

CALCULO DEL POTENCIAL Y CAMPO ELECTRICO
MEDIANTE EL METODO DE SIMULACION DE CARGA

ING. ALFONSO MEJIA MOSCOSO

Mirelli Cia. Ltda.

1 RESUMEN

Este trabajo proporciona el método de Simulación de Carga para evaluar el Potencial y el Campo Eléctrico de un sistema de transmisión de Extra Alta Tensión. La base del método es el uso de elementos de carga adecuados como solución particular de las ecuaciones de Laplace's y Poisson's. Las magnitudes de estas cargas deben ser calculados de modo que su efecto integrado satisfaga las condiciones de borde exactamente en un número seleccionado de puntos sobre el borde. La exactitud y aplicación del método es ilustrado por ejemplos prácticos, y los resultados son comparados con soluciones existentes de Campos de Alto Voltage.

ABSTRACT

This paper presents the charge simulation method for the computation of potential and electric field in high voltage systems. The basis of the method is the use of fictitious line charges as particular solutions of Laplace's and Poisson's equations. The magnitudes of these charges have to be calculated so that their integrated effect satisfies the boundary conditions exactly at a select number of points on the boundary. The accuracy and the application of the method is illustrated by practical examples, and the results are compared with existing solutions of High Voltage Fields.

2.1 INTRODUCCION

En un problema electrostático las cargas en el interior de los conductores se desplazan hacia la superficie, permaneciendo como una carga distribuida, mientras no se modifiquen las condiciones físicas o eléctricas del problema. Esta distribución superficial de cargas impone un potencial eléctrico al conductor y un campo eléctrico estático fuera del conductor. Por lo tanto la modelación electrostática de un conductor de geometría cualquiera, se remite a modelar una equipotencial que siga el contorno de dicho conductor.

El método de simulación de cargas se basa en aproximar el campo en la región bajo estudio con el campo formado por un grupo de cargas discretas, ficticias ubicadas convenientemente dentro del

conductor. El tipo y posición de estas cargas son conocidas pero su magnitud es desconocida. Tanto el tipo, posición y número de cargas ficticias están condicionadas a una modelación la más próxima posible de la superficie equipotencial conocida. El potencial en un punto es dado por la suma del potencial debido a las cargas individuales bajo suposición justificada de una permitividad constante, lo cual es verdadero para el aire y otros dieléctricos.

Fisicamente las cargas superficiales distribuidas se reemplazan por elementos de cargas ficticias, ubicadas en el interior de los conductores. Escribiendo la ecuación del potencial para los puntos de potencial conocido tal como la superficie de los conductores (exactamente en el borde), se tendrán así varias ecuaciones en términos de las cargas lineales. Matematicamente, se está considerando una superposición de soluciones particulares de la ecuación de Laplace o Poisson; esto es, las expresiones del potencial eléctrico generado por estos elementos de cargas ficticias. Por esto mismo, la solución es única fuera del espacio ocupado por los conductores.

Las magnitudes de estas cargas con potenciales conocidos tienen que calcularse de modo que su efecto integrado satisfaga las condiciones de borde; el cumplimiento de esto sólo puede verificarse seleccionando un número de puntos adecuados, e imponiendo explícitamente la condición de borde, lo cual conduce a un conjunto de ecuaciones lineales debido a la naturaleza discreta de las cargas, de modo que su solución simultánea es posible mediante el apoyo computacional.

El potencial electrostático en torno de un elemento de carga discreto, considerado como aislado, viene definido por:

$$\phi(\vec{r}) = P(\vec{r}, \vec{r}_q) Q \quad (2.1)$$

El elemento de carga queda definido por su vector r_q y por el parametro Q que puede corresponder a la carga total o a una densidad uniforme de carga; $P(\vec{r}, \vec{r}_q)$ es el coeficiente de potencial asociado al elemento de carga, función de las características físicas del problema y en

especial del punto y de la carga.

La existencia de un plano de tierra es una situación que se presenta frecuentemente en el análisis de problemas electrostáticos prácticos. Debido a que se trabaja con cargas ficticias discretas, esta situación es modelada introduciendo cargas imágenes.

