura a proteger. En tal caso, SHIELD puede identificar las partes de la estructura expuestas a un golpe directo de rayo, que son los puntos donde es más efectivo instalar el sistema de terminación de aire.

Luego, el método de la esfera rodante se puede aplicar al sistema de terminación de aire + conductor bajo. En tal caso, SHIELD genera una superficie 3D correspondiente al volumen protegido.

El volumen protegido se superpone a la estructura a proteger. Las partes de la estructura a proteger que sobresalen sobre esta superficie no están protegidas.

El Método de esfera rodante se ha implementado teniendo en cuenta un modelo numérico basado en un escaneo geométrico sobre los cálculos de una red, adecuado para estructuras de hasta 60 m de altura. El módulo avanzado SHIELD\_A se basa en un modelo analítico y evalúa las superficies generadas por la intersección de las esferas rodantes en el espacio 3D y adecuadas para fines generales.

El modelo numérico considerará esencialmente a caídas de rayos verticales, mientras que el modelo analítico podrá considerar también caídas de rayos laterales.

Cuando se establece el Método Eriksson, SHIELD genera el área de recolección de terminación de aire + sistema de conductor bajo y la estructura a proteger.

El sistema de protección contra rayos es efectivo cuando el área de recolección de terminación de aire + sistema de conductor bajo incluyen el área de recolección de la estructura a proteger.

El Usuario puede modificar el sistema de protección contra rayos y generar de nuevo el volumen protegido o las áreas de recogida.

El blindaje contra rayos es un tema cada vez más importante. En muchas zonas la frecuencia de impactos por descargas atmosféricas está creciendo y por otro lado los valores a proteger (personas, edificios, sistemas...), también están aumentando. Un buen diseño de blindaje contra rayos es el primer paso para una buena instalación del sistema de protección contra descargas atmosféricas.

## DATOS DE ENTRADA

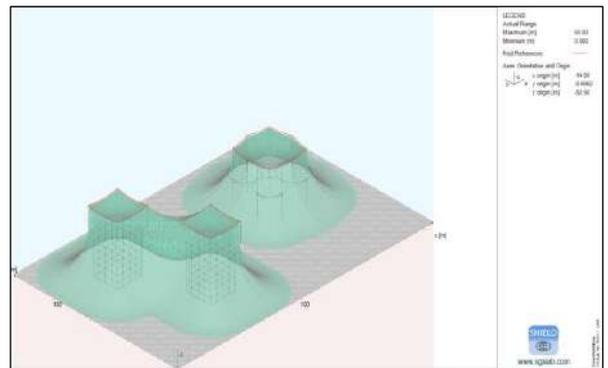
- La interfaz de datos de entrada ha sido diseñada para requerir un conjunto mínimo y simple de información
- Disposición de la estructura a proteger
- Diseño de la terminación de aire + sistema de conductor bajo
- Método de cálculo (Esfera Rodante o Eriksson)
- Datos para el cálculo de la impedancia de sobretensión y pico de la corriente de retorno del impacto
- Distancia de golpe (introducida o calculada)

## RESULTADOS DE SALIDA

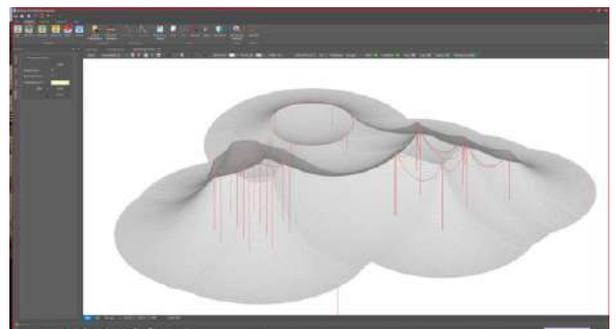
- Impedancia de sobretensión
- Pico de la corriente de retorno del impacto
- Distancia de golpe
- Tasa de fallos
- Partes de la estructura a proteger expuestas a un golpe directo de rayo
- Volumen protegido (calculado con el método de la esfera rodante)
- Áreas de recolección (calculadas con el método Eriksson)
- Los resultados están disponibles en forma numérica y gráfica

