

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

TITULO: DISEÑO DE AISLADORES

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICO, ESPECIALIZACION POTENCIA

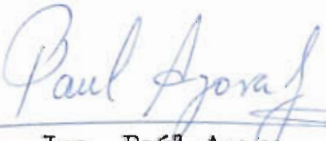
RENE CORREA PROANO

Quito, Abril de 1984



C E R T I F I C A C I O N

CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS
HA SIDO REALIZADO EN SU TOTALIDAD POR EL
SEÑOR RENE CORREA PROANO.



Ing. Paul Ayora

DIRECTOR DE TESIS

D E D I C A T O R I A

A mis padres, hermanos,

Evita y Cristian

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ingeniero Paúl Ayora por la ayuda
prestada en el desarrollo del present
te trabajo.

I N D I C E

DISEÑO DE AISLADORES

Pag.

INTRODUCCION

CAPITULO I

PROGRAMA DIGITAL PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO ELECTRIC TRICO DE LOS AISLADORES 1

1.1.	Solución de la Ecuación de Laplace por el método de diferencias finitas	2
1.1.1.	Ecuación de Poisson y Laplace	2
1.1.2.	Método de diferencias finitas	4
1.1.3.	Factor de aceleración	10
1.1.4.	Areas peligrosas	11
1.2.	Condiciones en los límites entre dieléctricos	12
1.2.1.	Condiciones en la superficie común entre dieléctricos	13
1.3.	Distribución del campo eléctrico	21
1.3.1.	Cuadrados curvilíneos	21
1.4.	Densidad de corriente y pérdidas	23
1.5.	Contaminación ambiental de los aisladores	27

CAPITULO II

PREDISEÑO CON DIFERENTES MATERIALES Y FORMAS DE AISLA DORES 31

2.1.	Materiales de los aisladores	32
2.1.1.	Porcelana Ideal	33
2.1.2.	Porcelana Nacional	34
2.1.3.	Otros Materiales	36

	Pag.
2.2. Modelado de aisladores tipo	38
2.2.1. Aislador tipo rollo	39
2.2.2. Aislador tipo suspensión 52-4	69
2.2.3. Aislador tipo espiga	94
CAPITULO III	
DISEÑO DEFINITIVO DE AISLADORES	108
3.1. Análisis de formas y materiales óptimos	109
3.2. Implementación del diseño final	110
3.3. Ejemplos de análisis de otros tipos de aisladores ...	124
3.4. Comparación de resultados con los del grafizador de campos	159
CAPITULO IV	
4.1. Conclusiones y recomendaciones	162
ANEXO A	
DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL	164
A.1. Introducción	164
A.2. Secuencia de cálculo	165
A.3. Descripción del programa	168
A.3.1. Características	168
A.3.2. Descripción de las Subrutinas	169
A.4. Diagrama de flujo	171
A.5. Listado del Programa	191
ANEXO B	
MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DIGITAL	222

	Pag.
B.1. Título	222
B.2. Objetivo	222
B.3. Variables utilizadas	222
B.3.1. Variables de entrada	222
B.3.2. Variables de salida	225
B.4. Forma de proporcionar los datos	226
BIBLIOGRAFIA	234

I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo está enmarcado dentro del área de alto voltaje y es un estudio del comportamiento eléctrico de los aisladores, además aprovechando los resultados del estudio, se recomienda ciertas modificaciones al diseño normalizado.

El primer capítulo trata sobre la solución de la ecuación de Laplace en dieléctricos homogéneos, por el método de diferencias finitas; se expresa matemáticamente las condiciones en los límites entre dieléctricos lo que permite calcular el valor de voltaje en puntos predeterminados, deducir gradientes de potencial, etc., con lo cual es posible dar una forma conveniente al aislador, es decir diseñar el perfil del aislador.

Siendo la ecuación de Laplace solo aplicable a aislantes de alta calidad, para considerar dieléctricos con una pequeña conductividad se usa el método de los "cuadrado curvilíneos" para obtener un cálculo aproximado del campo eléctrico en la masa del aislador. Con el campo eléctrico se determina la densidad de corriente; para considerar las pérdidas se analiza el efecto de polarización y según las características de los materiales dieléctricos para aisladores se consideran las pérdidas por conducción como las más significativas. Al final del capítulo se analiza los efectos de la contaminación en la superficie de los aisladores, y sus efectos de concentración del

campo eléctrico, tanto en el aislante sólido como en el aire.

En el segundo capítulo se analiza los materiales utilizados en la construcción de aisladores, incluyendo los resultados obtenidos en estudios realizados por Ingeniería Química sobre porcelanas nacionales (Ref. 8); esto se hace para comprobar los efectos que la variación de la resistividad (ρ) y la constantes dieléctrica (ϵ) tienen en el diseño y comportamiento eléctrico de aisladores de alto y bajo voltaje.

Haciendo uso del programa digital implementado en el computador sobre la teoría desarrollada en el primer capítulo, se analiza en detalle los siguiente aisladores:

- Aislador tipo rollo clase 53-1
- Aislador de suspensión clase 52-4
- Aislador tipo espiga clase 55-4

En el tercer capítulo se analiza los parámetros eléctricos de los aisladores y con los mejores valores de la porcelana nacional se implementa el diseño final. Como ejemplo se realiza el análisis de los siguientes aisladores:

- Aislador espiga clase 56-1
- Pasamuros construido en la E.P.N.
- Aislador rollo clase 53-2

Para comprobar la bondad del programa digital, se comparan

los resultados de la matriz de potencial con los obtenidos en el grafizador de campos.

En el cuarto capítulo, se presenta en detalle el desarrollo del programa digital del capítulo I, presentando: diagramas de flujo, listado del programa y manual de uso.

Es de anotar que el programa aquí desarrollado da más y mejores resultados que otros programas (Ref. 14) realizados anteriormente, permite mejorar la distribución de campos. En condiciones de contaminación define altos gradientes de potencial que pueden servir de parámetros para realizar pruebas prototipos de aisladores, se considera el efecto de una pequeña conductividad para utilizar materiales de calidad inferior a la usual, como es la porcelana nacional, en el diseño de aisladores.

C A P I T U L O I

PROGRAMA DIGITAL PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO
ELECTRICO DE LOS AISLADORES

1.1. SOLUCION DE LA ECUACION DE LAPLACE POR EL METODO DE DIFERENCIAS FINITAS

1.1.1. Ecuación de Poisson y Laplace (Ref. 1)

Una forma de expresar la ley de Gauss en forma puntual es:

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (1.1)$$

Esta ecuación establece que en un punto de un medio la divergencia de la densidad de desplazamiento eléctrico (D) es igual a la densidad de carga (ρ). Si el medio es homogéneo e isótropo, de manera que ϵ sea escalar y constante, la ecuación (1.1) puede escribirse:

$$\nabla \cdot \epsilon E = \epsilon \nabla \cdot E = \rho$$

o bien

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.2)$$

Recordando que el campo eléctrico (E) esta relacionado con el potencial V por

$$E = - \nabla \cdot V$$

y sustituyendo en (1.2)

$$\nabla \cdot \nabla V = - \frac{\rho}{\epsilon}$$

o bien

$$\nabla^2 V = - \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.3)$$

La ecuación (1.3) se conoce como ecuación de Poisson. En el espacio libre, es decir, en una región que no contenga cargas ($\rho=0$), resulta

$$\nabla^2 V = 0 \quad (1.4)$$

Esta forma especial para regiones libres de cargas es la ecuación de Laplace. Físicamente indica la región o espacio ocupado por un dieléctrico ideal. Los dieléctricos de la mejor calidad asemejan notablemente esta propiedad y en ellos es aplicable la ec.1.4.

En una región homogénea libre de cargas la distribución del potencial, cualquiera que sea, debe ser una solución de la ecuación de Laplace. El problema es el de encontrar una distribución de potencial que satisfaga (1.4), así como a las condiciones límite del problema en particular. Cuando las cargas están dadas, el potencial puede encontrarse directamente de (Ref. 1)

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\rho}{R} dV$$

Este es un problema simple y su solución es directa. Por otro lado, si se da la distribución del potencial para cierta configuración de los conductores, la distribución de cargas en los conductores puede encontrarse de (Ref. 1)

$$\rho_s = D_n = \epsilon E_n$$

En el problema general, como suele presentarse, no se conoce ni la distribución de potencial ni la de las cargas. Estas son

cantidades a determinar. Se especifica cierta configuración de los conductores, así como los voltajes o diferencia de potencial entre dichos conductores (o puede darse la carga total en cada conductor). Las cargas de los conductores se distribuirán entonces por sí mismas para hacer que las superficies de los conductores sean superficies equipotenciales y al mismo tiempo produzcan una distribución de potencial entre ellos que satisfaga la ecuación de Laplace.

Entonces el problema consiste en encontrar una solución a una ecuación diferencial de segundo orden (ecuación de Laplace) que cumpla las ecuaciones en los límites. El problema es uno de integración, y por tanto los métodos directos de integración no son, en general, utilizables. De hecho sólo en un número relativamente pequeño de casos, en los que la simetría u otra consideración hace posible especificar la distribución de las cargas, puede encontrarse una solución exacta en forma de fórmula. Por supuesto, siempre puede obtenerse una solución aproximada (facilitada por el computador digital), y el grado de aproximación puede mejorarse usualmente todo lo deseado por un método sistemático de aproximaciones sucesivas siendo el más empleado el de Diferencias Finitas.

1.1.2. Método de Diferencias Finitas (Ref. 2)

La solución obtenida por el método de diferencias finitas consiste de valores en puntos discretos espaciados de una manera ordenada sobre toda la región de la función que describe el campo. Estos valores son obtenidos por reemplazo de una ecuación diferencial parcial del campo por muchas ecuaciones simples de diferencias fini-

tas que toman la forma de ecuaciones lineales relacionando el potencial en cada punto con los potenciales de los otros puntos que le rodean. De esta manera, la solución del campo se reduce a la solución de un grupo de ecuaciones simultáneas algebraicas simples para valores de potencial.

Los puntos discontinuos o discretos del campo están espaciados en forma equidistante como se muestra en la figura 1, estos puntos discretos en adelante serán llamados como nodos de la malla.