El potencial eléctrico producido por el grupo de cargas ficticias, iguales o distintas, se obtiene por la superposición de los potenciales producidos por cada carga Q_j con su respectivo coeficiente de potencial $P_j(r, r_0)$; en un punto cualquiera tiene la forma:

$$\phi(\vec{r}) = \sum_{j=1}^N P_j(\vec{r}, \vec{r}_{0j}) Q_j \quad (2.2)$$

La modelación de la superficie equipotencial de un sistema físico real significa:

a) Identificar zonas o regiones parciales de la equipotencial real, que puedan ser modeladas por los elementos de cargas comunes.

b) Seleccionar el tipo de elemento de carga adecuado para modelar cada zona identificada previamente; esta selección se efectúa en base al conocimiento previo de la forma de las equipotenciales generales por el elemento de carga y el grado de similitud con la equipotencial real.

c) Ubicar y dimensionar físicamente cada uno de los elementos de carga seleccionados.

d) Escoger sobre la superficie equipotencial real, un número de puntos equivalentes al número total de elementos de carga que la modela.

Imponiendo las condiciones de borde a un grupo de puntos de contorno apropiados sobre la superficie del conductor, lleva a un sistema de ecuaciones lineales para las cargas, de la forma:

$$\sum_{j=1}^N P(\vec{r}_{ci}, \vec{r}_{0j}) \bar{Q}_j = \bar{V}_{ci} \quad (2.3)$$

donde:

- N : número total de elementos de carga
- \vec{r}_{ci} : posición del punto i sobre la superficie del conductor
- \vec{r}_{0j} : posición del elemento de carga j
- \bar{V}_{ci} : potencial del conductor al cual pertenece el punto i

El conjunto de ecuaciones (2.3), para todos los puntos de contorno se puede expresar en forma matricial como sigue:

$$[P] [\bar{Q}] = [\bar{V}_c] \quad (2.4)$$

el cual debe resolverse para el vector de carga o densidad de carga (\bar{Q}).

2.2 DETERMINACION DE LAS CARGAS

Las cargas Q_i ($i=1,2,\dots,N$) de cada uno de los conductores del sistema equivalente de N conductores son determinadas por la siguiente ecuación,

$$\bar{Q} = [P^{-1}] \bar{V} \quad (2.5)$$

donde:

- \bar{Q} : vector de las cargas lineales de los conductores del sistema equivalente.
- \bar{V} : vector de los potenciales con respecto a tierra
- $[P]$: matriz de coeficientes de potencial de orden ($n \times n$), dados por:

$$p(r, r_j) = \frac{1}{2} \pi \epsilon_0 \ln r_1 / r_2 \quad (2.6)$$

donde:

$$r_1 = \sqrt{(Z_B + Z_{0j})^2 + (R_B - R_{0j})^2} \quad (2.7)$$

$$r_2 = \sqrt{(Z_B - Z_{0j})^2 + (R_B + R_{0j})^2} \quad (2.8)$$

para $j = 1, \dots, n$

En el caso que todas las formas de ondas del voltaje aplicado sean sinusoidales con la misma frecuencia angular, se puede expresar convenientemente el campo instantáneo en la región con cargas complejas, debido a que las cargas ficticias también cambian simultáneamente con la misma frecuencia angular.

En consecuencia, se puede expresar:

$$\phi(i) = \sum_{j=1}^N P(i, j) = Q(j) \quad (2.9)$$

en el punto i de la región, y

$$\sum_{j=1}^N P(i, j) Q(j) = V(i) \quad (2.10)$$

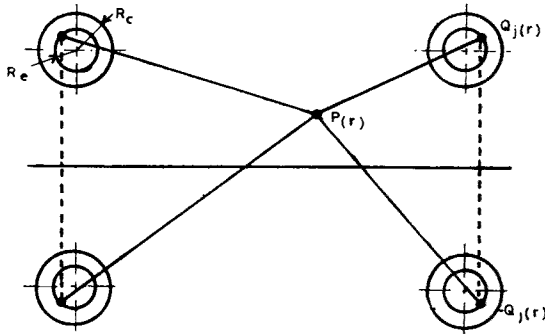
en el punto de borde i sobre la superficie del conductor.

La expresión anterior constituye un conjunto de ecuaciones lineales para cargas complejas desconocidas $Q(j)$ con coeficientes reales $P(i, j)$. Ellas pueden ser resueltas fácilmente mediante

cualquier técnica de resolución. En el presente caso se emplea una rutina de la librería computacional IMSL-LINV3F a fin de invertir la matriz de coeficientes de potencial.