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Método de cálculo basado en los métodos de Esfera Rodante y Eriksson
- Método de Esfera Rodante implementado utilizando un modelo numérico adecuado para estructuras de hasta 60 m de altura
- Posibilidad de considerar estándares internacionales (IEC 62305-3:2012), europeos (EN 62305-3:2012) y americanos (IEEE Std 998-2012)
- Cálculo de impedancia de sobretensión (según IEEE Std 998-2012)
- Posibilidad de importar diseño de red desde archivos "dxf" (segmentos 2D o 3D)
- Depuración automática de datos antes del cálculo
- Análisis de sistemas de protección contra rayos de cualquier forma (mástiles, alambres horizontales, alambres de catenaria...)
- Posibilidad de representar resultados utilizando gráficos vectoriales OpenGL (visor)
- Posibilidad de crear entrada de datos utilizando gráficos vectoriales OpenGL (CAD)
- Posibilidad de exportar datos de diseño y resultados en archivo dxf
- Posibilidad de exportar salidas gráficas a otras aplicaciones WINDOWS®
- Posibilidad de elegir el idioma (inglés, alemán, francés, italiano, español, portugués)



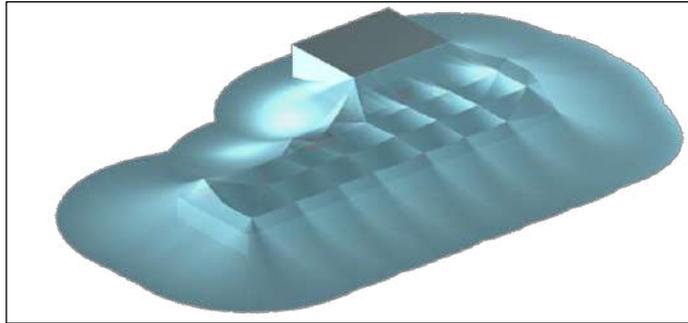
Volumen Protegido calculado con el método de la Esfera Rodante



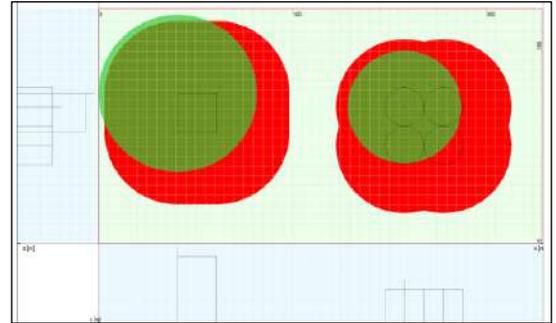
Volumen Protegido calculado con el método de la Esfera Rodante (gráfica de vector)



**SINT** Srl  
ONE STEP AHEAD



Volumen Protegido calculado con el método de la Esfera Rodante (gráfico de vector)



Áreas de recolección calculadas con el método de Eriksson



## TABLA COMPARATIVA DE PRODUCTOS

	GSA	GSA_FD	XGSA_FD	XGSA_TD	NETS	SHIELD
Basado en la Teoría de Campos Electromagnéticos	✓	✓	✓	✓		
Basado en la Teoría de Circuitos Multi-conductores y Multifásicos					✓	
Basado en la Teoría del Diseño de Modelos Electrogeométricos						✓
Normas IEC, EN y IEEE	✓	✓	✓			✓
Analizador de Resistividad del Suelo Adecuado para Medidas de Wenner y Schlumberger	✓	✓	✓	✓		
Modelo de Suelo Uniforme	✓	✓	✓	✓		
Modelo de Suelo Multicapa (hasta 20)	✓	✓	✓	✓		
Modelo de Suelo Multizona		✓	✓			
Analizador Estacional del Modelo de Suelo	✓	✓	✓	✓		
Hasta 999 Electrodo Distintos	✓	✓	✓	✓		
Entrada Gráfica de Diseño desde Archivos ".dxf" y Exportación a Archivos ".dxf"	✓	✓	✓	✓		
Exportar Resultados a Archivos ".kml" o ".kmz"	✓	✓	✓			
Herramienta de Dibujo Integrada	✓	✓	✓	✓	✓	
Reconocimiento automático de nodos (o buses)		✓	✓	✓	✓	
División y Acondicionamiento Automático de Conductores		✓	✓	✓		
Acoplamiento Resistivo	✓	✓	✓	✓		
Acoplamiento Capacitivo		✓	✓	✓		
Acoplamiento Inductivo		✓	✓	✓		
Impedancia Propia		✓	✓	✓		
Dependencia de Frecuencia de los Parámetros de Suelo		✓	✓	✓		
Conductores con Potenciales Forzados o Corrientes de Fuga y Corrientes Longitudinales			✓			
Conductores Apantallados		✓	✓	✓		
Conductores de Catenaria y Agrupados			✓	✓		
Efectos de Propagación		✓	✓	✓		
Sistemas Bajo Tierra	✓	✓	✓	✓	✓	
Sistemas Sobre Suelo			✓	✓	✓	
Cálculo de Potenciales y Voltajes de Contacto y Paso Sobre y Debajo de la Superficie del Suelo	✓	✓	✓	✓		
Cálculo de Campos Magnéticos Sobre y por Encima de la Superficie del Suelo		✓	✓	✓		
Cálculo de Campos Eléctricos Sobre y por Encima de la Superficie del Suelo			✓	✓		
Cálculo del Dominio de la Frecuencia		✓	✓		✓	
Cálculo del Dominio del Tiempo con Transitorios Estándar (Doble Exponencial, Pulso o Heidler)				✓		
Cálculo de Dominio del Tiempo con Transitorios Arbitrarios o Grabados (Copiados de Archivos EXCEL®)				✓		
Efectos Corona (Pérdidas de Potencia e Interferencias de Radiofrecuencias)			✓			
Sistemas Multiconductor y Multi-fases					✓	
Líneas Aéreas / Cables Aéreos y Subterráneos de un Solo Núcleo y Multinúcleo					✓	
Volumen Protegido en 3D Completo Calculado Mediante el Método de la Esfera Rodante						✓
Área de Recolección Calculada Mediante el Método Eriksson						✓