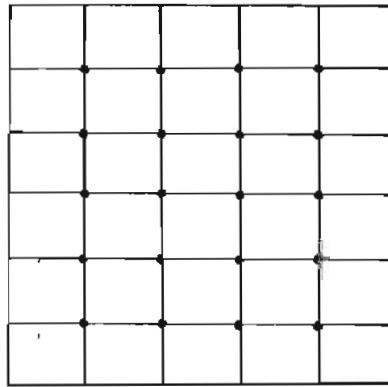


Fig. 1. Distribución de puntos discretos en el campo

Los puntos simétricos de la figura 2.a. son los correspondientes a todos los nodos en una malla cuadrada; si las dos diagonales de los nodos son diferentes como en la figura 2.b, esto significa una malla con forma rectangular; si todas las distancias son diferentes estamos en el caso presentado en la figura 2.c.

A continuación se desarrolla la ecuación diferencial parcial para el potencial en un solo nodo de la malla.

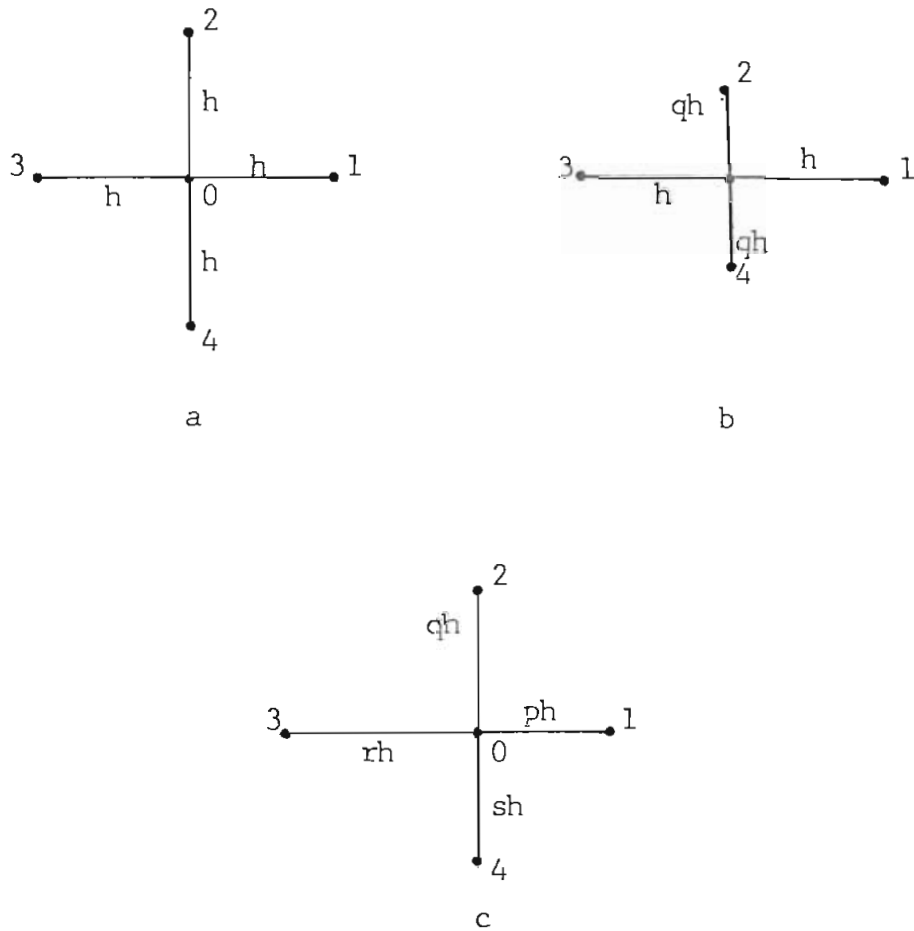


Fig. 2. Diferentes formas de mallas.

En la figura 2.c. las distancias de 1, 2, 3 y 4 a 0 son respectivamente iguales a ph , qh , rh , sh , donde p , q , r y s son fracciones de la unidad y h es la distancia entre líneas en una porción rectangular de la malla. La ecuación diferencial es desarrollada por expansión del potencial en el punto 0 en series de Taylor y derivando expresiones para

$$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_0 \quad \text{y} \quad \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right)_0$$

que son utilizadas en la ecuación de Poisson.

En cualquier punto x en una línea paralela al eje x que pasa a través del punto 0 el potencial V puede ser expandido en términos del potencial V_0 en 0 por el uso de la serie de Taylor, entonces

$$V = V_0 + \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 (x - x_0) + \frac{1}{2!} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_0 (x - x_0)^2 + \frac{1}{3!} \left(\frac{\partial^3 V}{\partial x^3}\right)_0 (x - x_0)^3 + \frac{1}{4!} \left(\frac{\partial^4 V}{\partial x^4}\right)_0 (x - x_0)^4 + \dots \quad (1.5)$$

Así, sustituyendo en esta ecuación para los valores $x=x_0+ph$ y $x=x_0-rh$ obteniendo los valores de el potencial en los puntos 1 y 3 respectivamente como:

$$V_1 = V_0 + ph \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 + \frac{1}{2!} p^2 h^2 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_0 + \frac{1}{3!} p^3 h^3 \left(\frac{\partial^3 V}{\partial x^3}\right)_0 + \frac{1}{4!} p^4 h^4 \left(\frac{\partial^4 V}{\partial x^4}\right)_0 + \dots \quad (1.6)$$

$$V_3 = V_0 - rh \left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)_0 + \frac{1}{2!} r^2 h^2 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_0 - \frac{1}{3!} r^3 h^3 \left(\frac{\partial^3 V}{\partial x^3}\right)_0 + \frac{1}{4!} r^4 h^4 \left(\frac{\partial^4 V}{\partial x^4}\right)_0 + \dots \quad (1.7)$$

Formando la suma de r veces la ecuación (1.6) y p veces la ecuación (1.7) da:

$$r V_1 + p V_3 = (p+r)V_0 + \frac{h^2}{2!} pr(p+r) \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}\right)_0 + \frac{h^3}{3!} pr(p^2-r^2) \left(\frac{\partial^3 V}{\partial x^3}\right)_0 + \frac{h^4}{4!} pr(p^3+r^3) \left(\frac{\partial^4 V}{\partial x^4}\right)_0 + \dots \quad (1.8)$$

e, ignorando los términos que contienen h elevado a la tercera po-

tencia o mayor, lo que es válido cuando h es pequeña, obteniendo para $(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2})_0$ la simple expresión:

$$h^2 (\frac{\partial^2 V}{\partial x^2})_0 = \frac{2 V_1}{p(p+r)} + \frac{2 V_3}{r(p+r)} - \frac{2 V_0}{pr} \quad (1.9)$$

De una manera exactamente similar puede ser obtenida una expresión para $(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2})_0$ como:

$$h^2 (\frac{\partial^2 V}{\partial y^2})_0 = \frac{2 V_2}{q(q+s)} + \frac{2 V_4}{s(q+s)} - \frac{2 V_0}{qs} \quad (1.10)$$

Por lo tanto, sustituyendo los valores de $(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2})_0$ y $(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2})_0$ en la ecuación de Poisson (1.3), da:

$$2 \left\{ \frac{V_1}{p(p+r)} + \frac{V_2}{q(q+s)} + \frac{V_3}{r(p+r)} + \frac{V_4}{s(q+s)} - \left(\frac{1}{pr} + \frac{1}{qs} \right) V_0 \right\} + h^2 \frac{\rho}{\epsilon} = 0 \quad (1.11)$$

Esta ecuación (para valores pequeños de h) es, por lo tanto, una aproximación válida, y esta se usará en lugar de la ecuación de Poisson. Pero debería enfatizarse que, visto que la ecuación diferencial es la misma en cada punto en el campo, una ecuación diferencial particular influye en un punto solamente (sin embargo esta forma es idéntica en muchos puntos).

La forma completamente general de la ecuación de diferencias (1.11) es raramente requerida, pero de esta, por sustitución de los valores apropiados de p , q , r y s , cualquier ecuación necesaria es derivada inmediatamente. De todas las ecuaciones la más usada es la derivada para un nodo en una malla uniforme cuadrada y teniendo un

modelo como el presentado en la figura 2.a. Así, para el nodo 0 de este modelo, poniendo $p = q = r = s = 1$, la ecuación de diferencias es:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 - 4 V_0 + h^2 \frac{\rho}{\epsilon} = 0 \quad (1.12)$$

Para puntos en regiones donde el campo es laplaciano, la ecuación se obtiene poniendo $\rho = 0$ en las ecuaciones 1.11 y 1.12 respectivamente.

El problema del campo puede ser tratado como un grupo de ecuaciones simultáneas, para ser específicos, se considera la simple (pero típica) región del campo laplaciano dentro de un límite cuadrado presentado en la figura 3. Se designa a los nodos del límite con los números del 10 al 25 y los nodos del interior se enumera del 1 al 9. Los valores de potencial en los límites (V_{10} a V_{25}) son dados y estos son requeridos para determinar los valores de potencial en los nodos interiores (V_1 a V_9).

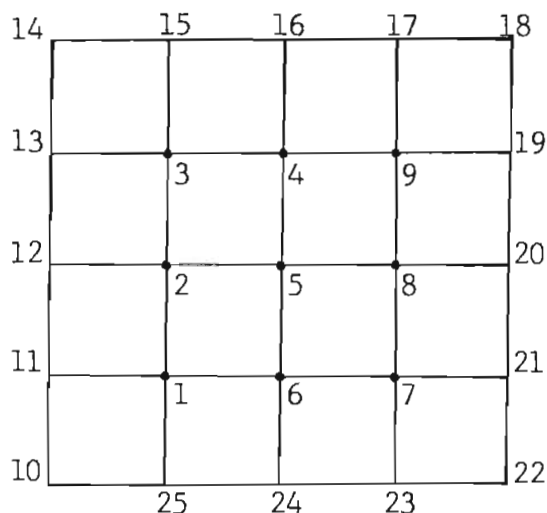


Fig. 3. Malla a resolver con ecuaciones simultáneas.

Esto puede ser realizado fácilmente usando la ecuación 1.12 y haciendo $\rho = 0$ ya que el campo es laplaciano. En cada nodo la ecuación es:

$$\begin{array}{l} \text{nodo 1} \quad V_2 + V_6 + V_{11} + V_{25} - 4 V_1 = 0 \\ \text{nodo 2} \quad V_1 + V_3 + V_5 + V_{12} - 4 V_2 = 0 \\ \text{nodo 3} \quad V_2 + V_4 + V_{13} + V_{15} - 4 V_3 = 0 \\ \text{-----} \quad \text{-----} \\ \text{nodo 7} \quad V_6 + V_8 + V_{21} + V_{23} - 4 V_7 = 0 \\ \text{nodo 8} \quad V_5 + V_7 + V_9 + V_{20} - 4 V_8 = 0 \\ \text{nodo 9} \quad V_4 + V_8 + V_{17} + V_{19} - 4 V_9 = 0 \end{array} \tag{1.13}$$

Los nueve potenciales V_1 a V_9 están por lo tanto relacionados en nueve ecuaciones algebraicas, y ellas pueden ser resueltas como un grupo de ecuaciones simultáneas.

