

# EFECTO PALANCA EN LA DISTRIBUCIÓN DE POTENCIALES ELÉCTRICOS TRIDIMENSIONALES EN TERRENOS HETEROGÉNEOS

Joaquín Niclós Ferragut <sup>(1)</sup>, Armando Soler Botella <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dr. Ingeniero Industrial  
Plaza del Ayuntamiento, 9, 4º, 16ª  
46002- VALENCIA  
niclos\_joa@gva.es

<sup>(2)</sup> Dr. Ingeniero Industrial  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
Avda l' Alameda 43-c  
03800 – ALCOY (ALICANTE)  
asoler@die.upv.es

## Resumen

La adecuada obtención de potenciales eléctricos tridimensionales es fundamental para asegurar la eficacia de los sistemas de puesta a tierra, para que produzcan en caso de defecto, una distribución de tensiones en la superficie del terreno (paso y contacto), que no sean peligrosas para el conjunto de los seres vivos.

Esta determinación se complica cuando la naturaleza del terreno no es homogénea, sus características geométricas se diferencian y cuando se presentan determinadas singularidades.

En esta comunicación se plantea un análisis de las discrepancias que surgen al utilizar un modelo matemático aproximado que representa un terreno de cualquier naturaleza y que se ha desarrollado en anteriores Congresos, método denominado del CALC\_POTENCIAL.

**Palabras llave:** Distribución de tensiones, Calc\_potencial, Tensiones de paso, Tensiones de contacto.

## 1. Introducción

El cálculo de la distribución de tensiones en un terreno se deduce analíticamente mediante la resolución de la ecuación de Laplace, en

coordenadas cartesianas, siempre que la distribución de tensiones se deba al flujo de intensidad existente en el mismo, como es el caso de un defecto a tierra.

El modelo aplicado consiste en dividir el terreno en mallas cúbicas de dimensión unitaria según se indica en la FIGURA 1, y mediante diferencias finitas se obtiene la siguiente expresión:

$$U_{i,j,k} = (u_{i+1,j,k} + u_{i-1,j,k} + u_{i,j+1,k} + u_{i,j-1,k} + u_{i,j,k+1} + u_{i,j,k-1})/6 \quad (1)$$

la expresión anterior [1], viene modificada cuando se consideran las características propias del terreno a aplicar, para ello se introducen los factores de heterogeneidad

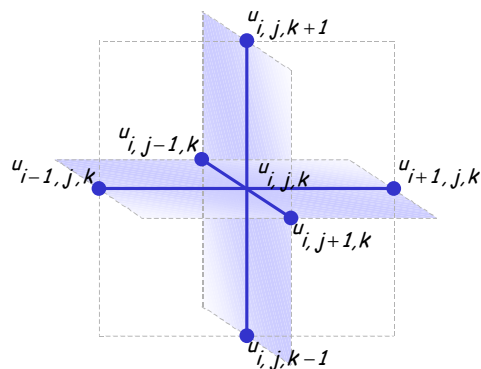


FIGURA 1.- Modelo utilizado

(fi,j,k), que tienen en cuenta su localización

concreta en cada uno de los puntos de los extremos de las mallas consideradas, de tal forma que la ecuación anterior queda modificada, quedando de la siguiente forma:

$$U_{i,j,k} = (f_{i+1,j,k}Xu_{i+1,j,k} + f_{i-1,j,k}Xu_{i-1,j,k} + f_{i,j+1,k}Xu_{i,j+1,k} + f_{i,j-1,k}Xu_{i,j-1,k} + f_{i,j,k+1}Xu_{i,j,k+1} + f_{i,j,k-1}Xu_{i,j,k-1})/6 \quad (2)$$

donde  $f_{i,j,k}$  es un valor comprendido entre 0 y 1, y para todo  $f_{i,j,k} = 1$  tenemos que la ecuación anterior es la aplicable en terrenos totalmente homogéneos (FIGURA 2).