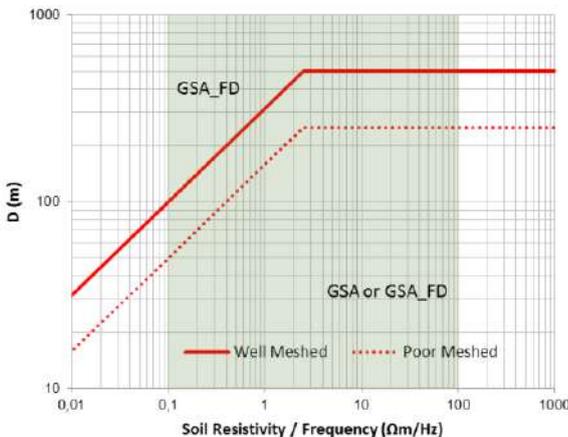


### COMPARANDO GSA CON GSA\_FD

En la siguiente tabla se resumen los principales supuestos en los que se basan los módulos GSA y GSA\_FD.

Aspectos a tener en cuenta	GSA	GSA_FD
Acoplamiento resistivo	Sí	Sí
Acoplamiento capacitivo	No	Sí
Impedancia propia	No	Sí
Impedancia mutua	No	Sí
Parámetros de suelo	$\rho$	$\rho, \epsilon = f(\omega)$
Ley de propagación	$1/r$	$e^{-\gamma r}$

El siguiente diagrama representa el dominio de aplicación de los dos módulos. El área central resaltada indica la condición habitual a la frecuencia nominal del sistema. El diagrama se ha obtenido a partir de un análisis paramétrico utilizando redes cuadradas de cobre bien enmalladas energizadas con una corriente inyectada en una esquina. Los parámetros analizados fueron la diagonal de la red "D", la resistividad del suelo y la frecuencia. En su dominio de aplicación según lo definido por la línea sólida roja, el error cometido por GSA en el cálculo de GPR y voltajes de contacto es inferior a aproximadamente el 10%.



Dominio de aplicación de GSA y GSA\_FD (Escala logarítmica).

En la práctica, en el caso de redes bien enmalladas, los límites de aplicación de GSA se pueden definir en función de la longitud de onda del campo electromagnético en la tierra de la siguiente manera:

$$\lambda = 3162 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

donde  $\lambda$  (m) = longitud de onda,  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) = resistividad de tierra and  $f$  (Hz) = frecuencia.

El diagrama anterior indica que GSA se puede utilizar si " $D < \lambda/10$ ".

GSA también requiere " $D < 500$  m" como límite razonable.

Los límites de aplicación serán más bajos si la forma de la red no es regular, si el reticulado es escaso y si la red está hecha de acero u otro metal de alta resistividad. En todos estos casos, se debe considerar el límite relacionado con las redes poco enmalladas definidas por la línea discontinua roja.

Las siguientes tres figuras muestran la distribución del potencial de la superficie terrestre calculada aplicando GSA y GSA\_FD a una red de 100 m x 100 m con la misma corriente inyectada, la misma frecuencia (50 Hz), el mismo punto de inyección (marcado con flecha) y el mismo modelo de suelo.