En una manera similar cualquier problema de campo puede ser resuelto como un grupo de ecuaciones de diferencias simultáneas y lineales.

1.1.3. Factor de aceleración

Cada nuevo valor de potencial en la malla es determinado satisfaciendo la ecuación de diferencias básica en términos de los valores previos de potencial en los otros puntos. Así, si V^n designa el potencial después del n ésimo ciclo iterativo, utilizando los valores de potencial más recientemente calculados. Revisando los nodos columna por columna, de izquierda a derecha, y empezando de arri

ba, la forma general de la ecuación de Laplace es:

$$V^{n+1}(I,J) = \frac{1}{4} \{V^n(I+1,J) + V^n(I,J+1) + V^{n+1}(I-1,J) + V^{n+1}(I,J-1)\} \quad (1.14)$$

Aplicando sobre relajación sistemática punto por punto, y básicamente con el mismo grado de sobre-relajación en cada etapa.

Por la introducción de un factor α , el nuevo valor de potencial se determina como la suma de el valor anterior de potencial y α veces la diferencia entre el valor dado por la ecuación 1.14 y el valor anterior.

$$V^{n+1}(I,J) = V^n(I,J) + \frac{\alpha}{4} \{V^n(I+1,J) + V^n(I,J+1) + V^{n+1}(I-1,J) + V^{n+1}(I,J-1) - 4 V^n(I,J)\} \quad (1.15)$$

α es un factor de aceleración que determina el grado de sobre-relajación, y este puede oscilar entre 1 y 2. Cuando $\alpha = 1$, la ecuación 1.15 se reduce a la ecuación 1.14 y cuando $\alpha > 2$ el proceso se convierte en inestable o sea no tiene convergencia. Cuando α tiene un valor mayor que 1 y menor que 2, el rango de convergencia es más alto que para $\alpha = 1$, el factor de aceleración es diferente y propio en cada problema. (Ref. 2)

1.1.4. Areas peligrosas

Una superficie equipotencial es aquella en la que el poten-

cial es el mismo en todos sus puntos. Resolviendo la ecuación de Laplace se obtiene el potencial en cada punto de una matriz, conociendo el potencial y uniendo los puntos de igual valor se dibujan las líneas equipotenciales. Si al analizar las líneas equipotenciales se nota que estas están muy cerca la una de la otra significa que existe concentración de potencial y por consiguiente un alto valor de campo eléctrico.

Una área de las características antes mencionadas es considerada como área peligrosa, debe ser detectada y extraída para luego ampliarla y realizar mejor su análisis.

1.2. CONDICIONES EN LOS LÍMITES ENTRE DIELECTRICOS (Ref. 1)

Las condiciones de límites a ser tratadas se refieren a aquellas que están separando regiones que, en general, tienen diferentes valores de constantes eléctricas.

Hay evidentemente, muchas combinaciones diferentes de ecuaciones que detallan el comportamiento en diferentes formas de límites.

Las constantes dieléctricas de los medios son ϵ_a y ϵ_b respectivamente, y se supone que no hay cargas libres en la superficie límite, si en estas condiciones se aplica la ley de Gauss se obtienen dos importantes conclusiones; primero que las componentes normales de desplazamiento deben ser iguales, es decir:

$$D_{na} = D_{nb} \quad (1.16)$$

Así hay el mismo número de líneas de flujo de desplazamiento entrando por una cara que saliendo por la otra, y las líneas de desplazamiento eléctrico son continuas a través de la superficie límite; y segundo que la componente tangencial del campo eléctrico E es continua en el límite, por tanto,

$$E_{ta} = E_{tb} \quad (1.17)$$

1.2.1. Condiciones en la superficie común entre dieléctricos(Ref.2)

A continuación se aplican las condiciones límites a las diferentes formas de límites para establecer fórmulas matemáticas que permitan calcular el potencial en estos puntos.

Límites paralelos a la malla: caso general. Se considera el límite y los nodos presentados en la figura 4, designando con V_a y ϵ_a las cantidades de V y ϵ en la región a, y V_b y ϵ_b las cantidades V y ϵ en la región b.

Los nodos b...
Todos los nodos en a, incluyendo aquellos en el límite, satisfacen la ecuación de Laplace, y así la ecuación (1.12) con $\rho = 0$ dada para el nodo 0

$$V_{a1} + V_{a2} + V_{a3} + V_{a4} - 4 V_{a0} = 0 \quad (1.18)$$

y todos los nodos en b, obedecen la ecuación de Laplace, así la ecuación (1.12) con $\rho = 0$ dada para el nodo 0

$$V_{D_1} + V_{D_2} + V_{D_3} + V_{D_4} - 4 V_{D_0} = 0 \quad (1.19)$$

Sin embargo, los potenciales V_{a_1} y V_{b_3} no tienen significado físico porque los nodos 1 y 3 están situados fuera de las regiones a y b respectivamente. Tales potenciales son conocidos como ficticios y ellos aparecen frecuentemente para considerar los efectos en los límites. Sin embargo ellos no tienen valor real, no obstante esto, es posible considerarles como cantidades matemáticas para usarles en la obtención de la ecuación para el nodo límite. Esto es porque las condiciones en los límites entre las dos regiones cuando son expresadas en forma de diferencias finitas, también involucran los mismos valores ficticios de V_{a_1} y V_{b_3} los cuales pueden ser involucrados usando las ecuaciones (1.18) y (1.19).

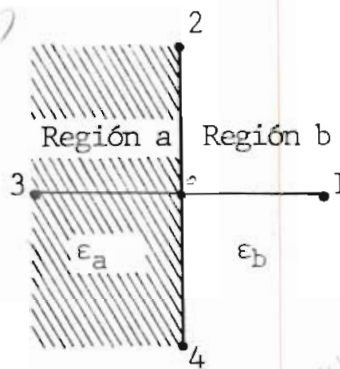


Figura 4.

Las condiciones de límites dan las dos ecuaciones siguientes: por la continuidad del vector potencial entre las dos regiones

$$V_a = V_b \quad (1.20)$$

y, por la continuidad de la componente tangencial del campo eléctrico

co, alrededor del límite

$$\epsilon_a \left(\frac{\partial V_a}{\partial n} \right) = \epsilon_b \left(\frac{\partial V_b}{\partial n} \right) \quad (1.21)$$

donde $\partial V / \partial n$ es el gradiente del vector potencial normal al límite. Expresando en términos del potencial en un nodo m en el límite, la primera de estas ecuaciones da:

$$V_{am} = V_{bm} = V_m \quad (1.22)$$

y sustituyendo por $\partial V_a / \partial n$ y $\partial V_b / \partial n$ en la segunda ecuación da:

$$\epsilon_a (V_{a1} - V_{a3}) = \epsilon_b (V_{b1} - V_{b3}) \quad (1.23)$$

Los valores ficticios, V_{a1} y V_{b3} , son eliminados de la ecuación (1.23) por sustitución directa de las ecuaciones (1.18) y (1.19) respectivamente, y entonces usando la ecuación (1.22) y escribiendo $RE = \epsilon_a / \epsilon_b$ la ecuación de diferencias para el nodo 0 en el límite, queda finalmente,

$$V_{b1} \frac{2}{1+RE} + V_2 + V_{a3} \frac{2 RE}{1+RE} + V_4 - 4 V_0 = 0 \quad (1.24)$$

Siguiendo un procedimiento similar al anterior se puede llegar a obtener las fórmulas que permitan calcular el potencial en las diferentes formas de límites. A continuación se presenta la figura de límite y su correspondiente fórmula matemática.

$$V_{b2} \frac{2}{1+RE} + V_3 + V_{a4} \frac{2 RE}{1+RE} + V_1 - 4 V_0 = 0 \quad (1.25)$$

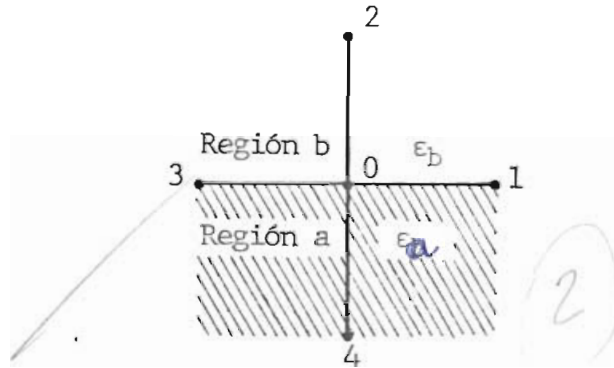


Figura 5

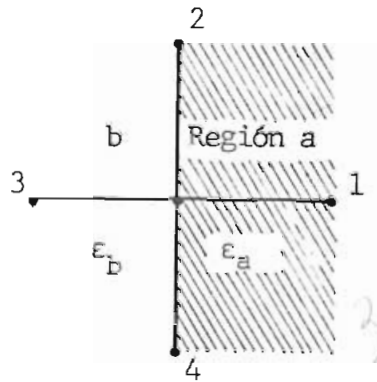


Figura 6

$$V_{b3} \frac{2}{1+RE} + V_4 + V_{a1} \frac{2 RE}{1+RE} + V_2 - 4 V_0 = 0 \quad (1.26)$$

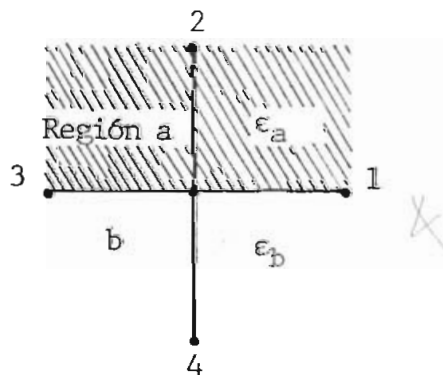


Figura 7

$$V_{b^4} \frac{2}{1+RE} + V_1 + V_{a^2} \frac{2 RE}{1+RE} + V_3 - 4 V_0 = 0 \quad (1.27)$$