2.3 LINEAS DE TRANSMISION CON HILOS DE GUARDIA

Consideremos el caso en que se tiene una línea trifásica de c.a. con un conductor por fase y un conductor de guardia; los conductores de fase tienen una tensión de línea V_0 . El efecto del plano de tierra puede ser considerado incluyendo cargas imágenes, como se muestra en la Fig: 2.1



Q_j : carga ficticia
 R_c : Radio del conductor
 R_e : Radio circunferencia sobre la cual se ubican las cargas.

Fig. 2.1 Representación de cargas ficticias de un sistema con dos conductores en haz.

Así aplicando las condiciones de N elementos, donde N es el número total de elementos de carga.

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= \dot{V}_2 = \dots = \dot{V}_k = V \\ \dot{V}_{k+1} &= \dot{V}_{k+2} = \dots = \dot{V}_m = V \exp(j2\pi/3) \\ \dot{V}_{m+1} &= \dot{V}_{m+2} = \dots = \dot{V}_n = V \exp(j4\pi/3) \\ \dot{V}_{n+1} &= \dot{V}_{n+2} = \dots = \dot{V}_N = 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

donde:

$$V = \sqrt{2} V_0 / \sqrt{3}$$

y los puntos de contorno sobre la superficie de los conductores energizados y de tierra son:

- 1 k
- k + 1 m
- m + 1 n
- n + 1 N

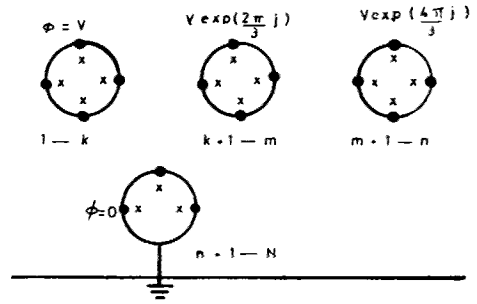


Fig. 2.2 Elementos de cargas ficticias en una línea de c.a. trifásica

2.4 CONDUCTORES FLOTANTES

En el caso de conductores flotantes (aislados) las cargas ficticias tienen la siguiente relación:

$$\sum_{j=1}^N P(i,j) \dot{Q}(j) = \dot{V}_i \quad (2.12)$$

$i = 1 \dots m$

$$\sum_{j=1}^m \dot{Q}(j) = 0 \quad (2.13)$$

Los puntos de contorno son numerados como:

1 m

sobre la superficie del conductor flotante.

Las cargas complejas $\dot{Q}(j)$ son obtenidas por eliminación de los voltajes inducidos desconocidos de las ecuaciones anteriores para los conductores de potencial conocido.

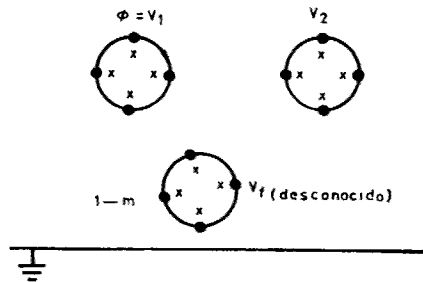


Fig. 2.3 Voltaje inducido de un conductor flotante

2.5 EL CUERPO HUMANO EN EL CAMPO DIELECTRICO

Debido a la baja resistencia específica (algunos ohms por metro), una persona en un campo dieléctrico de baja frecuencia actúa como un cuerpo metálico, distorsionando las condiciones del "Campo Eléctrico No Perturbado".

Una persona tiene prácticamente el potencial de tierra, si está descalzo o lleva calzado normal. Sin embargo, en el

caso que la persona lleve un calzado altamente aislante, existirá un cierto potencial entre conductor y tierra.

Debido a que el primer caso, con la persona a tierra, es el más probable e importante, y además representa las condiciones más rigurosas trataremos solamente esta situación.

La modelación del cuerpo humano se realiza mediante la ubicación de cargas puntuales q_1 y q_2 , sobre el eje vertical, a alturas respectivas de h_1 y $2h_1$ sobre el nivel del suelo.

La equipotencial de valor $V=0$, con la forma de la Fig. 2.4 representa bastante bien el cuerpo humano, el lazo superior constituye la cabeza y el inferior el tronco.