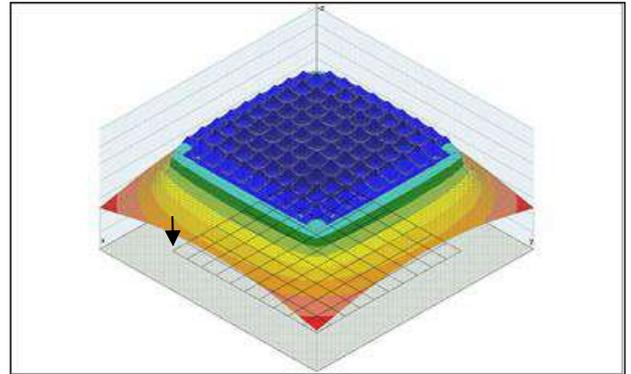
La diferencia cualitativa entre los resultados es evidente. GPR e impedancia a la tierra tienden a crecer si se tienen en cuenta la impedancia propia y la impedancia mutua. La alta frecuencia o la baja resistividad del suelo pueden hacer que esta diferencia sea aún más evidente.

Por supuesto, una diferencia en la distribución del potencial de la superficie terrestre corresponde a una diferencia en la distribución del voltaje de contacto y el voltaje de paso.

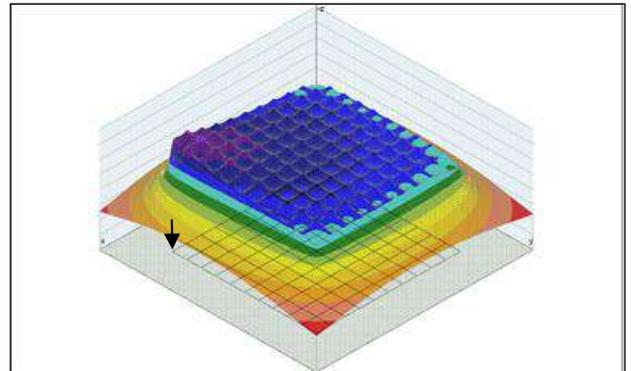
En resumen, en el análisis del sistema de puesta a tierra a frecuencia nominal, GSA se puede utilizar en muchas situaciones prácticas, pero tiende a subestimar los resultados si el tamaño de la red es superior a una décima parte de la longitud de onda del campo electromagnético, mientras que GSA\_FD puede aplicarse en todas las condiciones.

A alta frecuencia, GSA se puede aplicar solo a redes con un tamaño máximo de aproximadamente algunas decenas de metros. En general, se debe usar GSA\_FD para altas frecuencias.

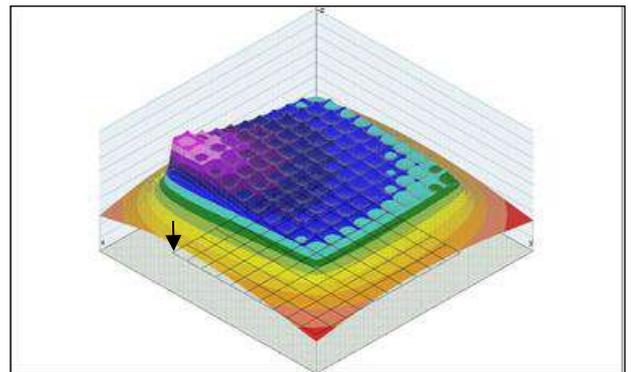
En el análisis de interferencias electromagnéticas, GSA y GSA\_FD se pueden usar respectivamente solo para la evaluación de acoplamiento resistivo y resistivo + capacitivo + inductivo.



Distribución superficial de potencial de tierra - GSA (condición equipotencial).



Distribución superficial potencial de tierra - GSA\_FD (solo impedancias propias).



Distribución superficial potencial de tierra - GSA\_FD (impedancias propias y mutuas).

Después de estas conclusiones podría surgir una pregunta: ¿por qué no solo GSA\_FD? La respuesta es simple pero no trivial.

GSA requiere una entrada de datos más simple, acepta diseños aproximados, es más barato y más rápido que GSA\_FD y requiere menos recursos informáticos.

GSA\_FD requiere información adicional sobre la topología del sistema de conductores para calcular sus impedancias propias y mutuas y un diseño bien terminado.

Además, GSA\_FD requiere más experiencia en la evaluación de resultados.

Si GSA no se puede utilizar, GSA\_FD es la solución correcta.



## COMPARANDO XGSA\_FD CON XGSA\_TD

XGSA\_FD se basa en el mismo modelo de GSA\_FD pero se extiende a los conductores aéreos. Los límites de aplicación de XGSA\_FD se pueden asumir desde CC hasta aproximadamente 100 MHz. XGSA\_FD amplía enormemente el campo de aplicación de XGS y lo convierte en un verdadero laboratorio para aplicaciones de ingeniería y para investigación.