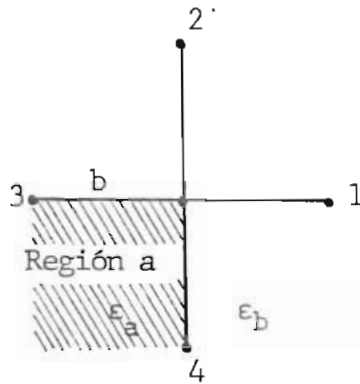


Figura 8

$$V_{b^1} + V_{b^2} + \frac{1}{2}(1+RE)(V_3 + V_4) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.28)$$

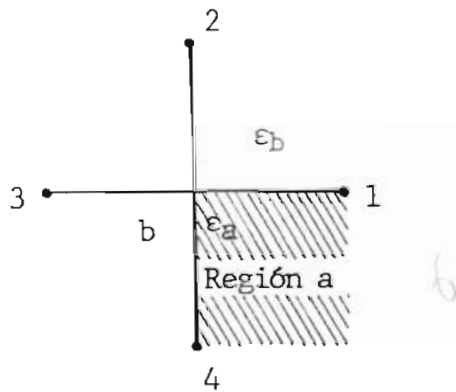


Figura 9

$$V_{b^2} + V_{b^1} + \frac{1}{2}(1+RE)(V_1 + V_4) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.29)$$

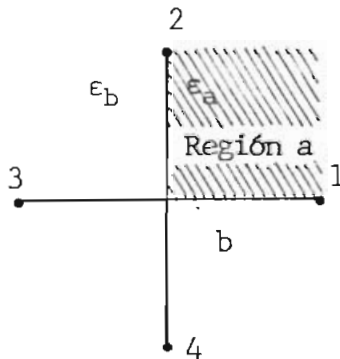


Figura 10

$$V_{b3} + V_{b4} + \frac{1}{2}(1+RE) (V_1 + V_2) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.30)$$

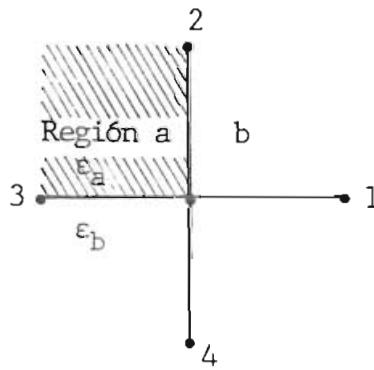


Figura 11

$$V_{b1} + V_{b4} + \frac{1}{2}(1+RE) (V_2 + V_3) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.31)$$

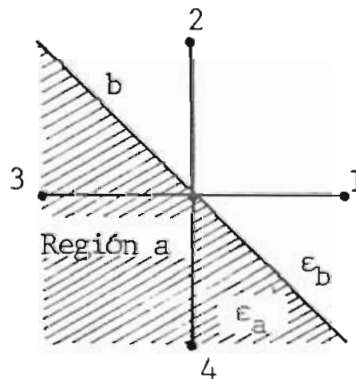


Figura 12

$$V_{b1} + V_{b2} + RE(V_{a3} + V_{a4}) - 2(1+RE)V_0 = 0 \quad (1.32)$$

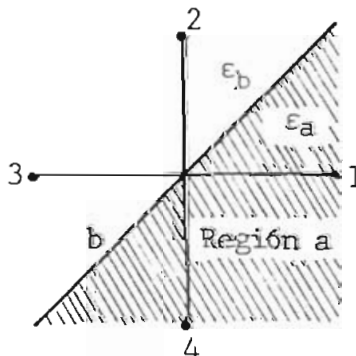


Figura 13

$$V_{b2} + V_{b3} + RE(V_{a1} + V_{a4}) - 2(1+RE)V_0 = 0 \tag{1.33}$$

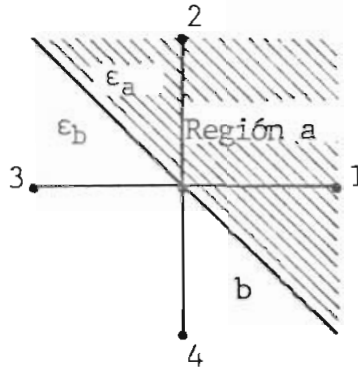


Figura 14

$$V_{b3} + V_{b4} + RE(V_{a1} + V_{a2}) - 2(1+RE)V_0 = 0 \tag{1.34}$$

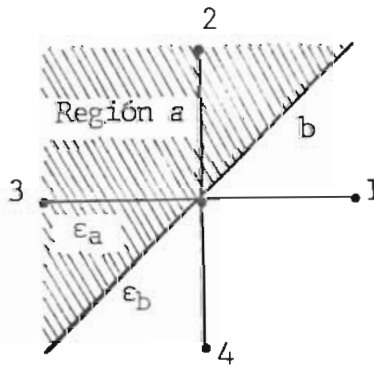


Figura 15

$$V_{b2} + V_{b1} + RE(V_{a3} + V_{a4}) - 2(1+RE)V_0 = 0 \tag{1.35}$$

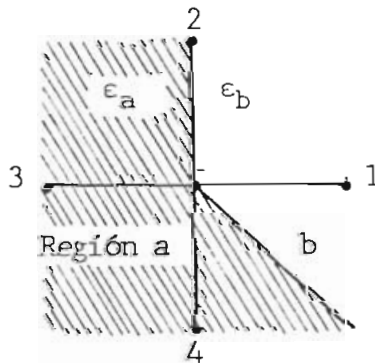


Figura 16

$$V_{b1} + \frac{1}{2}(V_2 + V_{a3} + V_{a4})(1+RE) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.36)$$

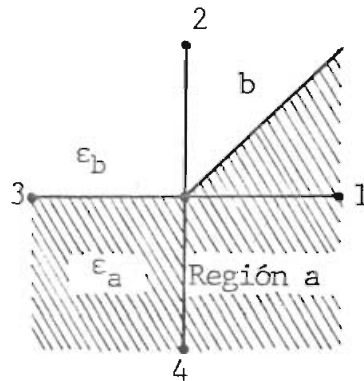


Figura 17

$$V_{b2} + \frac{1}{2}(V_{a1} + V_{a4} + V_3)(1+RE) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.37)$$

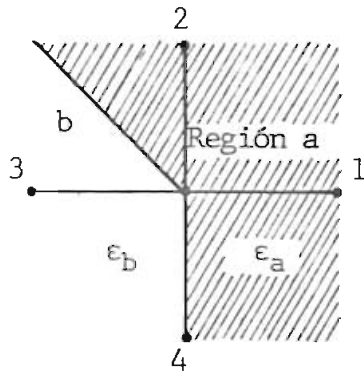


Figura 18

$$V_{b3} + \frac{1}{2}(V_{a1} + V_{a2} + V_4)(1+RE) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.38)$$

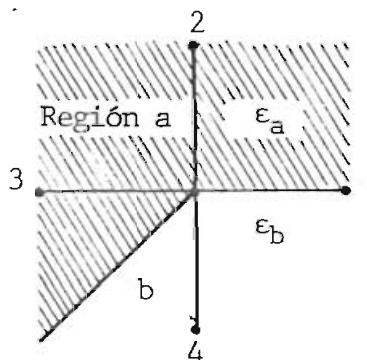


Figura 19

$$V_{b4} + \frac{1}{2}(V_1 + V_{a2} + V_{a3})(1+RE) - (3+RE)V_0 = 0 \quad (1.39)$$

Con las formas límites y sus respectivas fórmulas, fácilmente se puede modelar y simular un aislador en el computador para averiguar su distribución de potencial.

1.3. DISTRIBUCION DE CAMPO ELECTRICO

Toda la teoría desarrollada hasta este punto, es aplicable a dieléctricos ideales donde la densidad de cargas ρ es igual a ce-ro; en un dieléctrico real si existe una pequeña densidad de cargas, que debe ser considerada para poder analizar las pérdidas por conduc-ción en un dieléctrico.

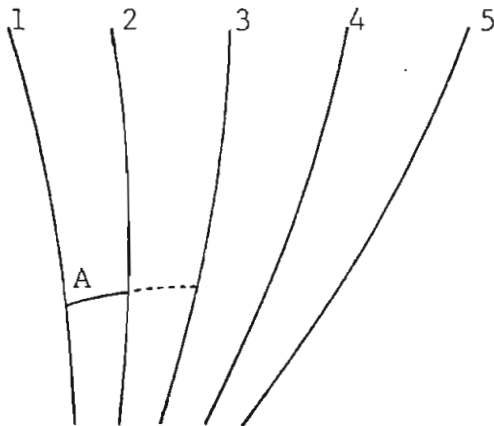
La teoría electromagnética afirma que la intensidad del campo eléctrico y la densidad de flujo eléctrico son perpendiculares a las superficies equipotenciales, en base a lo anterior y a la teoría de cuadrados curvilíneos, a continuación se determina la intensi-dad del campo eléctrico.

1.3.1. Cuadrados Curvilíneos (Ref. 3)

Si por algún método se pudiera conocer la densidad de carga ρ en cada punto del aislador, se podría encontrar la densidad de flujo eléctrico y calcular el campo eléctrico exacto; pero, esto no es posible debido a que no podemos resolver la ecuación de Poisson, se asume $\rho = 0$ y se resuelve la ecuación de Laplace, luego, de una mane-ra muy aproximada se usa el método de cuadrados curvilíneos para de-

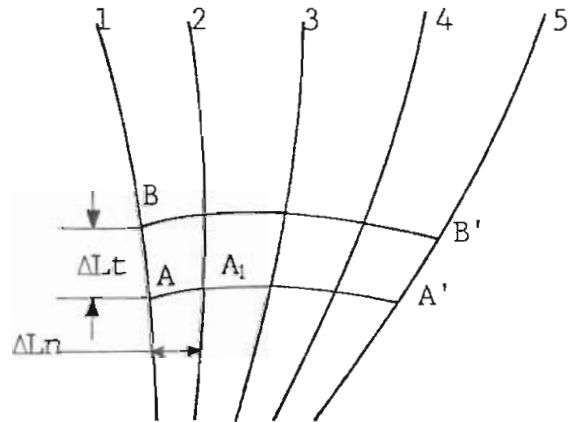
terminar el campo eléctrico.

En la figura 20.a, se han dibujado las superficies equipotenciales de una configuración de electrodos cualquiera, los equipotenciales han sido dibujados con una diferencia de potencial constante entre superficies.



