

## Introducción

Los sistemas de tomas de tierra son los elementos de una instalación eléctrica que tienen la finalidad de unir eléctricamente la instalación con el terreno. Sus objetivos principales son garantizar la seguridad de las personas, la protección de los equipos y garantizar la continuidad del suministro eléctrico, ante posibles situaciones de fallo de las subestaciones eléctricas.



## Modelo Numérico

Para el desarrollo de este trabajo, los autores han modelado el fenómeno físico de la disipación en el terreno de las corrientes de fallo por medio de la teoría del electromagnetismo de Maxwell. Dando lugar al siguiente problema:

$$\text{div}(\sigma) = 0, \quad \sigma = -\gamma \text{grad}(V) \text{ in } E;$$

$$\sigma^t n_E = 0 \text{ in } \Gamma_E; \quad V = V_T \text{ in } \Gamma; \quad V \rightarrow 0, \text{ if } |x| \rightarrow \infty$$

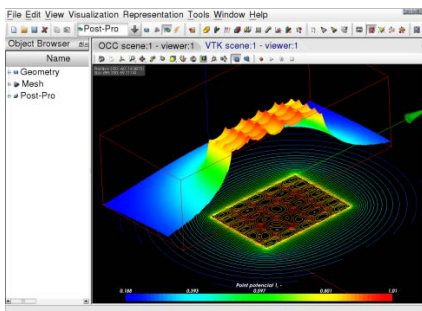
Para su resolución se han empleado técnicas numéricas basadas en el método de los elementos de contorno (BEM).

$$V_1(x_1) = \frac{1}{4\pi\gamma_b} \int \int_{\xi \in \Gamma} k_{b1}(x_1, \xi) \sigma(\xi) d\Gamma, \quad \forall x_1 \in \Gamma_E$$

Estas formulaciones, en principio desarrolladas para el análisis de la disipación de corriente en suelos uniformes, han sido extendidas a modelos de terreno heterogéneo, estudios de potenciales transferidos y a los sistemas de tierra de las subestaciones enterradas.

## TOTBEM

TOTBEM es un sistema de diseño asistido por ordenador para el análisis de tomas de tierra implementado en la aplicación freeware SALOME. TOTBEM incluye las etapas de preproceso, cálculo y postproceso necesarias para completar el análisis de estos sistemas de seguridad. El núcleo de TOTBEM está formado por la formulación numérica basada en el método BEM para suelos uniformes y estratificados.



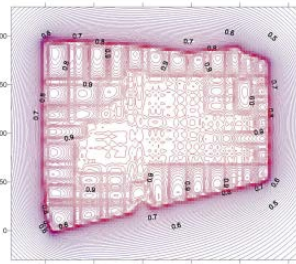
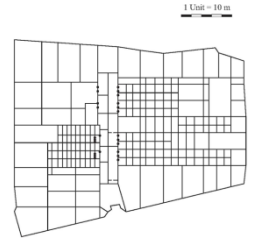
## Autores

I. Colominas (UDC) J. París (UDC)  
F. Navarrina (UDC) X. Nogueira (UDC)  
M. Casteleiro (UDC) R. Guizán (UDC)

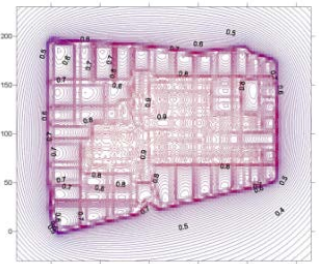
## Resultados

- Análisis de los sistemas de protección en modelos de terreno de una y dos capas.

Data	
Number of electrodes:	534
Number of ground rods:	24
Diameter of electrodes:	11.28 mm
Diameter of ground rods:	15.00 mm
Depth of the grid:	0.75 m
Length of ground rods:	4 m
Max. dimensions of grid:	230x195 m <sup>2</sup>
GPR:	10 kV
BEM Numerical Model	
Type of approach:	Galerkin
Type of ID element:	Linear
Number of elements:	582
Degrees of freedom:	386
One layer soil model	
Earth resistivity:	60 Ohm·m
Total current:	6.73 kA
Equivalent resistance:	0.149 Ohm
Two layer soil model	
Upper layer resistivity:	200 Ohm·m
Lower layer resistivity:	60 Ohm·m
Thickness upper layer:	1.2 m
Total current:	5.61 kA
Equivalent resistance:	0.178 Ohm



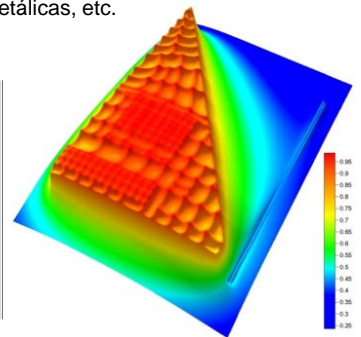
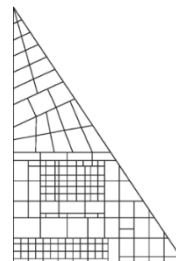
Modelo de una capa



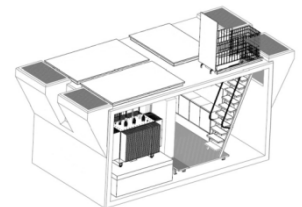
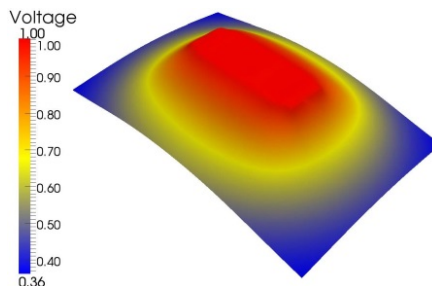
Modelo de dos capas

- Estudio de potenciales transferidos: La transferencia de potenciales es un fenómeno por el cual una fracción del potencial derivado a las tomas de tierra en una situación de fallo aparece en otro sitio donde no debería existir. Esta transferencia se realiza por medio de conductores enterrados o semienterrados, como railes, tuberías, vallas metálicas, etc.

Data	
Number of electrodes:	408
Diameter of electrodes:	12.85 mm
Max./Min. Electrode Length:	19 m/3 m
Depth of the grid:	0.80 m
Max. dimensions of grid:	145x90 m <sup>2</sup>
Total Protected surface:	6500 m <sup>2</sup>
GPR:	10 kV
Railway Tracks Characteristics	
Number of tracks:	2
Length of the tracks:	130 m
Distance between the tracks:	1668 mm
Diameter of the tracks:	94 mm
Depth:	0.10 m
BEM Numerical Model	
Type of approach:	Galerkin
Type of ID element:	Linear
Number of elements:	408
Degrees of freedom:	260
One layer soil model	
Earth resistivity:	50 Ohm·m
Earth Current:	3828 kA
Equivalent resistance:	0.2613 Ohm
Ratio of Transferred Potentials	
X:	42.33%



- Una aplicación interesante es el análisis de tomas de tierra de las subestaciones enterradas ubicadas en ámbitos urbanos, donde el modelo numérico desarrollado se aplica a la simulación de la disipación de corriente eléctrica en suelos con volúmenes finitos de diferentes conductividades.



## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por las siguientes entidades: Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España con el Proyecto DPI2010-16496. Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria da Xunta de Galicia, GRC2014/039.