XGSA\_FD es una herramienta irremplazable cuando los conductores están en parte por encima y en parte bajo tierra. Esta situación es habitual en la evaluación de campos electromagnéticos (donde las fuentes pueden ser cables subterráneos o cables aéreos) o el análisis de interferencias (donde a menudo el inductor está por encima y el inducido es subterráneo).

De todos modos, XGSA\_FD opera a una sola frecuencia.

XGSA\_TD puede calcular la respuesta en el dominio del tiempo de una red de conductores energizada con un transitorio de corriente o voltaje.

Como se sabe, los métodos para calcular el comportamiento transitorio de la red de conductores en el dominio del tiempo se pueden dividir en dos categorías principales: los basados en el cálculo de la solución directamente en el dominio del tiempo y los basados en cálculos del dominio de la frecuencia y luego utilizando las transformadas de Fourier forward e inverse.

Los métodos de la primera categoría requieren aproximaciones cuasiestáticas y de baja frecuencia y, además, no permiten considerar las características dependientes de la frecuencia del sistema de puesta a tierra.

Los métodos de la segunda categoría utilizan un enfoque de campo electromagnético para el cálculo de la respuesta del sistema de puesta a tierra en un amplio rango de frecuencias y tienen una buena precisión porque se basan estrictamente en los principios del electromagnetismo. Por otro lado, en estos métodos, se debe resolver un sistema de ecuaciones para cada frecuencia particular, y se elige un gran número de puntos de frecuencia discretos sobre la banda de frecuencia para satisfacer el teorema de muestreo de frecuencia.

XGSA\_TD se basa en los métodos de segunda categoría y utiliza XGSA\_FD como solucionador en el dominio de la frecuencia. Entonces los límites de aplicación de XGSA\_TD pueden asumirse como los mismos de XGSA\_FD y, en particular, el ancho de banda máximo del transitorio de entrada debe ser inferior a 100 MHz.

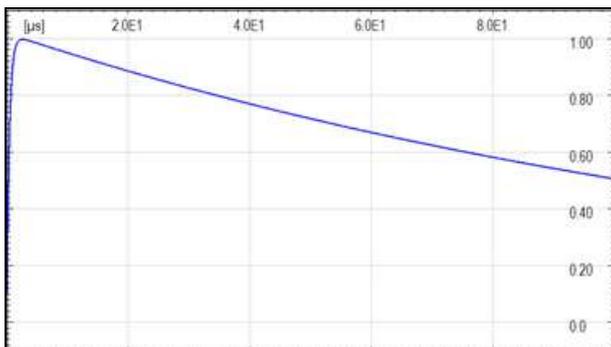
Esto significa que XGSA\_TD puede considerar la entrada transitoria como transitorios de conmutación, corrientes de rayo estándar y también transitorios de falla en SIG.

La simulación de relámpagos representa la aplicación más típica de XGSA\_TD.

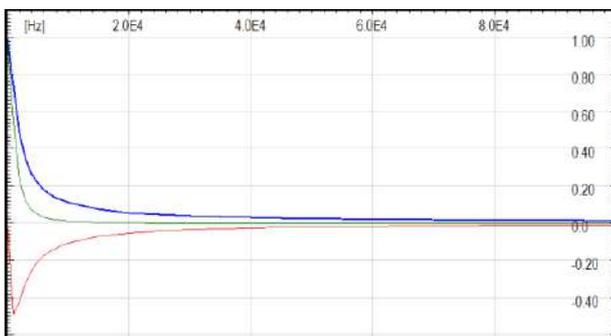
La corriente del relámpago se puede simular utilizando la forma estándar de onda corta IEC 62305: primer positivo; primer negativo; negativo posterior.

Con la transformada directa de Fourier, el transitorio de entrada del dominio del tiempo se descompone en el dominio de la frecuencia.

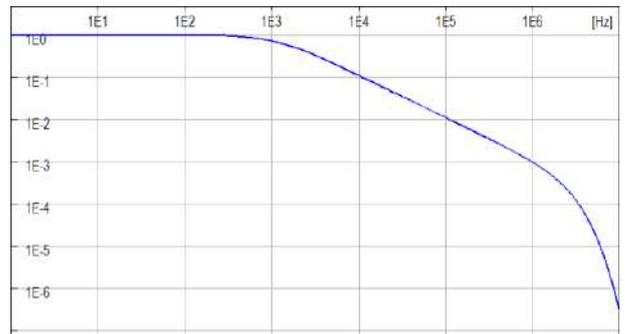
En las siguientes figuras, la forma de onda normalizada de la corriente de rayo estándar negativa posterior y su espectro de frecuencia normalizado. El espectro puede descuidarse cuando los valores normalizados son inferiores a aproximadamente 10<sup>-3</sup> - 10<sup>-4</sup>. El ancho de banda de rayo estándar es inferior a unos pocos MHz también para el rayo más rápido, las negativas posteriores.



