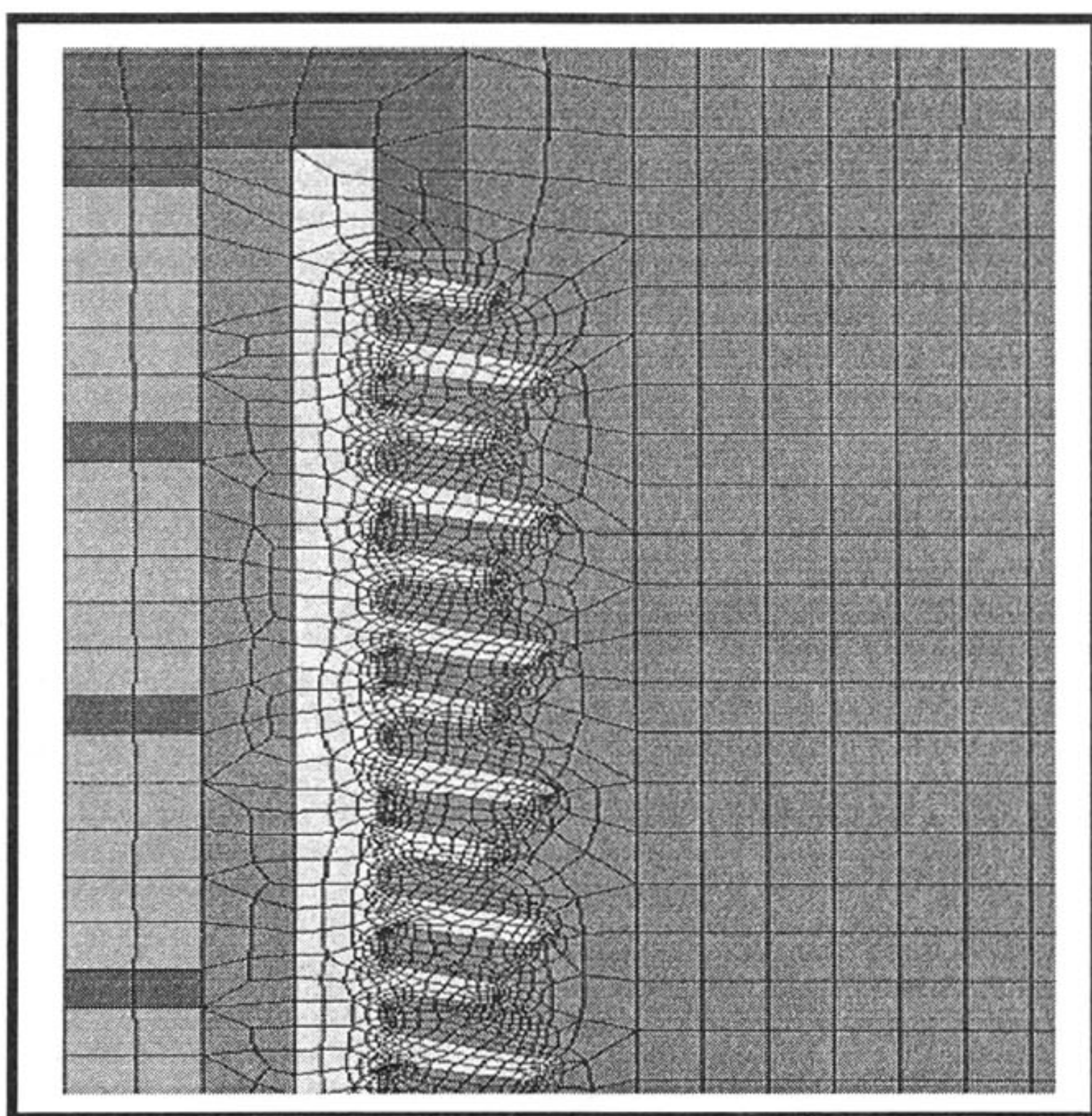


Análisis de Distribución de Voltaje de un Apartarrayos ZnO con Elementos Finitos



RESUMEN

En este trabajo se presenta el cálculo de la distribución de voltaje a lo largo de un Apartarrayos de ZnO mediante el método del elemento finito y las modificaciones requeridas en el apartarrayo mediante un electrodo superior para lograr una distribución uniforme.

PALABRAS CLAVES

Elemento Finito, Distribución de voltaje, Apartarrayos ZnO.

ABSTRACT

In this paper, a voltage distribution calculation along ZnO arrester using a FEM and the required modifications in the surge arrester by using upper electrode to get an axial uniform voltage distribution are presented.

KEYWORDS

Finite Element Method, Voltage Distribution, MOSA.

1. INTRODUCCIÓN

Un buen diseño de apartarrayos de ZnO de alta tensión requiere que la distribución de voltaje longitudinal sea aproximadamente uniforme.

□ **Marcos Moreno B, M.Sc.,**
Profesor y Coordinador
Maestría en Ingeniería de
Sistemas Eléctricos de
Potencia y Alta Tensión
ITESI de Irapuato, Gto.
México.

□ **José Antonio Angmen, Ing.,**
Velcon SA Celaya
Gto Dpto. de Diseño
Mecánico, México.

□ **José Manuel Cañedo, M.Sc.,**
Profesor Investigador
CINVESTAV-IPN
Unidad Guadalajara México.