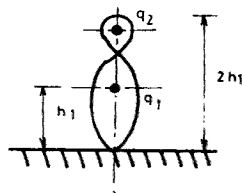


Fig. 2.4 Cargas y corrientes inducidas en una persona sometida a un campo E_0

Las expresiones para el cálculo de los coeficientes de potencial son dados en el numeral 4.

Si se supone $h_1 = 0.80$ mts. se obtiene aproximadamente la silueta de una persona de 1.70 mts. de estatura.

Las cargas q_1 y q_2 representan las cargas llevadas a la superficie del tronco y la cabeza, se puede deducir las corrientes inducidas:

Corrientes dentro del tronco: $i_1 = q_1$
 Corrientes en la cabeza : $i_2 = q_2$
 Corriente total, penetrando por los pies:

$$I_t = (q_1 + q_2) \quad (2.14)$$

De acuerdo a los ensayos teóricos y experimentales se han obtenido corrientes del siguiente orden:

$i_1 = 10 \mu\text{A/KV/m}$
 $i_2 = 5 \mu\text{A/KV/m}$
 $I_t = 15 \mu\text{A/KV/m}$

La misma modelación permite determinar el campo máximo superficial, el mismo que evaluado en el vértice del cráneo es:

$$E_{\text{max.}} = 16 E_0$$

donde:

E_0 : es el campo no perturbado a nivel del suelo, de donde resulta una

densidad de corriente superficial, a 50 Hz. de:

$$J = 0.44 \text{ mA/m}^2 \text{ y por KV/m.}$$

2.6 MODELACION DE DIFERENTES OBJETOS EN GENERAL

En general, en el presente trabajo se dispondrán de los siguientes elementos de carga, para la representación de objetos de dimensiones moderadas, ubicados en la vecindad de un sistema de transmisión. Se puede considerar la existencia del plano de tierra, introduciendo las cargas imágenes ubicadas simétricamente respecto a este plano.

i) Carga puntual

$$p(\vec{r}, \vec{r}_q) = 1/4\pi\epsilon r \quad (2.14)$$

$$r = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}$$

ii) Línea de carga uniforme, recta, paralela al eje Y, de longitud infinita

$$p(\vec{r}, \vec{r}_q) = 1/(4\pi\epsilon 2l) \ln\left(\frac{r_1 + r_2 + 2l}{r_1 + r_2 - 2l}\right) \quad (2.15)$$

$$r = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y + l - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}$$

$$r = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - l - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}$$

iii) Línea de densidad de carga uniforme, recta infinita, paralela al eje X, y considerando el plano de tierra.

Las expresiones para el cálculo de los coeficientes de potencial corresponden a las citadas anteriormente en las ecuaciones: 2.6, 2.7, y 2.8

2.7 Cálculo del Potencial Inducido

Una vez que se conoce los valores complejos de las cargas ficticias, el potencial en cualquier punto del espacio fuera de los conductores puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$V(r) = \sum_{j=1}^n p_j(r, r_{qj}) * q_j \quad (2.16)$$

En particular, se debe verificar con que precisión el conjunto de cargas satisface las condiciones de borde. Consecuentemente, se escoge un número de puntos sobre la superficie del conductor, distinto a los inicialmente empleados para la evaluación de las cargas, se calcula su potencial y se compara con el valor real.

El error promedio de la modelación

expresado en forma compleja se calcula mediante la siguiente expresión, tanto para la parte real como para la parte imaginaria:

$$\begin{aligned} \overline{\text{Err}}_{\text{real}} (\%) &= \frac{N}{\sum_{j=1}^N} \frac{\overline{V}_{\text{calculado}} - V_{\text{real}}}{V_{\text{real}}} \\ \text{Err}_{\text{imag}} (\%) &= \frac{N}{\sum_{j=1}^N} \frac{V_{\text{calculado}} - V_{\text{real}}}{V_{\text{real}}} \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.8 Cálculo del Campo Eléctrico