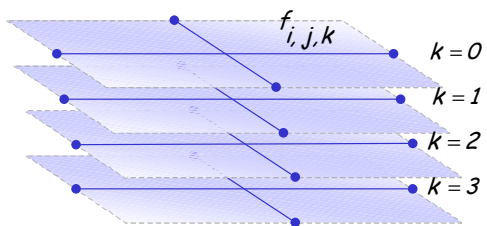


FIGURA 2.- Modelización terreno

## 2.- Procedimiento de cálculo

Con la expresión [2] se puede plantear un programa relativamente sencillo de desarrollar de forma informática, debido a que se recurre a un procedimiento de iteraciones sucesivas, que calcula el valor de cada punto en función de los 6 puntos consecutivos (FIGURA 1), en un proceso que está controlado mediante una instrucción que compara el error actual con el especificado al comienzo del programa y con un contador que limita el número de

iteraciones posibles, ya que en caso contrario, se entraría en un problema de divergencia, sin solución admisible técnicamente.

Con la diferencia entre el valor nuevamente calculado y el de la etapa anterior, se conserva la mayor diferencia de entre todas, para los puntos de cálculo, cuando la diferencia sea menor al error previamente especificado (e) encontramos la solución aproximada del problema, quedando limitado a los puntos de la retícula m-n-o, para todo ello se parte de unas condiciones de contorno en éstos puntos, entre los que se han situado los dispositivos de tierra.

De forma convencional el programa se ha desarrollado en una hoja de cálculo, que contiene 45 hojas internas, de las cuales 3 corresponden a resultados (1 hoja resumen y 2 gráficas), 21 hojas para los factores de localización  $f_{i,j,k}$ , que representan las características propias del terreno y 21 hojas de proceso de cálculo, que representan las diferentes capas del terreno, donde se introducen los dispositivos de tierra a diseñar y se realizan las iteraciones sucesivas  $U_{i,j,k}$ .

En el esquema del proceso de diseño sobre hoja de cálculo se ha aplicado la teoría clásica de los sistemas de Asimow, en el que el proceso iterativo de solución del problema está compuesto por el diseño inicial, la formulación de los datos y factores, la evaluación en función de las condiciones del proceso y de un realimentador (con un motor M.R.) que crea los

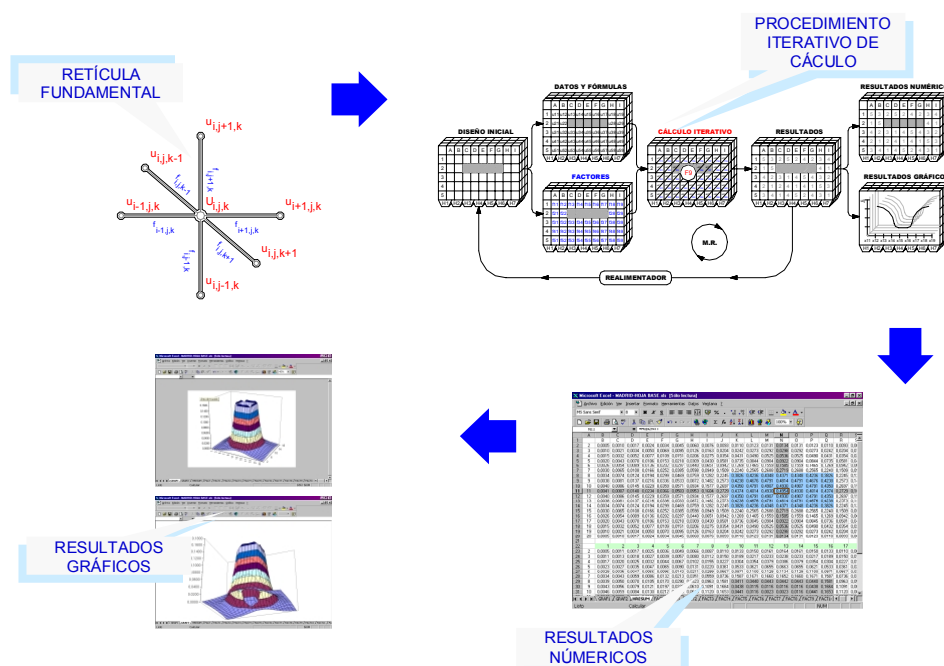


FIGURA 3.- Procedimiento iterativo de cálculo

enlaces entre las distintas operaciones y sus condicionantes, controlando la dirección e intensidad de los flujos de información FIGURA 3).