Este requerimiento se debe a que las pérdidas disipadas en los varistores están directamente relacionadas con el voltaje aplicado. Una distribución de voltaje no uniforme en un apartarrayo de ZnO ocasiona que un voltaje excesivo se aplique en algunos discos produciendo mayores pérdidas eléctricas y, por lo tanto, un aumento de temperatura que en una situación específica podría ocasionar la inestabilidad térmica. La causa de la distribución no uniforme en los apartarrayos son las capacitancias parásitas a tierra las cuales drenan una corriente capacitiva del apartarrayo a tierra. Estas capacitancias están distribuidas a lo largo del apartarrayo. Se deduce que más corriente fluye a través de la parte superior del apartarrayos que a través de la parte inferior. De este modo, la caída de voltaje en por unidad es mayor que la media aplicada a los elementos de apartarrayo cerca de la parte superior y menor que la media en la parte inferior.

Las capacitancias a tierra son una función de la longitud del apartarrayo, la desviación de la media es mayor a medida que la longitud del apartarrayo crece, haciendo el diseño de los apartarrayos de alta tensión más complicado que los de baja tensión. Existen varios medios para corregir este problema tales como la localización y diseño apropiado de los aros equipotenciales.

El diseño y localización del aro equipotencial o electrodo puede hacerse experimentalmente, ensayando diversos diámetros y posiciones hasta lograr una distribución uniforme pero esto consume mucho tiempo y es costoso. Un método alternativo es aplicar el método del elemento finito y determinar la distribución uniforme mediante un número de simulaciones.

2. MODELADO DEL APARTARRAYOS

En este trabajo el interés radica en el análisis de la distribución de potencial eléctrico en los varistores del apartarrayos ante una diferencia de potencial aplicada en los extremos superior e inferior del mismo, la parte inferior se conecta a tierra. Se asume no contaminado y sin cargas eléctricas libres.

El fenómeno de interés se puede formular por la ecuación de Laplace $\nabla^2 V = 0$, definida en un dominio con frontera abierta (potencial eléctrico cero teóricamente en el infinito) y potencial cero en el plano de tierra. Por diseño, los apartarrayos tienen simetría axial respecto del eje z por lo que es conveniente expresar el operador laplaciano en términos de las coordenadas cilíndricas r, θ, z en donde:

$$\frac{\partial V}{\partial \theta} = 0 \quad \text{El laplaciano queda expresado por:}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \epsilon \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \frac{\partial V}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

donde V es el potencial eléctrico en el apartarrayos, sujeto a las restricciones $V=0$ en el plano de tierra y cuando $r \rightarrow \infty$, además, $V = \text{const}$, en el electrodo; ϵ es la permitividad relativa del medio que se compone de aire, cerámica, acero y ZnO.

3. MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO

El sistema de ecuaciones (1) se resuelve empleando el método del elemento finito. Los potenciales eléctricos se aproximan por un modelo discreto compuesto de un conjunto de funciones continuas definidas sobre un número finito de subdominios.

En los electrodos se tienen dos tipos de fronteras:

- Condiciones de frontera para el potencial fijo donde el potencial está especificado, y
- Condiciones de frontera para potencial flotante donde el potencial es desconocido.

Un método de Elemento Finito resuelve el sistema de ecuaciones a partir de la obtención del estado estacionario de la funcional de Laplace. La funcional tiene la forma [1]

$$\mathfrak{S} = \frac{1}{2} \iint \epsilon (\nabla V)^2 d\Omega = \frac{1}{2} \iint_{\Omega} \epsilon (\nabla V)^2 2\pi r dr dz = \quad (1)$$

$$= \iint r \epsilon \left[\left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] 2\pi r dr dz \quad (2)$$

El potencial eléctrico V se expresa por una combinación lineal de funciones de forma

$$\alpha^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n] \quad \text{entonces} \\ V^{(e)} = \alpha^T \phi = \phi^T \alpha \quad (3)$$

donde el vector potencial es dado por

$$\phi^T = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]$$

Sustituyendo (3) en (2), la funcional adquiere la forma

$$\mathfrak{S}(v) = 2\pi \phi^T S \phi \quad (4)$$

donde S es la matriz dada por

$$S = \iint \varepsilon \left[\left(\frac{\partial \alpha}{\partial x} \right)^T \left(\frac{\partial \alpha}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial z} \right)^T \left(\frac{\partial \alpha}{\partial z} \right) \right] dx dz$$

El valor estacionario de la funcional (4) se obtiene igualando a cero la derivada de esta ecuación respecto de los coeficientes ϕ resultando la ecuación $S\phi = 0$. Las funciones de forma α se expresan por polinomios de interpolación, generalmente de Lagrange. Se utilizan funciones de primero hasta de sexto orden, con elementos de geometrías triangulares o rectangulares, para el caso de dos dimensiones.

4. PROGRAMA DE CÓMPUTO

El programa empleado fue AEF ANSYS versión 5.4, [3].

Se describen de manera general las entradas y salidas para el análisis electrostático (el capítulo 9 del manual contiene una descripción detallada de comandos para realizar este tipo de análisis).

Pasos a seguir para realizar el análisis electrostático: a) construir el modelo, b) aplicar cargas c) obtener la solución d) revisar los resultados. El pre-procesamiento incluye construir el modelo, aplicar cargas y obtener la solución. El post-procesamiento contendrá la revisión de los resultados.

Pre-procesamiento

Tipo de análisis: Campos electrostáticos y se asume que su comportamiento es lineal ya que el campo eléctrico es proporcional al voltaje aplicado.

Propiedades del material. Se deben introducir las permitividades de los materiales empleados. La permitividad puede ser dependiente de la temperatura o la frecuencia.