Conocido el valor de las cargas, el campo eléctrico en las vecindades de los conductores puede ser calculado mediante la suma vectorial de las contribuciones de cada una de las cargas:

$$\begin{aligned} E_x &= \sum_{j=1}^N q_j / 2\pi\epsilon_0 \left(\frac{x - x_j}{(y - y_j)^2 + (x - x_j)^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{x - x_j}{(y + y_j)^2 + (x - x_j)^2} \right) \\ E_y &= \sum_{j=1}^N q_j / 2\pi\epsilon_0 \left(\frac{x - x_j}{(y - y_j)^2 + (x - x_j)^2} \right. \\ &\quad \left. - \frac{x - x_j}{(y + y_j)^2 + (x - x_j)^2} \right) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Donde E_y y E_x , son las componentes vertical y horizontal del campo eléctrico, que expresadas en su forma compleja son:

$$\begin{aligned} Q_j &= a + j b \\ E_x &= c + j d \\ E_y &= e + j f \end{aligned} \quad (2.19)$$

expresadas en función del tiempo se escriben:

$$\begin{aligned} E_x &= c \cos \omega t + d \text{ Sen } \omega t \\ E_y &= e \cos \omega t + f \text{ Sen } \omega t \end{aligned} \quad (2.20)$$

Se puede observar que si la condición

$$c f - d e = 0$$

es satisfecha, entonces el vector campo tiene una y sola una dirección, en consecuencia el campo resultante puede evaluarse como:

$$|E| \angle \theta$$

donde:

$$|E| = \sqrt{(E_x^2 + E_y^2)}$$

$$\theta = \text{Arc tang}(E_x/E_y)$$

Caso contrario, si la condición no es satisfecha, es decir que no están en fase el campo será elíptico, y se tendrá que evaluar los parámetros de la elipse, es decir: el módulo y la inclinación de los ejes mayor y menor.

El módulo del vector campo, en función del tiempo viene dado por:

$$\begin{aligned} M^2 &= (c^2 + e^2) \text{Cos}^2 \omega t + \\ &\quad (d^2 + f^2) \text{Sen}^2 \omega t + \\ &\quad 2(cd + ef) \text{Cos } \omega t \text{ Sen } \omega t \end{aligned} \quad (2.22)$$

Los extremos de M^2 , serán obtenidos calculando

$$\frac{d M^2}{d(\omega t)} = 0$$

Suponiendo que $\delta = \text{tang } t$

se obtiene:

$$\delta = \frac{k \pm \sqrt{k^2 + 4}}{2} \quad (2.23)$$

donde:

$$k = \frac{(d^2 + f^2) - (c^2 + e^2)}{c d + e f} \quad (2.24)$$

Las dos soluciones de δ nos dan las dos inclinaciones α_1 y α_2 de los dos ejes, sea:

$$\text{tang } \alpha_1, \text{ tang } \alpha_2 = \frac{c + d \delta}{e + f \delta} \quad (2.25)$$

y los módulos:

$$M_1, M_2 = \left\{ \frac{1}{1 + \delta^2} \left[(c^2 + e^2 \delta^2 + (d^2 + f^2) + 2(cd + ef)\delta) \right] \right\}^{1/2} \quad (2.26)$$

3. EJEMPLOS DEMOSTRATIVOS

3.1. En la proximidad del centro del vano de una línea de transmisión de 500 KV, existen 2 estanques metálicos para almacenamiento de combustibles, uno de los cuales no está en servicio y se puede suponer aislado (E1), mientras el segundo (E2) tiene una red de cañerías que permiten considerarlo conectado a tierra.

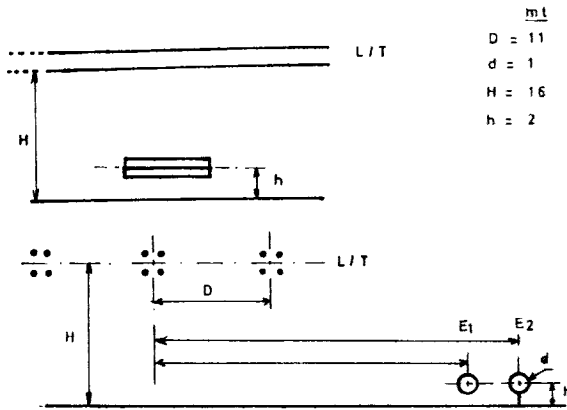


Fig. 3.1

Se determinará el potencial del objeto flotante y el campo eléctrico en el tramo entre ambos estanques, a un metro del suelo.

Cada subconductor será modelado mediante una línea infinita de densidad de carga uniforme, paralela al plano de tierra, mientras los tanques serán modelados por 4 líneas de carga.