### 3.- Análisis de discrepancias y conclusiones

Los resultados obtenidos al utilizar diferentes dispositivos permite observar un doble efecto discrepante producido por la utilización de los diferentes factores de heterogeneidad asociados de forma que dependiendo de la situación del dispositivo los valores por encima o por debajo de éste siguen una regla de efecto palanca que parece contradecir la

Como se observa en la FIGURA 4, la simetría del efecto palanca depende de dos factores:

- La profundidad del dispositivo utilizado.
- La heterogeneidad del terreno.

en la misma gráfica se indican los valores numéricos obtenidos (encima, debajo y en el propio dispositivo).

### Referencias

[1] J. Niclós, *Contribución al estudio de la distribución de tensiones eléctricas en la superficie de la Tierra*, 1988, Tesis Doctoral UPV, Valencia.

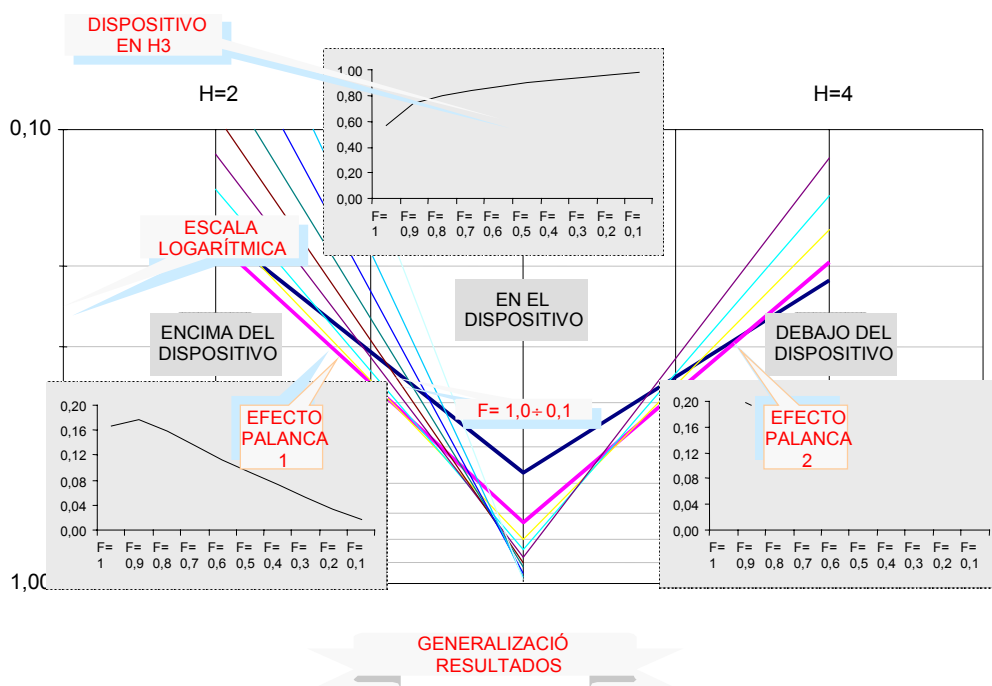


FIGURA 4.- Ejemplo de las discrepancias obtenidas

metodología utilizada, que sin embargo, al analizar detenidamente el proceso desarrollado se puede concluir que el razonamiento utilizado es totalmente correcto al observar la falta de simetría que produce la correcta distribución de potenciales en un medio totalmente heterogéneo.

En la FIGURA 4 se manifiesta este doble efecto palanca característico, que se produce al desarrollar la metodología del CALC\_POTENCIAL en terrenos totalmente heterogéneos, y para ello se han considerado unos factores de heterogeneidad ( $f_{i,j,k}$ ), mediante un problema de distribución multicapa.

[2] J. Niclós, A. Soler, *Determinación de potenciales eléctricos en un terreno por el método de las diferencias finitas*, 1995, Oporto.

[3] J. Niclós, A. Soler, *Obtención simplificada de potenciales eléctricos tridimensionales por el método de las diferencias finitas*, 1999, Lisboa.

[4] J. Niclós, A. Soler, *Potenciales eléctricos tridimensionales en terrenos heterogéneos*, 2001, Madrid.