Superficies Equipotenciales

Figura 20.a.



Superficies Equipotenciales

Figura 20.b.

En la superficie equipotencial 1 se escoge un punto A donde comienza la línea del campo eléctrico, esta se aleja del punto A normalmente y cruza la superficie equipotencial 2 formando ángulo recto; en la figura 20.b, se puede apreciar la línea del campo eléctrico completa desde A hasta A'. De una manera similar se puede empezar en B y terminar en B' la otra línea de campo eléctrico.

La intensidad del campo eléctrico en el punto medio de la línea que une A con B puede ser encontrada aproximadamente, asumiendo un valor para el flujo en el tubo AB, sea este flujo $\Delta\psi$, el cual permite expresar la densidad de flujo eléctrico como $\Delta\psi/\Delta L_t$, donde

ΔLt es la longitud de la línea que une desde A hasta B. La magnitud de E es entonces (Ref. 3).

$$E = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{\Delta \Psi}{\Delta Lt} \quad (1.40)$$

Sin embargo, se puede encontrar también la magnitud de E dividiendo la diferencia de potencial existente entre los puntos A y A_1 , entre dos superficies equipotenciales adyacentes, para la distancia de A hasta A_1 . Si la distancia es designada como ΔLn y se asume el incremento de potencial entre equipotenciales de ΔV , entonces:

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta Ln} \quad (1.41)$$

Este valor es aplicado con más exactitud al punto medio del segmento de línea desde A hasta A_1 , mientras que el valor previo fue más exacto en el punto medio del segmento de línea desde A hasta B. Si, de cualquier modo, ΔV y $\Delta \Psi$ se hacen lo más pequeños posibles, los dos valores encontrados para E se convierten en aproximadamente iguales, entonces (Ref. 3).

$$\frac{1}{\epsilon} \frac{\Delta \Psi}{\Delta Lt} = \frac{\Delta V}{\Delta Ln} \quad (1.42)$$

1.4. DENSIDAD DE CORRIENTE Y PERDIDAS (Ref. 3)

Hay corrientes eléctricas que fluyen cuando existe una diferencia de potencial eléctrico. Generalmente la densidad de corriente J es proporcional al campo eléctrico. La densidad de corriente que existe en un aislador tiene dos componentes: Una densidad de co

rriente por conducción J_{σ} , la misma que depende de la resistencia eléctrica del material, y la densidad de corriente capacitiva J_d ; en la figura 21 se puede apreciar el diagrama vectorial de J .

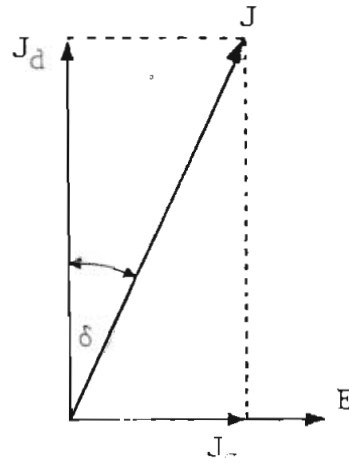


Figura 21

$$\bar{J}_d = j \omega \epsilon E \quad (1.43)$$

$$\bar{J}_{\sigma} = \sigma E \quad (1.44)$$

$$|\bar{J}| = |\sigma + j \omega \epsilon| E \quad (1.45)$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \quad (1.46)$$

El campo eléctrico aplicado a un aislante, determina la aparición de dipolos orientados según su dirección (aproximadamente).

Este fenómeno recibe el nombre de polarización de un dieléctrico que puede resultar de (Ref. 4):

- 1) Polarización de orientación. Las moléculas, si bien neutras, poseen cargas de signo contrario. Puede ocurrir que exista una falta de simetría en la distribución de las car-

gas positivas y negativas y que la molécula aparezca como un dipolo. En ausencia de E las moléculas se encuentran desordenadas y no se tiene efecto macroscópico alguno. Pero al introducir al cuerpo dentro del campo E, se orientan sus moléculas y se presenta el consiguiente efecto macroscópico al disponer el dipolo según la misma dirección de E. Este tipo de polarización se produce en líquidos y sólidos que poseen moléculas asimétricas cuyos momentos de dipolo permanentes pueden ser alineados por E.

- 2) Polarización iónica: Una molécula puede estar constituida por iones unidos entre si por acción electrostática. Si se encuentran en un E aparecen unas fuerzas de sentido contrario sobre las cargas de signo opuesto y hacen una separación de los iones. Los iones desplazados aparecen como dipolos a escala macroscópica. Este tipo de polarización se produce solamente en sustancias iónicas o atómicas.
- 3) Polarización electrónica. La nube de electrones que giran alrededor de cada núcleo atómico experimenta un alargamiento en la dirección contraria al campo aplicado, ya que tales elementos están sujetos a la acción de fuerzas de sentido contrario motivadas por el E externo; este corrimiento de los estratos electrónicos frente al núcleo da lugar a un dipolo. Este tipo de polarización prevalece en todos los dieléctricos.
- 4) Polarización por carga espacial. Se debe a la acumulación



de las cargas en los límites entre las fases de los dieléctricos multifásicos; esta polarización es posible cuando una de las fases presentes posee mucha mayor resistividad que la otra. Se presenta en ferritas, semiconductores y en aisladores compuestos a temperaturas elevadas.

Si la polarización está retrasada a E se produce una pérdida de energía eléctrica que aparece como calor y es proporcional al producto de la permitividad relativa y la tangente del ángulo de retraso δ .

Otra pérdida indeseable de energía en los dieléctricos se debe a la migración de los iones y electrones.

$$\text{Pérdida de potencia} = \sigma E^2 \quad (1.47)$$

El producto $\epsilon_r \tan \delta$ se denomina factor de pérdida que es una indicación útil de la energía pérdida como calor en los dieléctricos.

Los dieléctricos pueden dividirse en materiales de pérdidas bajas y elevadas. Son materiales típicos de pérdidas elevadas los orgánicos polares, lo mismo que los materiales cerámicos con elevada constante dieléctrica como el titanato de bario. Las pérdidas principales de energía en cristales iónicos y vidrios se producen a frecuencias menores que 10^4 cps. Estas pueden atribuirse al relajamiento por salto de iones. Las pérdidas debidas a la vibración de los iones y a la deformación son raramente significativas a las fre-

cuencias usadas en aplicaciones electrónicas o de potencia. Sin embargo, las pérdidas por conducción son apreciables; a frecuencias bajas, éstas aumentan proporcionalmente a medida que disminuye la frecuencia.

1.5. CONTAMINACION AMBIENTAL DE LOS AISLADORES (Ref. 5)

Los aisladores deben soportar el voltaje normal de trabajo de frecuencia industrial, permitiendo además esfuerzos eléctricos originados en sobrevoltajes de maniobra.

La magnitud y distribución de la contaminación depositada no pueden determinarse con precisión a causa de los muchos factores involucrados.

Al analizar los tipos de contaminación, varía mucho según el lugar, pero típicamente consiste de cenizas llevadas por el viento, cementos, hollín, sal, etc.

Las partículas del contaminante están sujetas a varias fuerzas y se moverán en la dirección de la resultante.

Estas fuerzas son: gravitacional, debida al viento y eléctricas. Un análisis cuantitativo de las fuerzas muestra que la dominante es la debida al viento, aún para velocidades bajas; muy cerca del aislador, la velocidad de la partícula se reduce a casi cero y entonces son las fuerzas eléctricas las preponderantes.

Considerese un aislador sujeto a contaminación ambiental.

La iniciación de la descarga puede deberse a:

- a.- Recubrimiento del aislador con depósitos iónicos
- b.- Formación de un electrolito por la adición de humedad a la capa contaminante.
- c.- Corriente de fuga superficiales y secado irregular del electrolito, que provoca descargas superficiales.

La causa efecto descrita en el literal c puede dar origen a un apreciable calentamiento superficial, debido al flujo de corriente en el electrolito que puede ocasionar formación de surcos y proceso de erosión.

Formación de surcos sobre la superficie del aislante: Cuando las corrientes de fuga fluyen a través de la película de electrolito, el calor generado evapora partes de la misma, con la formación subsecuente de bandas secas sujetas a altos esfuerzos eléctricos, en donde se producen descargas localizadas. En los extremos o raíces de la descarga se produce descomposición térmica del aislante. El producto de la descomposición pueden ser residuos conductores y se forma una extensión de las raíces de la descarga.

Proceso de erosión: Si los productos de la descarga son volátiles, y son removidos de cualquier forma por fuerzas de convección o gravitacionales, dándose el proceso de cavitación (erosión).

Dado que las microdescargas o descargas producidas por la

contaminación pueden dar origen a fuertes concentraciones de gradientes de potencial, es necesario analizar estas concentraciones, lo que se hace siguiendo básicamente el proceso descrito para análisis de la distribución de potenciales en el diseño de aisladores (Capítulo II), aunque su localización es aleatoria o determinada por otros medios, como experiencia del diseñador, etc.

Para el análisis de la contaminación ambiental en el computador; se simula una capa del material aislante, una película de vidrio y sobre esta una capa de contaminante, como en la figura 22. Estas capas son analizadas como límites entre aislantes teniendo el material del aislador, el vidrio y el contaminante, diferentes parámetros de permitividad relativa y de conductividad.

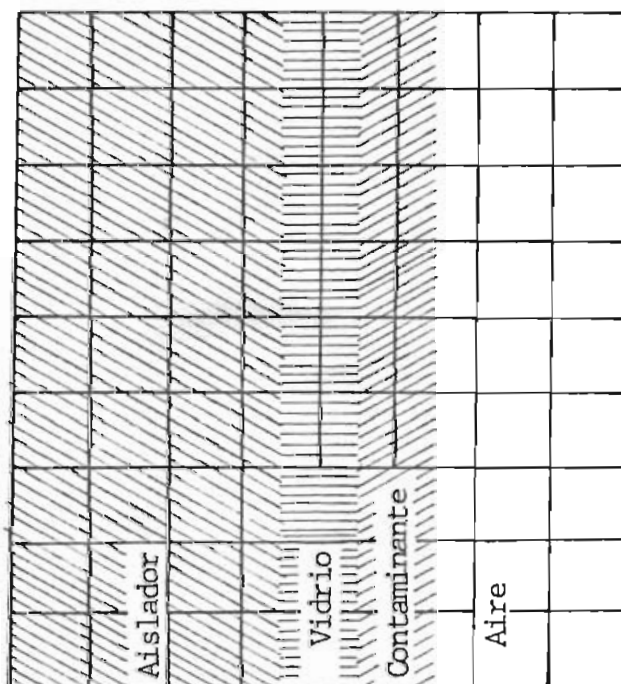


Figura 22

Una área contaminada previamente seleccionada, es analizada ampliándola en dos ocasiones, calculando en forma secuencial los valores de campo eléctrico, densidad de corriente y potencia de pérdida por unidad de volumen.