Se considerará que el voltaje máximo ocurre en la fase I.

Los resultados obtenidos, son:

a) Potencial del estanque flotante:

$$2.31 \text{ a } 10.25 \text{ KV RMS}$$

b) Campo eléctrico en el entorno de los estanques, coordenadas (31.5; 1):

$$796.61 \text{ a } -166.42 \text{ V/mt.}$$

3.2 En la Fig. 3.2, se muestra una línea de transmisión doble circuito a 1200 KV, trifásica, en donde las líneas numeradas del 1 al 6 son haces de conductores formados por un total de 12 subconductores de 810 mm ACSR de sección, y las líneas 6 y 7 son hilos de guardia de 810 mm ACSR de sección.

Los haces de conductores son representados por un conductor equivalente de igual capacitancia, sobre el cual son dispuestas las 12 líneas de cargas ficticias.

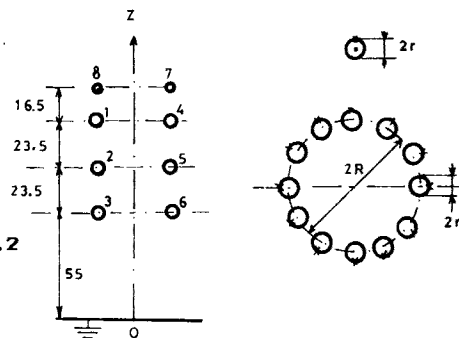


Fig. 3.2

Se calculó la inducción electrostática de los conductores energizados sobre los conductores que no están energizados para los siguientes casos:

- Conductor 4 a tierra, 5 y 6 flotantes
- Conductor 6 a tierra, 4 y 5 flotantes
- Conductor 4, 5 y 6 flotantes

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos, mediante el programa computacional implementado, así como los obtenidos por la referencia (1).

TABLA I. Valores en KV eficaces

Caso	Conductor	Voltaje calculado	Voltaje Referencia
a	V4	0.0	0.0
	V5	23.41	22.9
	V6	56.75	55.4
b	V4	64.43	62.8
	V5	26.47	25.8
	V6	0.0	0.0
c	V4	58.32	56.9
	V5	21.24	20.9
	V6	49.37	48.3

Se puede anotar que los resultados obtenidos son bastante cercanos a los obtenidos por la referencia, existiendo una diferencia en promedio de un 2.13%, debido principalmente a la distinta modelación de los conductores, puesto que las cargas ficticias los ubicamos alrededor del conductor equivalente del haz de conductores de cada línea, en cambio la referencia, ubica las cargas en los centros de cada subconductor, esta modificación la introducimos con el afán de disminuir el tiempo de ingreso de datos, ya que en lugar de digitar 12 ubicaciones por cada conductor, ingresamos solamente el origen del conductor equivalente.

3.3. Campo Eléctrico Inducido en una Persona

Se determinará la distribución del campo eléctrico sobre la superficie del cuerpo de una persona de 1.70 mt. de estatura, debido a la presencia de una L/T de 500 KV.

De acuerdo a la modelación detallada en el numeral 2., caso 3., se obtuvo los siguientes resultados:

$$q1 = (0.00905 - j 0.0157) \mu C$$

$$q2 = (0.0437 - j 0.0757) \mu C$$

y sus módulos:

$$|q1| = 0.0181 \mu C$$

$$|q2| = 0.0874 \quad \mu\text{C}$$

Considerando el campo eléctrico no perturbado E_0 de 3.17 KV/m, se tiene:

$$|q1| = 0.0057 \quad \mu\text{C/KV/m}$$

$$|q2| = 0.0276 \quad \mu\text{C/KV/m}$$

Las corrientes respectivas son:

$$\text{tronco: } |i1| = 1.767 \quad \mu\text{A}$$

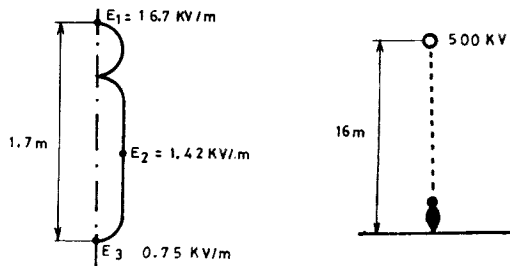
$$\text{cabeza: } |i2| = 8.656 \quad \mu\text{A}$$

$$\text{total: } |i_r| = 10.42 \quad \mu\text{A}$$

El campo máximo superficial obtenido es:

$$E_{\text{max}} = 5.3 E_0$$

La distribución del campo eléctrico se muestra a continuación:



4. CONCLUSIONES

4.1. Respecto a los resultados obtenidos podemos citar:

Ejemplo No 1

Los resultados se encuentran dentro del rango previsible. Cabe señalar además la notoria influencia de la parte imaginaria de las cargas eléctricas empleadas en el método de simulación, debido a que al considerar solamente la parte real en cálculos preliminares se obtenían potenciales del orden de los 4.5 KV., mientras considerando cargas complejas este valor disminuye a 3.27 KV en sus tensiones máximas.

Se puede observar además que se cumple con las restricciones impuestas por las Ecs. (2.12), ya que la sumatoria de las cargas en el interior del estanque considerado flotante es nulo.

Ejemplo No 2

Se pueden aceptar como válidos, concluyéndose que la modelación en base a ubicar las cargas a una distancia

igual al radio del conductor equivalente de igual capacitancia al del haz de conductores, es bastante aceptable como alternativa de modelación, que al considerar el radio de la circunferencia que une los puntos centrales de cada subconductor de acuerdo a la modelación de la referencia (1).

Ejemplo No 3

Se presenta a manera ilustrativa, a fin de observar la diferencia que existe en los resultados obtenidos según la diferente modelación de las cargas, incluyendo o no su parte imaginaria. En el presente caso se considera cargas complejas.

Para determinar el campo eléctrico no perturbado se promedió los campos eléctricos obtenidos a nivel del suelo y a una altura de 0.80 mt. en ausencia del objeto perturbador, obteniéndose un valor de $E_0 = 3.17 \text{ KV/m}$.

4.2. Los errores de modelación se encuentran dentro del 0.05 y el 2.6%, dependiendo del sistema considerado.

4.3. Evaluando adicionalmente, los ejemplos con diferentes números de cargas (NQ), se comprueba que el error de simulación disminuye al incrementar el número de cargas considerado, en el caso particular del ejemplo No. 1, disminuye de un 4% a un 2.6%.

4.4. Los tiempos de ejecución oscilan entre 0.69 y 19.7 seg., según el sistema en estudio, siendo mayor lógicamente cuando se trabaja con un mayor número de cargas (NQ).

4.5. El método de simulación de carga no necesita integración numérica en la construcción de la matriz de coeficientes para cargas desconocidas u obtención del campo inducido, lo que causaría mayor tiempo computacional y mayor dificultad de programación.

4.6. No requiere consideraciones sobre singularidades que pueden tomar lugar cuando el potencial o el campo eléctrico debido a las cargas superficiales es computado sobre idéntica superficie.

4.7. Dado que el método tiene muy buena exactitud, es recomendable extender su aplicación a medios DIELECTRICOS, teniendo en consideración los aspectos siguientes:

a) El borde dieléctrico en general no corresponde a una superficie equipotencial.

b) Debe ser posible calcular el campo eléctrico a ambos lados del borde dieléctrico.

4.8 Para concluir citaremos algunas

restricciones del programa implementado:

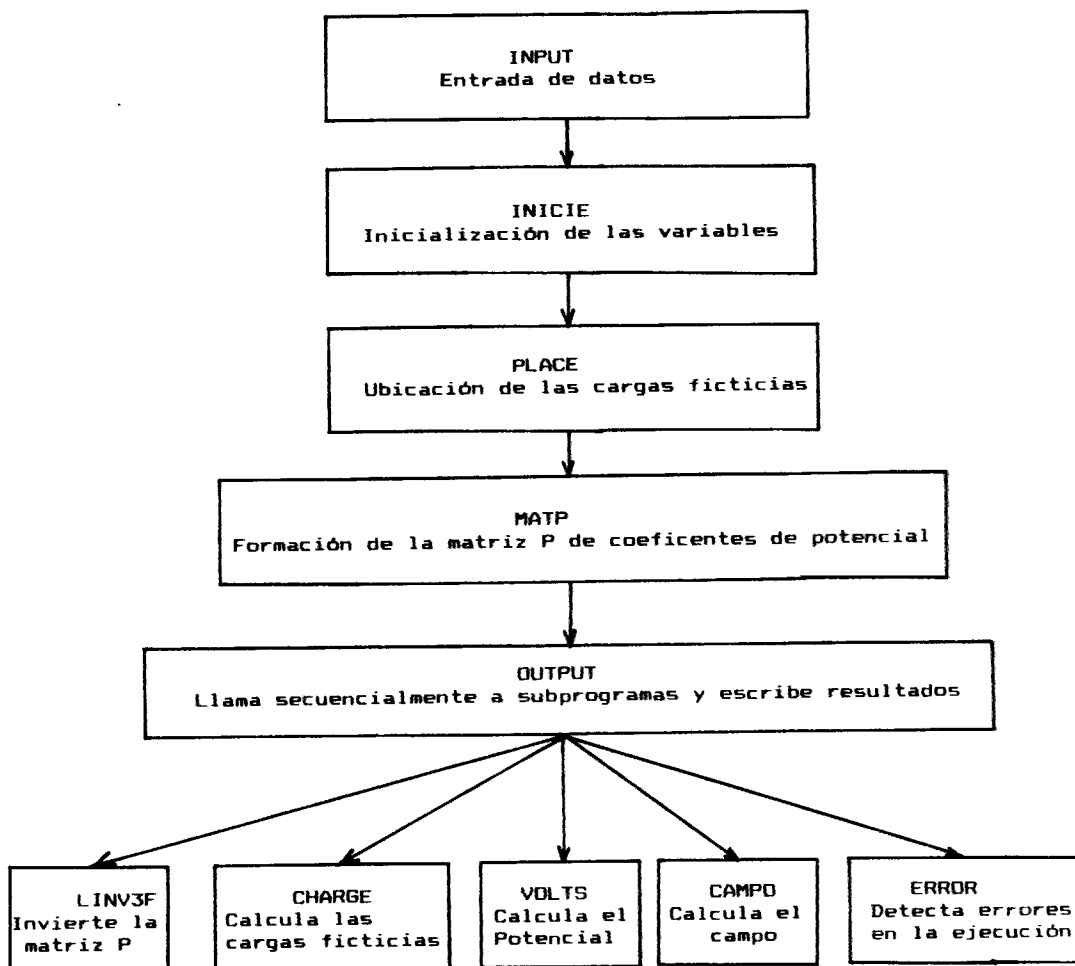
Número máximo de cargas : 100

Número máximo de puntos
ubicados en la vecindad
de la L/T donde se re--
quiere calcular el Campo
Eléctrico: 24

Número máximo de puntos
para cálculo del Poten--
cial en forma puntual: 24

Número máximo de cargas
por conductor, para el
caso de un sistema tri--
fásico de doble circuito
con dos hilos de guardia: 12

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA:



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- TADASU TAKUMA, TADASHI KAWAMOTO Y H. FUJINAMI., Charge simulation method with complex charges for calculating capacitive resistive fields. IEE-PAS100 No.11, Nov.1981
- 2.- NELSON MORALES. Métodos de cálculo del campo eléctrico en instalaciones de Alta Tensión. Publicación T/6, 1984
- 3.- MOHAMED ABDO-SEADA. Digital computer calculation of the potential and its gradient of a twin cylindrical conductor. IIE-PAS Dic., 1984
- 4.- SINGER STEINBIGLER P. A charge simulation for the calculation of high voltage fields. IIE.PAS 93, 1974

- 5.- H. STEINBIGLER, D. UTMISCHI, J. WIESINGER. Displacement currents to the human body caused by the dielectric field under overhead lines, 1974.

BIOGRAFIA:



MEJIA MOSCOSO ALFONSO,
Nació en Cuenca, Ecuador
el 01 de Febrero de 1956.
Ingeniero Eléctrico, en
1980, Escuela Politécnica
Nacional, Quito-Ecuador.
Estudios de post-grado:
Ingeniero en
Planificación de Sistemas
Energéticos, Escuela de
Ingenieros Eléctricos de
Grenoble , E.N.S.I.E.G., Grenoble-
Francia, en 1984. Eg. Magister en
Ciencias de la Ingeniería, Departamento
de Electricidad, Facultad de Ciencias
Físicas y Matemáticas, Universidad de
Chile, 1989, Santiago de Chile.