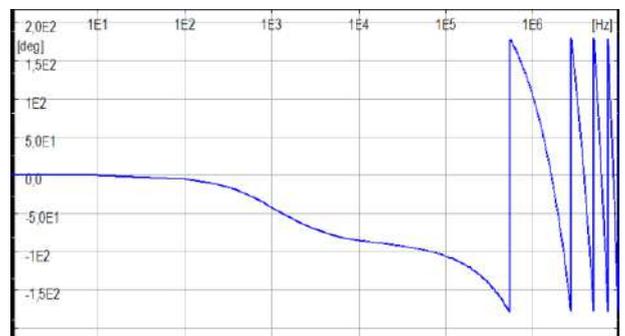
Rayo estándar negativo posterior normalizado (Escala lineal)



Espectro de frecuencia normalizado – Magnitud, partes real e imaginaria (Escala lineal)



Espectro de frecuencia normalizado – Magnitud (Escala logarítmica)



Espectro de frecuencia normalizado – Argumento (Escala lineal logarítmica)

Después del cálculo en el dominio de frecuencia (teniendo en cuenta un número adecuado de frecuencias representativas para limitar el tiempo de cálculo), la respuesta en el dominio de tiempo se obtiene con interpolación de resultados y la transformada de Fourier inversa.

La evaluación de los efectos de los rayos es importante en muchas aplicaciones prácticas.

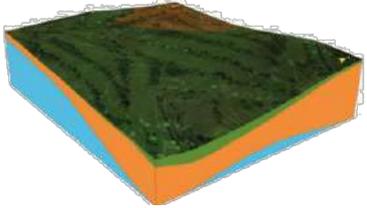
Por ejemplo, la corriente generada por un rayo fluye en los conductores de LPS y se disipa en el suelo. El campo eléctrico y magnético generado por tales altos voltajes y corrientes pueden causar descargas internas, incendios y explosiones, puede causar daños en equipos y edificios y puede ser peligroso para las personas.

En conclusión, XGSA\_TD utiliza XGSA\_FD como motor de cálculo y transformaciones de Fourier para pasar del dominio del tiempo al de la frecuencia y viceversa.



## MODELOS DE SUELO UNIFORMES, MULTICAPA Y MULTIZONA

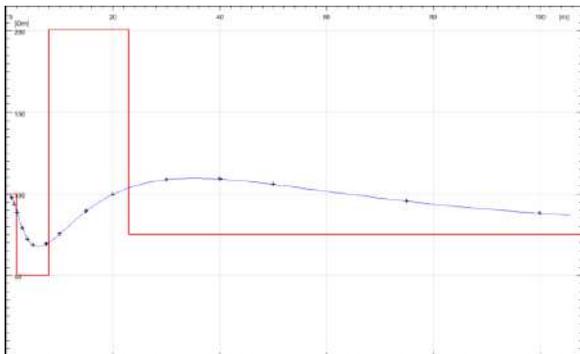
La elección del modelo de suelo es crucial en las simulaciones electromagnéticas de sistemas cercanos a la superficie del suelo y, en particular, en el análisis de sistemas de puesta a tierra. Existe mucha literatura sobre los criterios para establecer un modelo de suelo apropiado que se puede utilizar para predecir el comportamiento de un sistema de puesta a tierra. XGS permite utilizar modelos de suelo uniformes, multicapa y multizona.



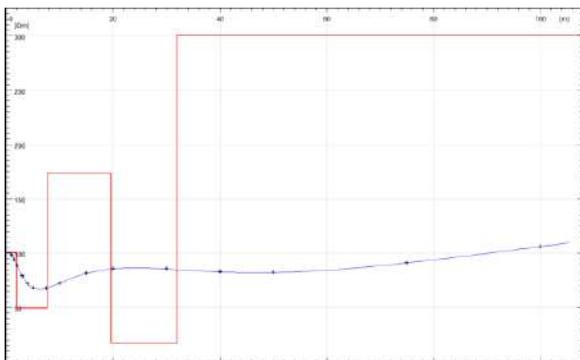
Una sección transversal típica del suelo que incluye agua subterránea.