Geometría

El programa ofrece herramientas de modelado con las cuales se puede obtener la geometría, basándose en la generación de puntos, líneas, aéreas y con las áreas utilizar las herramientas para generación de volúmenes si el análisis es tridimensional.

Tipo y tamaño de los elementos

Los elementos que ANSYS ofrece para el análisis son: el elemento de dos dimensiones PLANE 121 que tiene forma de cuadrilátero con 8 nodos, el elemento tridimensional SOLID 122 que tiene forma de ladrillo con veinte nodos, el elemento tridimensional SOLID

123 con forma tetraédrica con diez nodos y cuenta con elementos especiales tal como los ININI que sirven para delimitar el infinito en las fronteras del modelo que así lo requieran.

Mallado

Puede ser libre o manual, se puede manipular el tamaño del elemento y la generación de la malla, se puede tener el mallado localizado y remallado y también cuenta con manipulador inteligente del tamaño del elemento, es posible también revisar el mallado y conocer si existen elementos mal formados.

Condiciones de frontera; ANSYS define este paso como aplicación de cargas, las posibles cargas que se pueden aplicar en análisis electrostático son: voltaje, carga eléctrica, densidad superficial de carga y densidad volumétrica de carga. Se ejecuta en siete pasos:

Paso 1 Entrar al procesador de la solución

Comand: 7solu

GUI: main menu mayor solución.

Paso 2 Definir tipo de análisis: para especificar el tipo de análisis utilice una de las dos opciones «GUI» main menu Mayor Solución mayor New analysis

Command: ANTYPE. Static, NEW.

Paso 3 Definir opciones del análisis GUI: Main Menu mayor Solución mayor Analysis Options.

Paso 4 Aplicar cargas Voltaje.

GUI: MainMenu > Solution > -Loads > Apply > potential Carga eléctrica: GUI.Main Menu> Solution> loads>Apply> charge.

Paso 5: Especificar opciones de paso de carga GUI: Main Menu>Solution>Load Step Options > Output Controls

Paso 6 Guardar un respaldo del archivo

Utilizar el botón SAVE DB

Para recuperar el archivo GUI: Main Menu > File > Resume job name .db

Paso 7 En este paso se inicia la solución:

GUI: Main Menu > Solution > Current LS

Command. SOLVE

Procesamiento se inicia la solución

Post-procesamiento

Los resultados o salidas que se pueden obtener son : Como dato primario los voltajes nodales.

Como datos derivados: el campo eléctrico en nodos y

GUI: Main Menu>General Postproc Command: /POST1

[illegible]