Según el lugar del área contaminada en el perfil del aislador, puede tener ocho formas similares a las de la figura 22, solo que cambia la posición de vertical a horizontal o inclinada y el orden de materiales: material del aislador, película de vidrio y material contaminante ó material contaminante, película de vidrio y material aislador.

C A P I T U L O I I

PRELISEÑO CON DIFERENTES MATERIALES Y FORMAS DE AISLADORES

2.1. MATERIALES DE LOS AISLADORES

Un perfecto aislador de composición inorgánica, debería reunir las siguientes características: (Ref. 6)

- Rigidez dieléctrica igual a la mica
- Esfuerzo mecánico igual al acero
- Resistencia a la compresión igual al granito
- Calidad de incombustible del sílice
- Acabado de la superficie igual a la ebonita
- Inacción química igual al platino
- Calidad de impermeable como la cera parafina

En la actualidad se fabrican aisladores de varios materiales que se asemejan en cierto grado al aislador ideal, aquí se señala brevemente algunas características del vidrio y de la porcelana.

Vidrio, es un material usualmente duro, quebradizo, de cuerpo transparente y substancialmente insoluble en el agua; tiene apariencia no cristalina y es preparado por la fusión de una multiplicidad de óxidos metálicos. (Ref. 6)

Cerámica, los materiales cerámicos están caracterizados por la excelente estabilidad química y dieléctrica sobre un amplio rango de operación de temperatura y sobre varias condiciones ambientales. Las propiedades mecánicas de los materiales cerámicos son eminentemente satisfactorias. Compuesta por una fase vítrea originada en el feldespato, por un material de relleno que es el cuarzo que le

confiere propiedades de dureza y por las arcillas que le dan las propiedades plásticas.

2.1.1. Porcelana Ideal

De acuerdo a su utilidad en la industria cerámica a las arcillas se las puede dividir en caolín y otras arcillas.

El caolín, es la forma de arcilla más pura que se encuentra en la naturaleza, es de color blanco tanto crudo como calcinado; generalmente es muy refractario (1750 - 1770°C) y tiene baja plasticidad. (Ref. 15).

Las otras arcillas, se caracterizan porque además de su diferente composición y estructura cristalográfica, sus partículas son más finas que las del caolín y generalmente están contaminadas con sustancia orgánica. De acuerdo a sus propiedades y uso, se las ha clasificado en arcillas: grasas, refractarias en alúmina, bentonita, de ladrillos, loess, etc. (Ref. 7). De éstas, las que se utilizan en la fabricación de aisladores eléctricos son: las arcillas grasas y las arcillas compactas.

Las pastas cerámicas que se emplean en la fabricación de aisladores eléctricos, básicamente están constituidas por cuatro materias primas que son: arcilla, caolín, cuarzo y feldespato, en porcentajes que están dentro de ciertos límites; por lo tanto, la calidad del aislador dependerá de la naturaleza de las materias primas.

Los datos que dan los expertos, acerca de la dosificación de la materia prima para la fabricación de los aisladores eléctricos varían grandemente; así, mientras Budnikov (Ref. 8), habla de una composición de 28 % de caolín, 19 % de arcilla, 20 % de cuarzo y 33% de feldespato; Clark (Ref. 6), estudia la pasta de una composición de 50 % de arcilla, 25 % de cuarzo y 25 % de feldespato; Singer (Ref. 7), tabula una serie de pastas que contienen: material arcilloso (caolín y arcilla) en el rango de 43.3 % a 49 %, cuarzo de 27.5 % a 37.3 % y feldespato de 16.8 % a 23.5 %.

Estas variaciones se deben, a que dichos expertos se refieren en términos muy generales a las materias primas, sin aclarar demasiado su composición química; además hay que aclarar que en sus respectivos países, la materia prima que se consigue, a más de ser de alta calidad, es previamente tratada.

2.1.2. Porcelana Nacional (Ref. 8)

En este punto se hace referencia a los resultados obtenidos en la Facultad de Química de la Escuela Politécnica Nacional.

Las materias primas que se han utilizado son: caolín del Puyo, arcilla Lugo, caolín Azogues, arcilla Punín, cuarzo Arenas del Ecuador, cuarzo Misaguallí, feldespato Yaruquíes y feldespato Tapoc.

En la tabla número 1 se indican las composiciones mineralógicas obtenidas para las materias primas a usarse.

Tabla N° 1

Composición racional de las materias primas en %

Materia Prima	Substancia Arcillosa	Feldespatos	Cuarzo
Caolín Azogues	58.58	2.27	36.89
Caolín Puyo	92.22	6.43	-----
Arcilla Punín	68.27	3.73	28.49
Arcilla Lugo	78.64	17.30	-----
Feldespatos Yaruquíes	14.62	45.96	34.64
Feldespatos Tapoc	20.77	42.37	35.37
Cuarzo A del E.	2.3	5.35	91.72
Cuarzo Misagualí	---	3.23	96.34

Con las materias primas antes mencionadas se han elaborado seis pastas con la composición racional que se indica en la tabla número 2.

Tabla N° 2

Composición Racional (%)

Pasta	Substancia Arcillosa	Feldespatos	Cuarzo
IV-1	38.27	20.49	39.86
IV-2	37.91	19.27	40.67
V-1	38.17	16.37	43.57
V-2	36.61	15.93	43.59
VI-1	38.36	16.40	43.40
VI-2	38.90	15.98	43.34

Al final, la calidad de las pastas depende de: (Ref. 8)

- Calidad de las materias primas utilizadas
- Dosificación de las pastas
- Forma de mezclar las materias primas
- Amasado de las pastas
- Maduración de las pastas
- Método y condiciones de moldeo de las pastas
- Secado de las pastas
- Quema de las pastas

Con respecto al influjo de las materias primas, las pastas mencionadas en la tabla N° 2 poseen aceptables propiedades físicas y mecánicas; las pastas V-1 y V-2 muestran buenas propiedades eléctricas (Ref. 8). Al comparar las pastas obtenidas por el prensado en seco con las obtenidas, por el método húmedo, en este último se mejoran las propiedades físicas y las propiedades eléctricas son comparables entre si (Ref. 8). Además, un tratamiento previo de purificación de las materias primas, mejoraría las características del producto final (Ref. 8). granja N.

2.1.3. Otros Materiales

Existen otros dos minerales con estructuras afines a las de los minerales de arcilla, los cuales son un tanto plásticos. Son los silicatos de magnesio hidratados: talco y esteatita, y el silicato de aluminio pirofilita. Sus estructuras son laminares y pueden ser moldeados por presión en estado húmedo, especialmente si están fina-

mente molidos.

Con el talco y las esteatitas se obtienen pastas muy adecuadas para aisladores eléctricos, especialmente de alto voltaje, ya que tienen excelentes propiedades eléctricas. Estas pastas están constituidas por porcentajes altos de esteatita o talco (70 - 90 %) con pequeñas cantidades de arcillas y feldespatos (Ref. 6)

Las materias primas no plásticas se utilizan en las pastas con el fin de: reducir la plasticidad y con ella el tiempo de secado y la contracción durante el mismo; aumentar la resistencia en fresco y algunas veces también la resistencia después de la quema. Los más importantes son el sílice y el feldespato.

El sílice en las pastas cerámicas, reduce la plasticidad de la arcilla y ayuda a prevenir cuarteaduras de la pieza durante el secado y la quema, pues disminuye la contracción. Actúa como una especie de armazón que retiene la forma durante la quema (Ref. 9). Debe cuidarse, sin embargo, que durante el proceso de quema los cambios - de las formas alotrópicas no produzcan tensiones en las piezas.

El feldespato actúa como elemento ligante, pues a la temperatura de quema se reblandece y se vuelve líquido; y, por un lado moja las partículas aun sólidas de arcilla y cuarzo, las mismas que se mantienen unidas debido a la tensión superficial; y por otro se distribuye a través de los poros y disuelve una parte de los sólidos, puede también intervenir en reacciones químicas generalmente incompletas.

En las pastas para cerámica eléctrica la conductividad disminuye al sustituir el sodio por el potasio en el feldespató. La resistividad volumétrica, a temperaturas aumenta con la disminución de álcalisis (Ref. 7).

2.2. MODELADO DE AISLADORES TIPO

La forma del aislador es otro parámetro importante en su diseño, a más del material, pues de ella depende la distribución de potenciales que evitará la presencia de gradientes de voltaje peligrosas; además se controla la distancia superficial del arqueo entre electrodos, sujetándose a normas y condiciones ambientales de trabajo del aislador. También es posible que una forma adecuada impida o reduzca la contaminación superficial, que es un factor muy importante a controlarse en nuestro medio, principalmente en las regiones tropicales. Por todo esto el modelado del aislador es un factor muy importante en el proceso de diseño.

Además, la aproximación de la forma del aislador, que se lo gre similar en el computador, tiene especial importancia, porque de esto depende la exactitud de la información del comportamiento eléctrico de tal o cual aislador, que se pueda obtener.

Las fórmulas que involucran condiciones límites desarrolladas en el capítulo I, son implementadas en el computador en forma de subprogramas Functions. Con las "Functions" se da la forma del aislador según un corte transversal y se simulan las variables eléctricas que determinan la calidad del aislador.

2.2.1. Aislador tipo rollo (Ref. 10)

Este tipo de aisladores son usados en distribución de la energía eléctrica. El acabado de estos aisladores puede ser vidriado o sin vidriar; sin vidriar para utilización en condiciones secas y vidriado para funcionar expuestos a la interperie.

Los materiales que se emplean para su fabricación son: porcelana, esteatita o vidrio. La propiedad eléctrica principal es la resistividad.

A continuación se presenta el análisis del comportamiento eléctrico del aislador, para su mejor comprensión se detalla lo siguiente:

- Gráfico del aislador, figura 23 (sombreada la parte analizada)
- Las hojas de codificación de los datos (págs. 42 y 43)
- Las hojas de resultados del programa digital (págs. 44 - 50)

Se analiza en detalle el comportamiento eléctrico del aislador rollo 53-1 (Ref. 10). Dada la simetría del aislador, en un primer paso se analiza solo la ^{1/4}cuarta parte como indica la parte sombreada de la figura 23.