Un modelo de suelo uniforme debe utilizarse solo cuando hay una variación moderada en la resistividad aparente medida tanto en dirección vertical como horizontal, pero, para la mayoría de los suelos, esta suposición no es válida. También se puede utilizar un modelo de suelo uniforme a alta frecuencia porque en ese caso, el efecto piel limita la profundidad de penetración del campo electromagnético a unos pocos metros y, por lo tanto, la resistividad del suelo de las capas de profundidad no afecta los resultados. La estructura del suelo en general cambia tanto en dirección vertical como horizontal y la presencia de agua subterránea complica aún más las cosas. Los cambios verticales suelen ser predominantes en comparación con los horizontales, pero sobre este aspecto, es fundamental tener en cuenta también el tamaño del sistema de puesta a tierra.

En el caso de sistemas de puesta a tierra pequeños (tamaño máximo de hasta unos pocos cientos de metros), el modelo de suelo no se ve afectado significativamente por los cambios horizontales en la resistividad del suelo y, por lo general, es apropiado un modelo de suelo multicapa. El número de capas depende de las variaciones de resistividad del suelo en dirección vertical y tres, cuatro o cinco capas pueden ser suficientes para la mayoría de los casos. En algún momento, para considerar los efectos estacionales en el modelo de suelo como el suelo congelado, puede ser necesario un mayor número de capas. Por esta razón, XGS permite considerar hasta 20 capas.



Evaluación de parámetros para un modelo de suelo de cuatro capas (escala lineal).



Evaluación de parámetros para un modelo de suelo de cinco capas (Escala lineal).

En el caso de sistemas de puesta a tierra de tamaño intermedio, el modelo de suelo se ve afectado por cambios horizontales y verticales en la resistividad del suelo y, por lo general, es apropiado un modelo de suelo de doble o triple capa equivalente. Este es el caso más importante en aplicaciones prácticas.

En el caso de grandes sistemas de puesta a tierra (tamaño máximo en unos pocos kilómetros), el modelo de suelo se ve afectado significativamente por cambios horizontales en la resistividad del suelo y, por lo general, es apropiado un modelo de suelo multizona. El número de zonas depende del tamaño del sistema y de las variaciones de resistividad del suelo en dirección horizontal.

## LA REACCIÓN DE LA TIERRA

La tierra reacciona a los campos electromagnéticos de CA.

La solución exacta de este problema fue encontrada por Sommerfeld e involucra integrales (conocidas como integrales de Sommerfeld) que representan la solución de las ecuaciones de Maxwell relacionadas con elementos de corriente horizontal o vertical infinitesimales que irradian en presencia de un medio espacio con pérdida. Las integrales de Sommerfeld tienen en cuenta las condiciones de contorno en los componentes tangenciales de los campos electromagnéticos en la interfaz del medio espacio. Estas integrales generalmente no se pueden resolver en forma cerrada y en general son bastante difíciles de calcular también con un enfoque numérico porque contienen funciones de Bessel muy oscilantes.

La reacción de la tierra a los campos electromagnéticos de CA crece con la frecuencia y la conductividad del suelo y es diferente para fuentes enterradas o aéreas horizontales y verticales. Para mostrar la reacción de la tierra de una manera efectiva, a continuación, se representa la sección transversal del campo magnético que cierra una fuente horizontal o vertical sobre o por encima de la superficie del suelo.

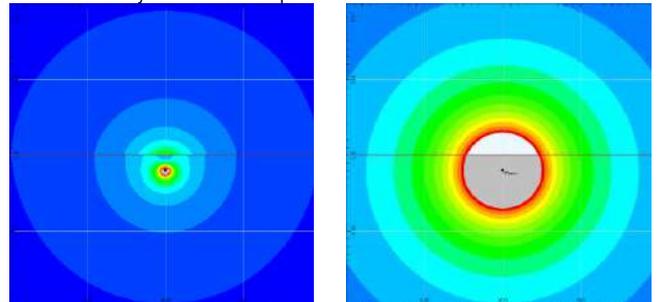
En condición de DC, no hay reacción de la tierra.

A baja frecuencia, la reacción de la tierra es insignificante para las fuentes horizontales, pero significativa para las fuentes verticales.

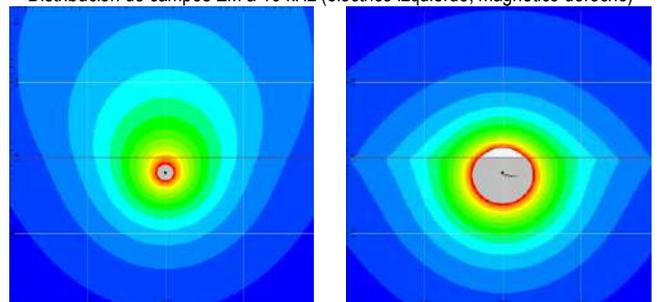
A alta frecuencia, la reacción de la tierra se vuelve siempre relevante y la tierra actúa como un espejo para el campo magnético. Con las fuentes verticales esto sucede también a una frecuencia relativamente baja.