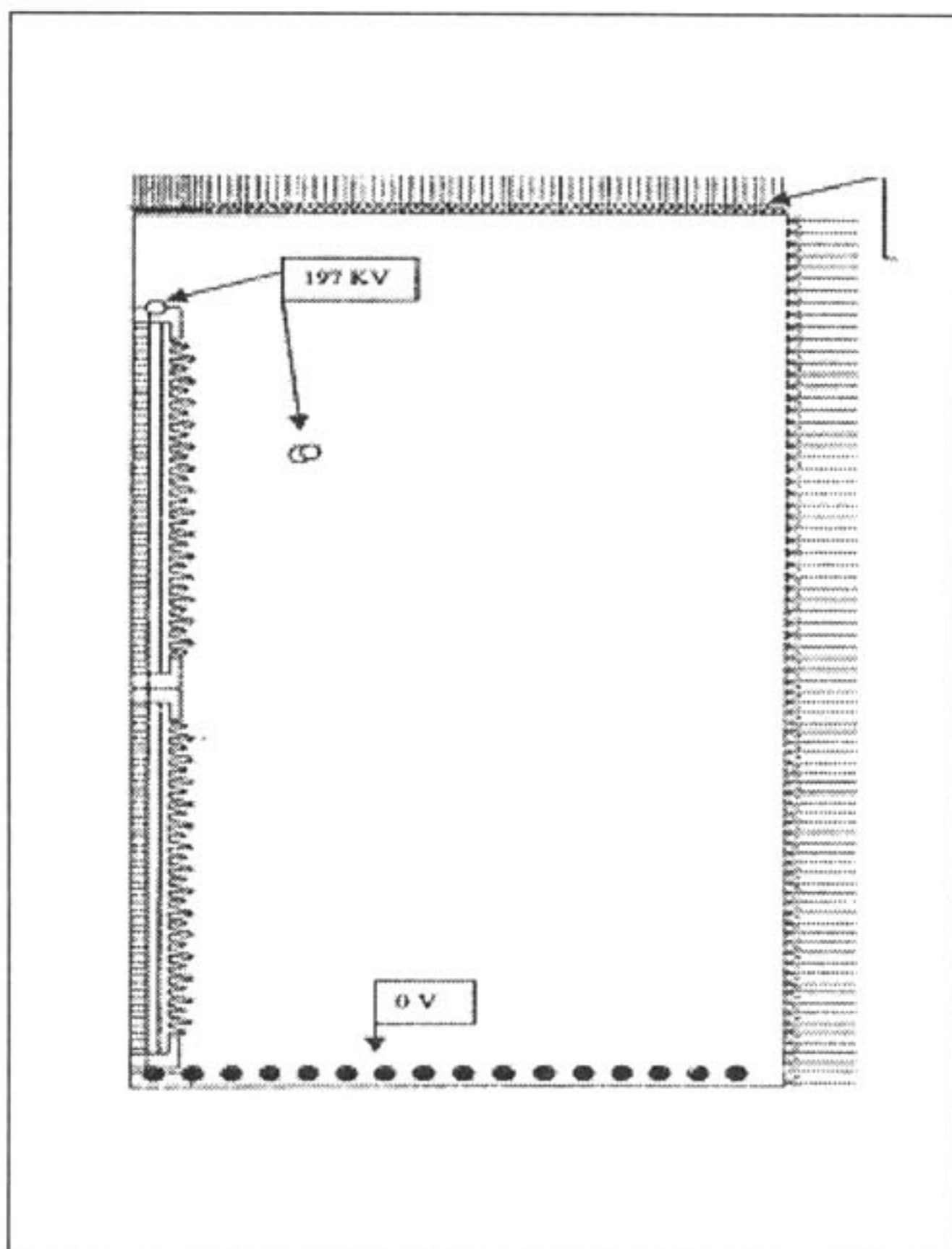


Figura 2. Condiciones de frontera Con electrodo

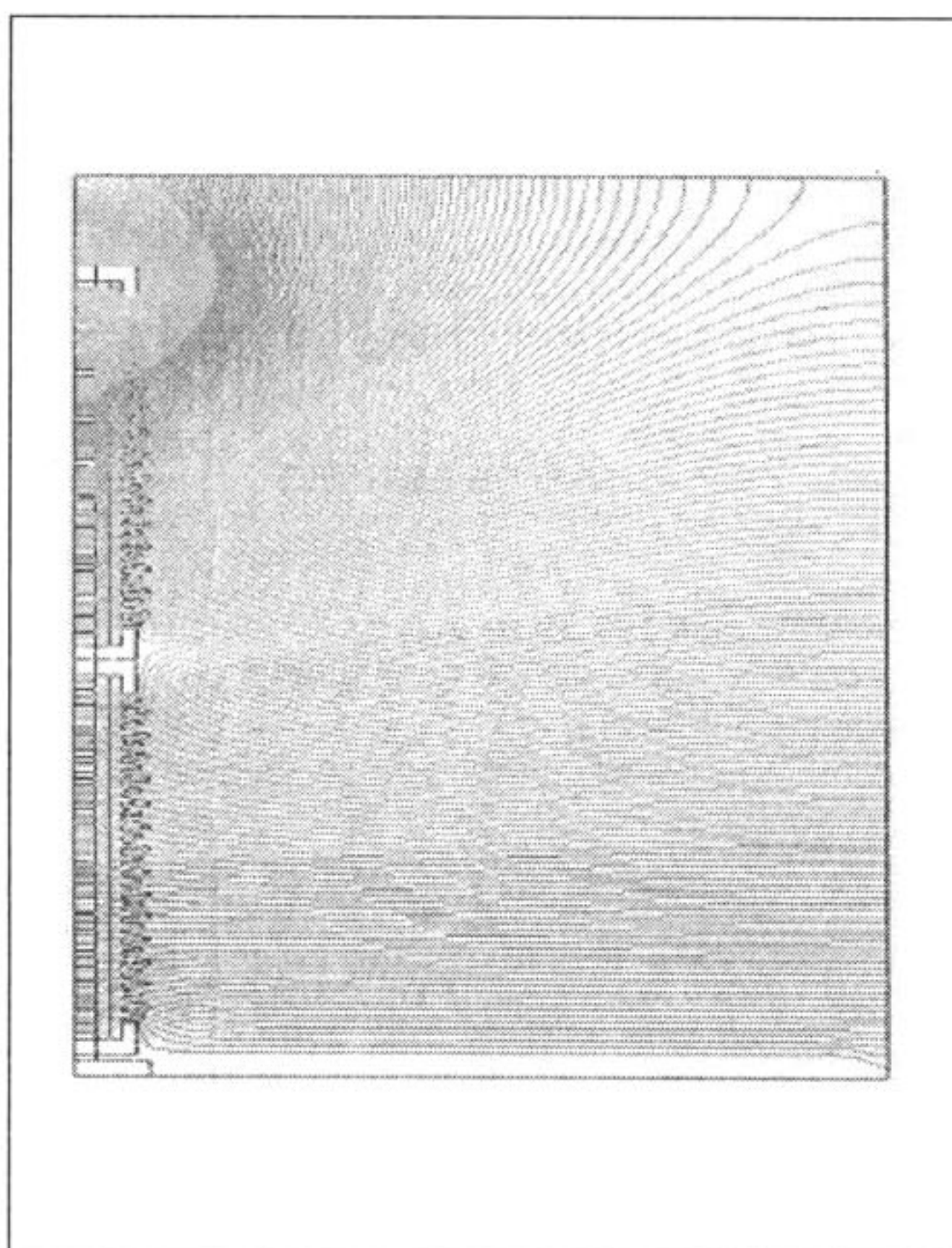


Figura 4. Superficies equipotenciales. Sin electrodo. Líneas equipotenciales en la unidad superior