Para obtener la matriz de potencial el programa requiere de los datos de contorno, pero una parte de estos coinciden con la receta que une el centro del conductor y el punto de contacto entre el aislador y el conductor (línea A A en la fig. 23); como los datos de

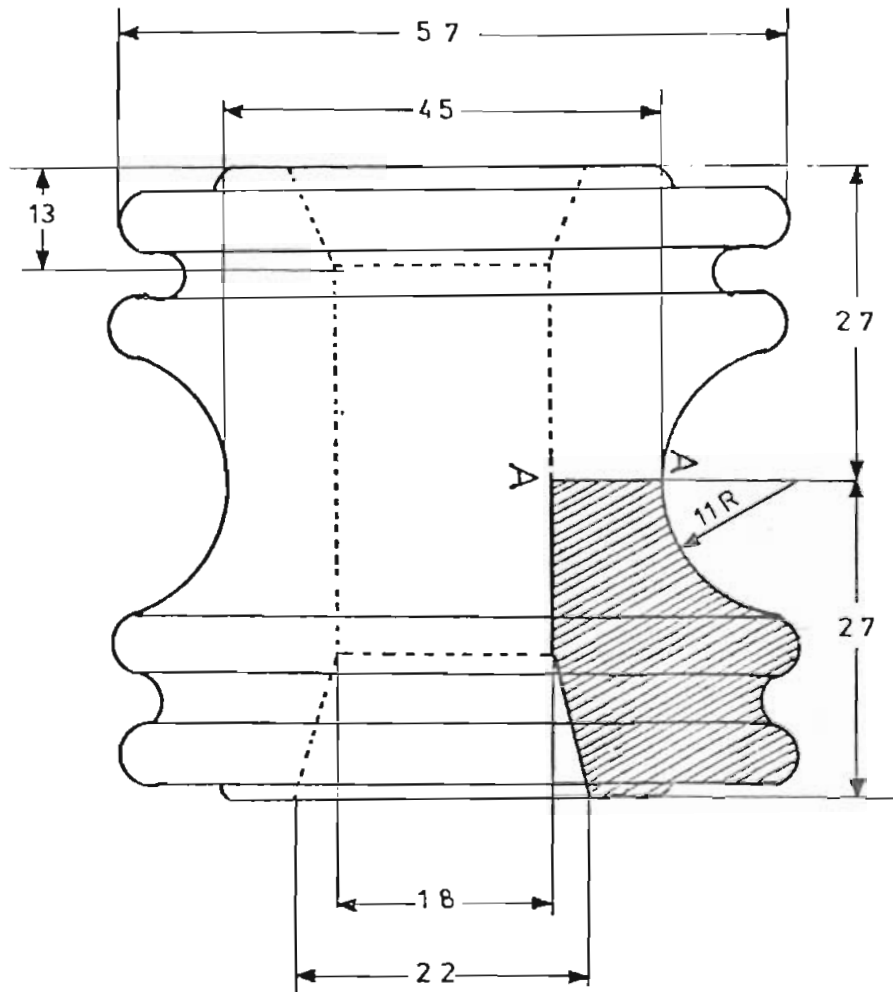
contorno son aproximados, no se puede esperar del programa resultados exactos pero si lo suficientemente confiables como para determinar los valores de contorno de otra sección del aislador a analizarse.

Al observar los valores según la lectura matricial indicada en el capítulo I de campo eléctrico, se tiene el valor más alto de 102 V/cm ubicado en $I = 15$ y $J = 29$ que corresponde al espacio(aire) entre el aislador y el conductor, confirmándose que el voltaje de disrupción de una lámina dieléctrica frecuentemente se encuentra fuera del área de contacto (Ref. 5).

Como es lógico, en el mismo punto se hace presente el valor mayor de densidad de corriente igual a 205×10^{-5} Amp/m², (Pág. 49).

Además la potencia de pérdida por unidad de volumen también es la más alta, 21 ω /m³. (Ver pág. 50).

El punto definido con $I = 15$ y $J = 29$ por tener los valores más altos de campo eléctrico, densidad de corriente y pérdidas por unidad de volumen, es considerado el punto más peligroso.



- NOTAS: Figura No 23
- (1) Escala 1,5: 1
- (2) Todas las dimensiones están en milímetros

AISLADOR ROLLO. CLASE 53-1

E S C U E L A P O L I T E C N I C A M A C I O N A L

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

TESIS DE GRADO
REALIZADO POR: RENE CORREA
DISEÑADO POR: ING. PAUL AYORA G.
PROGRAMA DIGITAL PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO ELECTRICO DE LOS AISLADORES
SE RESUELVE LA ECUACION DE LAPLACE POR EL METODO DE DIFERENCIAS FINITAS

DESCRIPCION DE VARIABLES
=====

MAX >>> DIMENSIONA LA MATRIZ DONDE SE SIMULA EL AISLADOR A ANALIZARSE
VOLT >>> ES EL VOLTAJE PARA QUE FUE DISEÑADO EL AISLADOR (VOLTIOS)
INDO >>> TIPO DE AISLADOR ANALIZADO
UAB >>> FORMA DEL AREA CONTAMINADA ANALIZADA
UCT >>> PERMITIVIDAD DEL MATERIAL DEL AISLADOR (ADIMENSIONAL)
CONDC >>> PERMITIVIDAD DE LA CAPA DE VIDRIO (ADIMENSIONAL)
DELL >>> CONDUCTIVIDAD DE LOS MATERIALS CONTAMINANTES (ADIMENSIONAL)
ALFA >>> CONDUCTIVIDAD DEL AISLADOR (OHMOS/METRO)
IX >>> REDUCCION DE DIMENSION CON CONTAMINANTE (OHMOS/METRO)
IY >>> FACTOR DE ACELERACION DEL AISLADOR (METROS)
IZ >>> COORDENADA X DE INICIO DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
NPV >>> COORDENADA Y DE INICIO DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
U >>> COORDENADA X DE FIN DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
V >>> COORDENADA Y DE FIN DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
Z >>> BARREN LA MATRIZ BUSCANDO AREAS PELIGROSAS (INDICES)
DIB >>> INDICA SI SE ESTA EL AISLADOR COMPLETO O UN AREA PELIGROSA
E >>> ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS INICIALES DE POTENCIALES DEL AISLADOR
P >>> VALOR DE DIFERENCIA DE POTENCIAL CONSIDERADO PELIGROSO (VOLTIOS-PORCENTAJE)
ITERAT >>> ARREGLO QUE ALMACENA LOS CARACTERES DE LOS POTENCIALES DEL AISLADOR
CONV >>> ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS DE CAMPO ELECTRICO DEL AISLADOR
NMIT >>> ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS DE DENSIDAD DE CORRIENTE DEL AISLADOR
7FN >>> ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS DE PERDIDAS POR UNIDAD DE VOLUMEN
FP >>> EN EL AISLADOR
FU >>> ITERAT INDICA EL NUMERO DE ITERACIONES QUE SE EMPLEARON HASTA LLEGAR A LA SOLUCION

A I S L A D O R T I P O R O L L O C L A S E 53-1 MITAD

D A T O S D E E N T R A D A

MAX = 33 VOLT = 120.00 ALFA = 1.532 DELL = 0.00113500
INDI = 3 Z = 40.00 JAB = 3.000 COVD = 0.00000020
INDO = 1 CONDC = 0.00010 UPV = 5.0000 UCT = 1000.0000
IY = 5 JY = 19 COV = 0.0010 NMIT = 60
FN = 60 FP = 1000

VALORES DE CAMPO ELECTRICO EV V/M

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 100

10	10	13	13	15	15	17	18	21	21	20	22	27	27	25	26	27	27	25	24	27	28	26	22	24								
10	11	12	13	13	14	14	14	15	16	17	18	20	21	22	25	28	28	27	28	28	28	28	30	30	28	26	25					
11	11	12	12	13	13	14	14	14	15	16	17	18	20	21	23	25	32	28	28	29	30	30	31	32	33	33	32	30	31			
11	12	12	13	13	14	15	15	16	17	18	19	21	22	24	27	32	39	27	28	30	31	33	33	34	36	37	36	35	33	32		
12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	18	19	21	22	24	27	30	37	42	28	31	34	35	37	38	40	43	41	38	35	33	
12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	18	19	21	22	23	25	26	33	35	30	34	36	38	40	43	45	53	45	42	36	33	
12	13	13	13	14	14	15	15	16	16	17	18	19	20	22	23	23	22	25	31	37	38	39	41	44	48	48	24	6	6	0	0	
13	13	13	13	14	14	15	16	16	17	18	19	20	21	23	23	24	28	58	45	41	40	42	48	59	30	6	9	4	0	0	0	
13	13	13	13	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	23	25	27	33	47	44	39	39	41	44	50	6	0	5	0	0	0	0	
13	13	13	13	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	23	25	28	33	39	43	42	37	38	40	41	6	0	6	0	0	0	0	
13	13	13	13	14	14	15	16	16	17	18	19	20	22	23	25	28	32	37	42	47	43	34	35	37	6	0	6	0	0	0	0	
13	13	13	13	14	14	15	16	17	17	18	20	21	22	24	25	29	32	37	42	47	53	44	31	36	6	0	5	0	0	0	0	
12	13	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	23	25	27	29	33	36	41	45	51	58	47	37	23	6	9	4	0	0	0	
12	12	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	23	25	27	29	32	35	39	43	48	53	60	50	45	35	5	6	0	0	0	
12	12	12	13	13	14	14	15	16	17	17	19	20	21	23	24	25	29	31	34	37	43	43	47	54	67	82	102	48	88	17	13	13
11	12	12	12	13	13	14	15	16	17	18	20	21	22	24	26	28	30	32	35	37	39	41	44	41	23	2	50	52	41	26	26	26
11	11	12	12	13	13	14	14	15	16	17	18	19	20	22	23	25	27	29	31	33	34	36	38	39	38	33	46	49	48	44	44	44
11	11	11	12	12	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	26	27	29	31	32	34	36	37	38	38	42	45	46	45	44	44
10	10	11	11	12	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	26	27	29	31	33	35	36	37	39	41	43	45	45	45	45
9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	28	30	32	34	35	37	39	41	43	44	46	46	46
9	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	26	28	30	31	33	35	36	38	40	42	45	48	54	54
8	9	9	10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	24	25	27	29	31	32	34	35	37	39	41	44	47	52	52	52
8	8	8	9	9	10	10	11	12	12	13	14	15	15	16	17	20	22	23	25	27	28	30	31	33	35	36	38	40	43	46	49	49
7	7	8	8	9	9	10	10	11	12	12	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	27	29	31	32	34	35	37	39	41	43	46	46
6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	13	15	16	17	18	20	21	22	24	25	27	28	30	31	33	34	36	37	38	39	39	39
5	6	6	7	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	21	22	23	25	25	27	29	30	32	33	34	36	37	38	38	38
4	5	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	25	27	28	29	31	32	33	34	35	36	37	37
4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	29	30	31	32	33	34	34	36	36
3	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	31	32	32	32	31	31
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28	29	30	31	31	31	31	31	31
1	2	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	31	31	31	31
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28	29	29	30	30	30	30	30