Lejos de la fuente, la reacción de la tierra es significativa también a baja frecuencia.

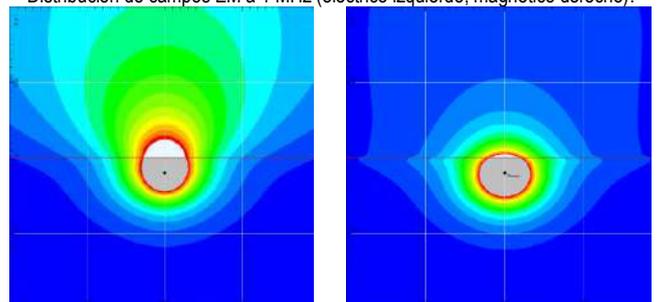
Las siguientes figuras muestran las distribuciones de campos eléctricos y magnéticos relacionadas con una línea aérea única y larga a diferentes frecuencias. El área de cálculo es vertical y a través de la superficie del suelo.



Distribución de campos EM a 10 kHz (eléctrico izquierdo, magnético derecho)



Distribución de campos EM a 1 MHz (eléctrico izquierdo, magnético derecho).



Distribución campos EM a 10 MHz (eléctrico izquierdo, magnético derecho).



## LOS GRANDES PENSADORES

Los módulos GSA, GSA\_FD, XGSA\_FD y XGSA\_TD se basan en ecuaciones de Maxwell, funciones de Green e integrales de Sommerfeld.

El módulo NETS se basa en las leyes de Kirchhoff.

El módulo SHIELD se basa en los métodos de Esfera Rodante y Eriksson y en un modelo numérico.

El módulo SHIELD\_A se basa en el método de Esfera Rodante y un modelo analítico.

La mayoría de la gente sabe que los campos electromagnéticos se rigen por un conjunto de leyes experimentales conocidas como ecuaciones de Maxwell y los circuitos se rigen por las leyes de Kirchhoff. Por otro lado, no mucha gente conoce los estudios fundamentales realizados por Green y Sommerfeld, sobre las transformadas de Fourier, y sobre el descubrimiento realizado por G. Ferraris.

G. Green estudió la solución de ecuaciones diferenciales no homogéneas y las llamadas funciones de Green son soluciones fundamentales de estas ecuaciones que satisfacen condiciones de contorno homogéneas. Por ejemplo, las funciones de Green se pueden usar como soluciones de la ecuación de Laplace que gobierna el potencial escalar en un medio de propagación uniforme o estratificado en condiciones cuasiestáticas. XGS utiliza las funciones Green para el cálculo del potencial escalar en el modelo de suelo multicapa.

A.J.W. Sommerfeld estudió la reacción de la Tierra al campo electromagnético y las soluciones rigurosas del problema del medio espacio se conocen como integrales de Sommerfeld. XGS implementa las integrales de Sommerfeld para el cálculo del potencial vectorial de dipolos eléctricos horizontales o verticales.

Sin los estudios de Green y Sommerfeld no habría sido posible desarrollar XGS.

Además, el cálculo en el dominio del tiempo fue posible mediante el uso de las transformadas de Fourier. Las transformadas de Fourier permiten moverse desde el dominio del tiempo y viceversa.

G. Ferraris fue uno de los pioneros de los sistemas de alimentación de CA e inventor de los sistemas polifásicos de transmisión de potencia, motor de inducción y alternador, algunos de los mayores inventos de todos los tiempos.

También es importante estar agradecido a los científicos e ingenieros que han trabajado en este campo de investigación como por ejemplo J.R. Carson (1886), S.A. Schelkunoff (1897), J.R. Wait (1924) y E.D. Sunde (1927).

Por supuesto, XGS se basa en los trabajos de otros científicos y matemáticos como por ejemplo I. Newton (1643), L. Euler (1707) y J.F.C. Gauss (1777) y muchos otros que en tiempos más recientes han mejorado la computación científica.



Jean-Baptiste Joseph Fourier  
(Auxerre 1768 – Paris 1830)



George Green  
(Nottingham 1793 – Nottingham 1841)



Gustav Robert Kirchhoff  
(Konigsberg 1824 – Berlin 1887)



James Clerk Maxwell  
(Edinburgh 1831 – Cambridge 1879)



Galileo Ferraris  
(Livorno 1847 – Torino 1897)



Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld  
(Konigsberg 1868 – Munich 1951)



John Renshaw Carson  
(Pittsburgh 1886 – New Hope 1940)



Sergei Alexander Schelkunoff  
(Samara 1887 – Hightstown 1992)