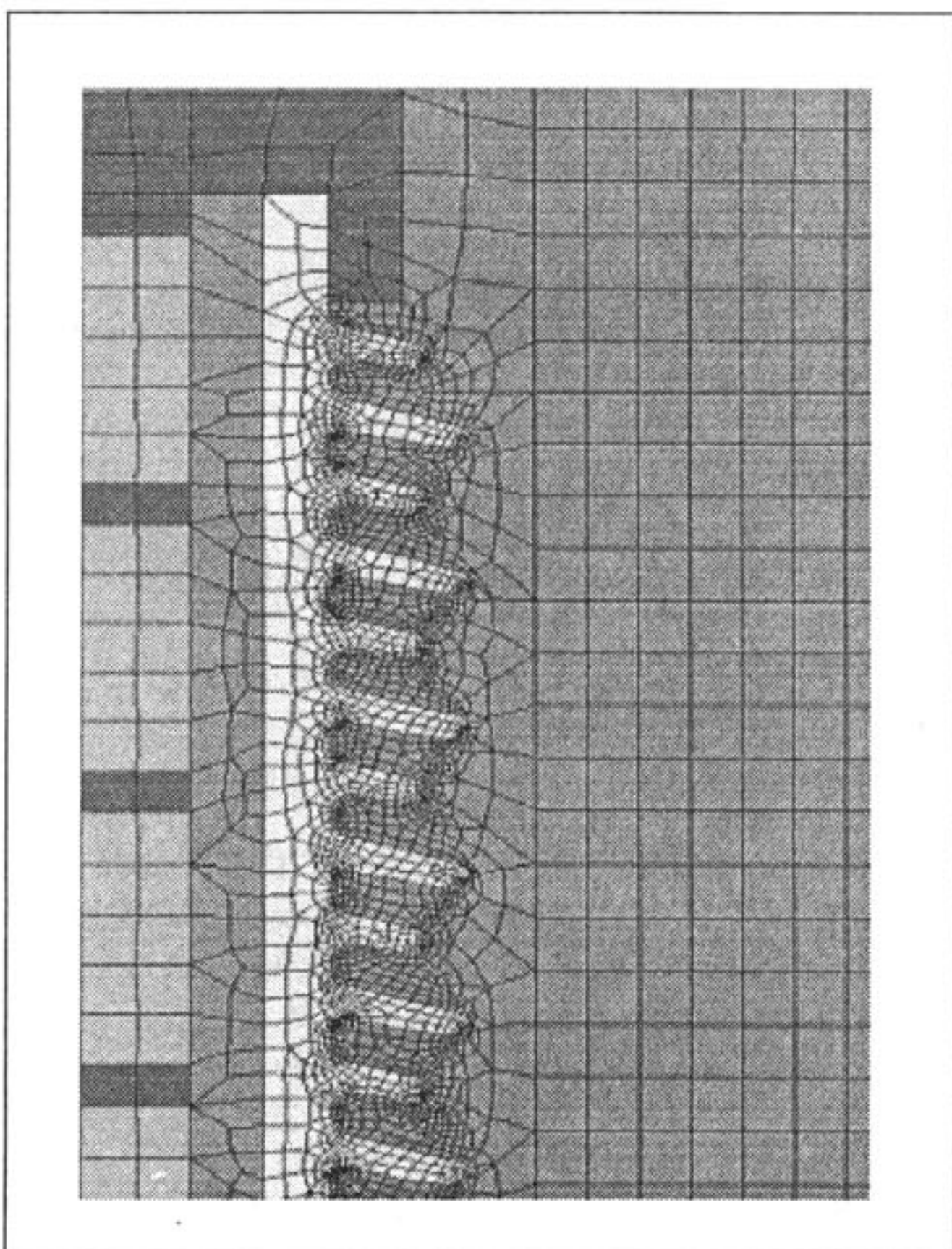


Figura 3. Mallado del apartarrayos

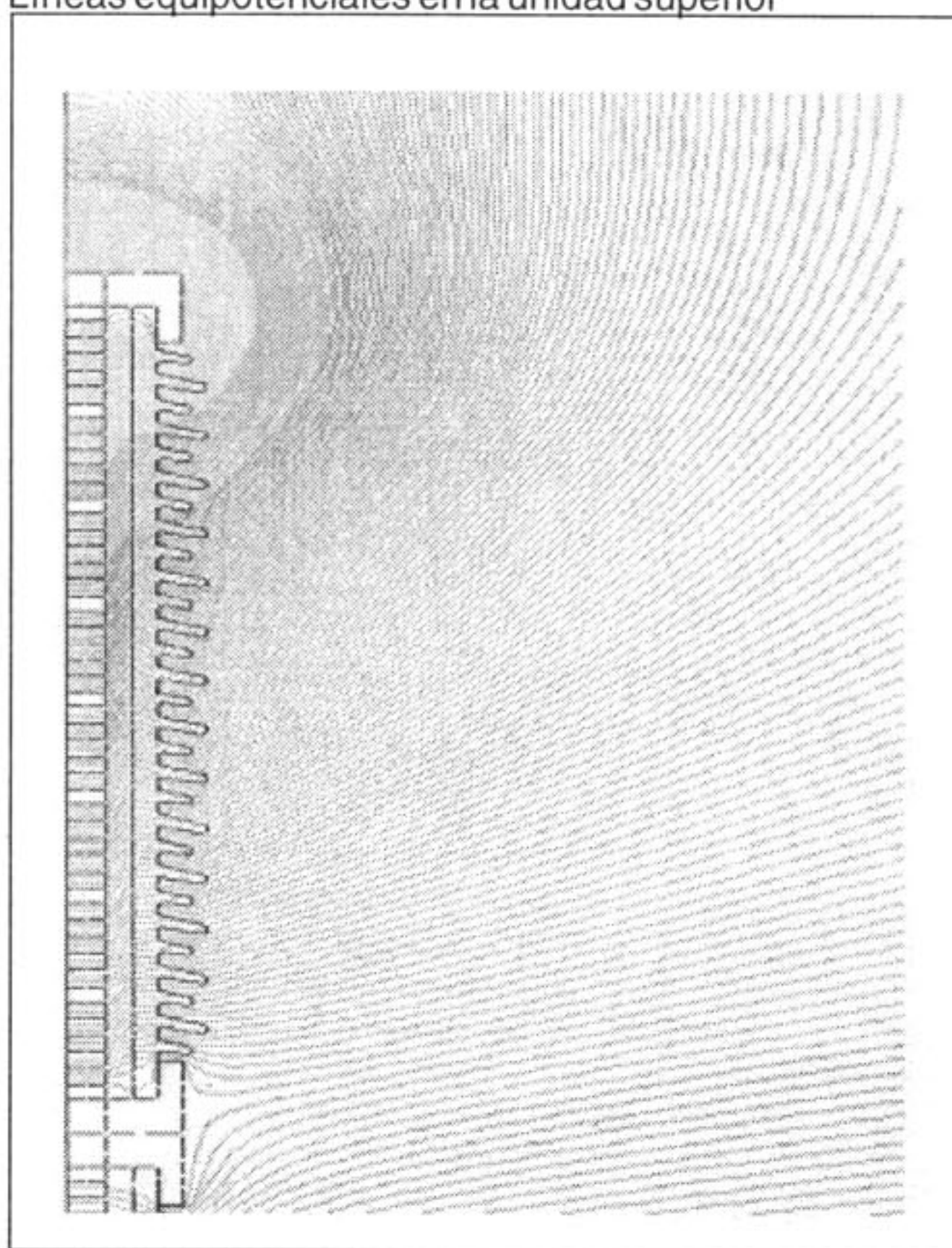


Figura 5. Superficies equipotenciales. Sin electrodo

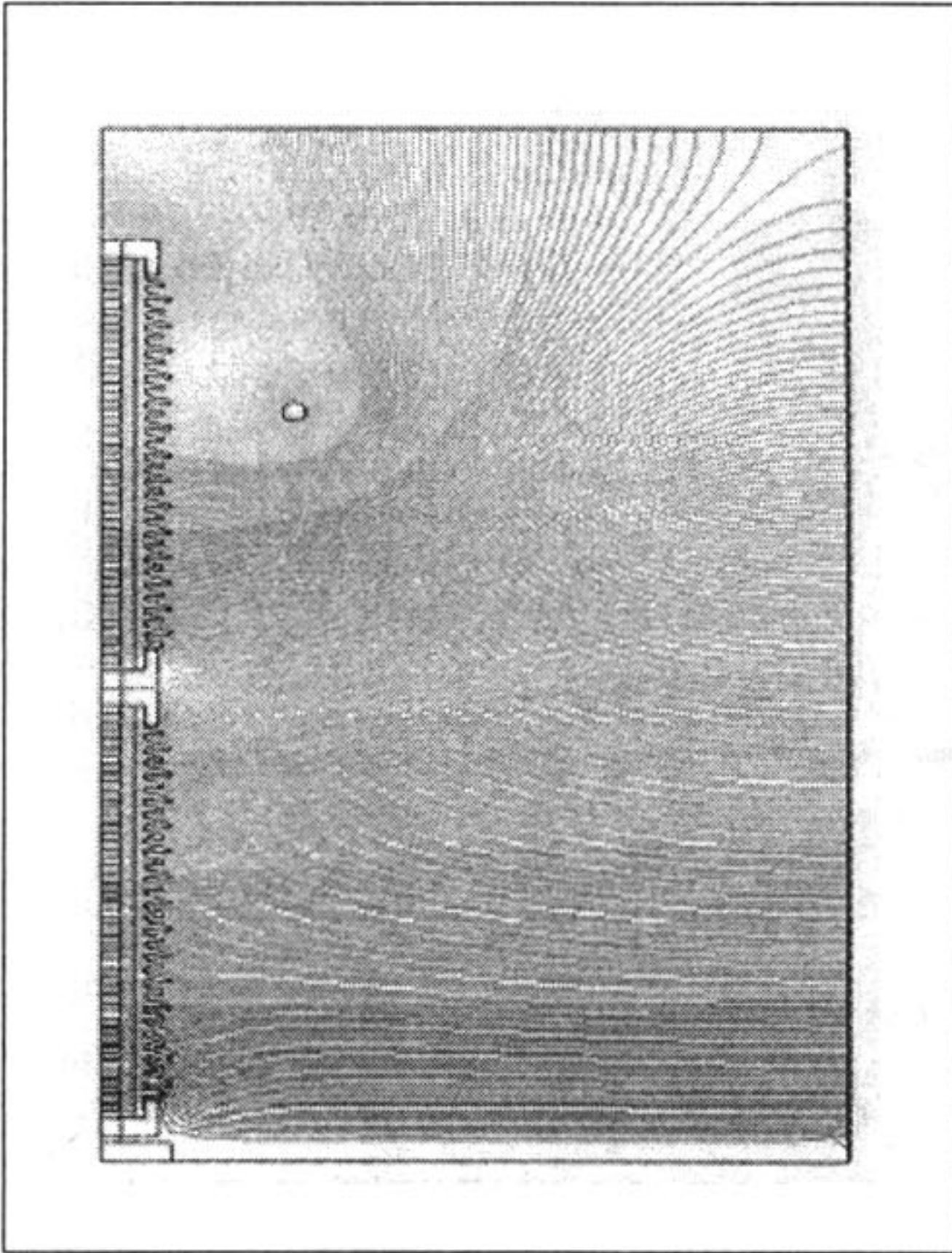


Figura 6. Superficies equipotenciales. Con electrodo

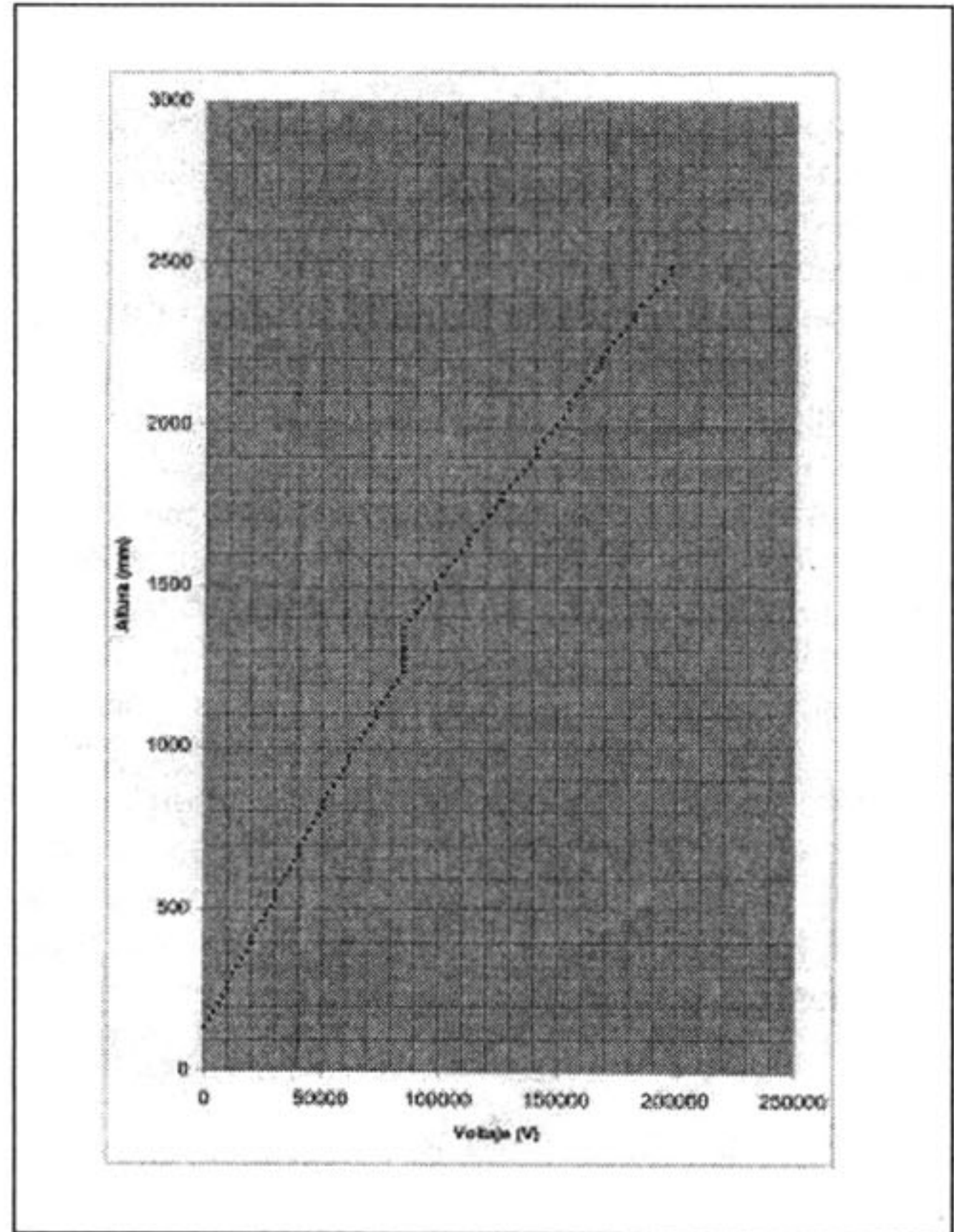


Figura 8. Distribución de potencial lineal. Con electrodo

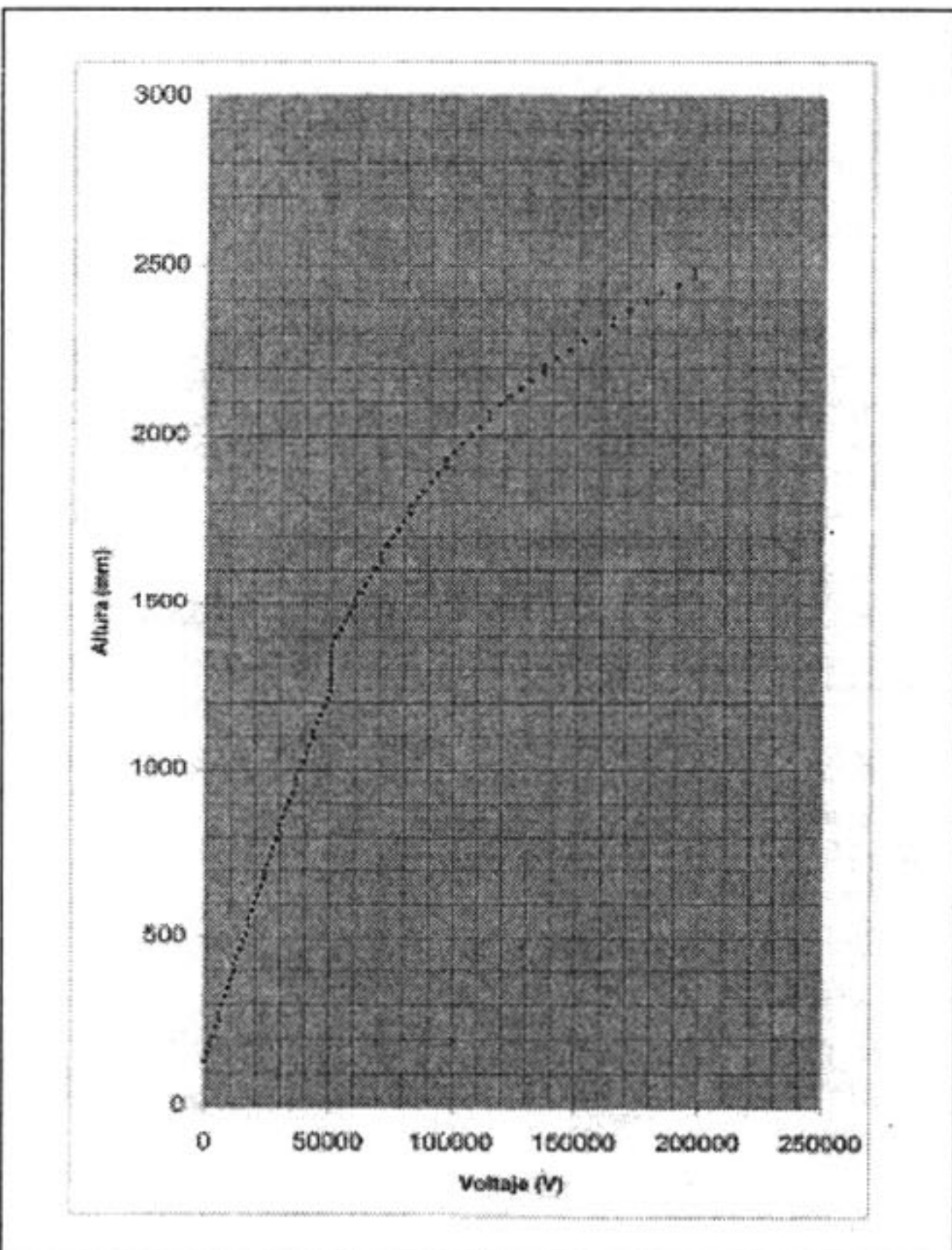


Figura 7. Distribución no lineal. Sin electrodo

6. RESULTADOS

Distribución de voltaje a través de líneas equipotenciales (sin electrodo).

Al observar las figuras 4, 5 y 6 se aprecian las diferencias en las superficies equipotenciales al introducir el electrodo.

Si se comparan las figuras 7 y 8 se observa claramente la modificación de la distribución de tensión, es decir, se elimina la no linealidad de la tensión, que es el efecto deseado. Obsérvese también el efecto de la brida metálica, donde la tensión se mantiene constante.

7. CONCLUSIONES

Se puede notar la potencialidad del método de elemento finito para resolver problemas electrostáticos.

La selección del tamaño del electrodo superior y su posición relativa hasta obtener una distribución de voltaje lineal longitudinal, se simplifica mediante el elemento finito.

La determinación de las capacitancias a tierra y al electrodo superior del apartarrayo para propósitos de modelado por el circuito equivalente puramente capacitivo, se puede ejecutar mediante el método del elemento finito.

El método del elemento finito es una herramienta poderosa de diseño aplicable a equipo eléctrico, que permite realizar análisis de su comportamiento mediante el modelado eléctrico, térmico y mecánico separadamente o interactuando entre ellos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1.] P. Silvester, R.L. Ferrari "Elementos finitos para Ingeniería Eléctrica". Ed. Limusa
- [2.] P. Silvester, "High-order triangular polynomial finite elements for potential problems", Int. J Engrg Sci., vol 7 pp 849-861, 1969
- [3.] J.A. Angmen Vigil "Aplicación del Elemento Finito para calcular la distribución de voltaje en un apartarrayo de ZnO" Tesis Licenciatura Ingeniería Eléctrica FIMEE, U de Gto. Salamanca Dic.1998
- [4.] ANSYS Help system release 5.4 "Ansys electromagnetic field analysis guide" ANSYS Inc 1997

AUTORES



Marcos Moreno Barraza, egresado de la ESIME del IPN en 1964 como Ingeniero Electricista. En 1970 obtuvo el grado de Ingeniero Electricista y el grado de M. en C. en Ingeniería Eléctrica en 1977. Actualmente es candidato al doctorado en Ingeniería Eléctrica en el Programa de Graduados e Investigación del Tecnológico de Morelia Mich. Es Profesor y Coordinador de la Maestría en Ingeniería de Sistemas Eléctricos de Potencia y Alta Tensión en el ITESI de Irapuato, Gto. México. Km 12 Carretera León. Tél, 52 (462) 633 20 43, mmoreno_mx@yahoo.com

Jose Antonio Angmen Vigil, egresado de la FIMEE como Ingeniero Electricista en 1998. Trabaja en Velcon SA Celaya Gto en el Dpto de Diseño Mecánico.

José Manuel Cañedo, Egresado de la Univ. de Guadalajara como Ingeniero Electricista. Obtuvo la M en C en Ingeniería Eléctrica en la ESIME-IPN y el grado de Doctor en el Instituto Energético de Moscú en la URSS. Actualmente es Profesor Investigador en el CINVESTAV-IPN Unidad Guadalajara. canedoj@gdl.cinvstav.mx

*"El hombre en todo momento es responsable.
Su éxito no está con las estrellas,
está dentro de sí mismo.
Debe llevar la lucha
de la autocorrección y la disciplina.
Debe luchar contra la mediocridad como
un pecado y vivir con la aspiración
al más alto ideal de la vida."*

Frank Curtis Williams