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5

20	21	26	26	27	31	30	26	27	28	30	35	37	42	42	40	45	53	55	31	53	54	55	55	53	49	55	37	52	44	48	
21	22	24	25	26	27	29	28	28	30	32	35	37	40	42	45	50	56	56	35	56	57	57	57	57	60	50	57	53	51		
22	23	24	25	26	27	28	28	29	29	30	32	34	37	40	43	45	53	54	57	57	61	63	56	57	69	72	74	73	70	67	55
23	24	25	26	27	29	30	31	32	34	36	39	42	45	49	55	64	79	55	57	61	63	68	71	74	76	81	86	32	77	71	66
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	37	39	42	45	49	51	75	45	37	63	68	71	74	76	81	86	32	77	71	66	
25	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	37	39	42	44	47	50	53	66	50	52	59	73	77	81	86	91	107	34	84	73	66
25	26	26	27	28	29	30	31	32	33	35	37	39	41	44	45	46	45	51	102	75	76	78	82	89	98	97	49	12	12	0	0
26	26	26	27	28	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	45	47	48	57	132	31	82	81	85	96	119	60	12	18	9	0	0
26	26	26	27	27	28	29	30	31	33	34	36	38	41	43	45	50	55	67	95	99	79	79	83	89	100	12	0	12	0	0	0
26	26	26	27	27	28	29	30	31	32	34	36	38	40	43	46	50	56	66	79	84	74	76	80	83	12	0	12	0	0	0	0
26	26	26	27	28	28	29	30	32	33	35	37	39	41	44	47	51	56	54	74	35	95	86	69	71	74	12	0	12	0	0	0
26	26	26	27	28	28	29	31	32	34	35	37	40	42	45	49	53	58	55	74	84	94	105	88	52	72	12	0	12	0	0	0
25	26	26	27	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	50	54	59	66	73	82	91	102	117	74	74	46	12	18	9	0	0
25	25	26	26	27	28	29	31	32	34	35	38	40	43	46	50	54	59	65	71	78	87	96	107	122	100	90	70	12	12	0	0
24	25	25	26	27	28	29	30	32	34	35	38	40	43	46	49	53	58	53	58	74	81	87	94	108	135	162	205	35	56	35	26
23	24	25	25	26	27	29	30	31	33	35	37	40	42	45	48	52	56	61	65	70	75	79	83	88	82	47	146	1105	83	53	
23	23	24	25	26	27	29	29	31	32	34	36	39	41	44	47	50	54	58	62	56	69	72	77	79	76	68	93	33	95	89	88
22	22	23	24	25	26	27	28	30	32	34	36	38	40	43	45	49	52	55	59	52	65	69	73	75	76	77	85	31	92	90	89
21	21	22	23	24	25	26	28	29	31	32	34	37	39	41	44	47	49	52	55	59	63	67	70	73	75	78	83	37	90	91	90
19	20	21	22	23	24	25	27	28	30	31	33	35	37	40	42	44	47	50	53	57	61	65	68	71	74	78	82	36	89	92	93
18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	30	32	34	35	38	40	42	46	49	53	56	60	63	66	70	73	77	81	35	90	96	108
17	18	19	19	20	22	23	24	25	27	29	30	32	34	36	39	42	45	48	52	55	58	62	65	68	71	75	79	33	89	95	104
15	16	17	18	19	20	21	23	24	25	27	29	30	33	36	39	41	44	47	50	54	57	60	63	66	70	73	77	31	86	92	99
14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25	28	30	33	35	38	41	43	46	49	52	55	59	62	65	68	71	74	78	82	87	93
13	13	14	15	16	17	18	20	21	23	25	27	30	32	34	37	40	43	45	48	51	54	57	50	63	66	69	72	75	78	79	78
11	12	13	14	15	16	17	18	20	22	24	27	29	31	34	35	39	42	44	47	50	53	55	58	61	64	66	69	72	74	76	77
9	10	11	12	13	14	15	18	20	22	24	26	28	31	33	35	38	41	43	46	49	51	54	57	59	62	64	67	59	71	72	75
8	9	9	10	11	13	15	17	19	21	23	25	27	30	32	35	37	40	42	45	47	50	53	55	58	60	62	64	56	63	69	73
6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	27	29	31	34	35	38	41	44	45	49	51	54	56	58	60	62	54	65	65	63
4	5	6	8	10	11	13	15	17	19	21	23	26	28	30	33	35	37	40	42	45	47	50	52	54	57	59	60	52	52	63	52
3	3	5	7	9	11	12	14	16	18	20	22	25	27	29	31	34	36	39	41	44	46	48	51	53	55	57	59	30	61	62	52
1	3	4	6	8	10	12	13	15	17	19	22	24	26	28	30	33	35	37	40	42	45	47	50	52	54	56	58	53	60	61	51

El segundo paso en el análisis del aislador rollo 53-1, es determinar el comportamiento en su parte central donde descansa el conductor, como se indica en el área sombreada de la figura 24. Los datos de contorno se tomaron del análisis anterior, es decir, los valores de la columna $J = 15$ del aislador 53-1 "mitad" (área sombreada de la figura 23) pasan a constituir la columna $J = 1$ del aislador "mitad recorrido" (área sombreada de la figura 24); estos mismos valores se los adscribe a la columna $J = 33$ por efectos de simetría, - constituyendo las nuevas condiciones de contorno para el análisis del segmento indicado del aislador, así, los resultados obtenidos tienen un grado de confiabilidad mejor que el anterior.

Con el fin de evitar el alto valor de campo eléctrico (102 V/cm), observado en el aislador 53-1 "mitad", al aislador 53-1 "mitad recorrido" se le añadió una película semiconductor superficial, que físicamente puede ser una brochada de barniz semiconductor. En el computador esta característica se hace presente poniendo valores de potencial de cien por ciento a lo largo de la capa de barniz.

La determinación de la longitud de la capa de barniz, no se hace matemáticamente sino, experimentando en el computador con varias corridas, sabiendo que existe un valor óptimo, el cual corresponde a una disminución del campo eléctrico peligroso en el aire a valores aceptables y que al mismo tiempo evite la aparición de gradientes de potencial altos en el seno del dieléctrico.

Con la modificación, en los resultados del computador se observa una mejor distribución del potencial y lo que es más importan-

te, desaparecen los valores altos, que ahora en menor valor se encuentran donde termina la capa de barniz siendo estos: campo eléctrico 82 V/cm, densidad de corriente 165×10^{-5} Amp/m² y potencia de pérdidas por unidad de volumen 13 ω /m³ (ver páginas 59-61)

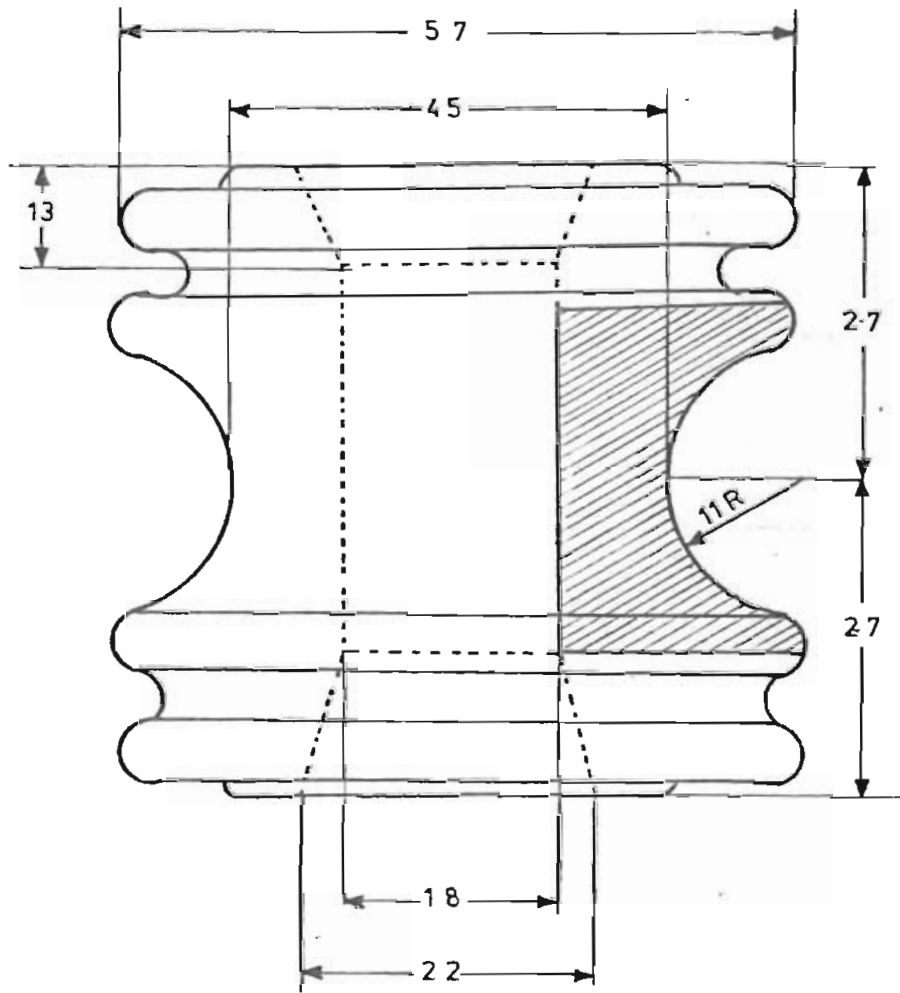


Figura No 24

NOTAS:

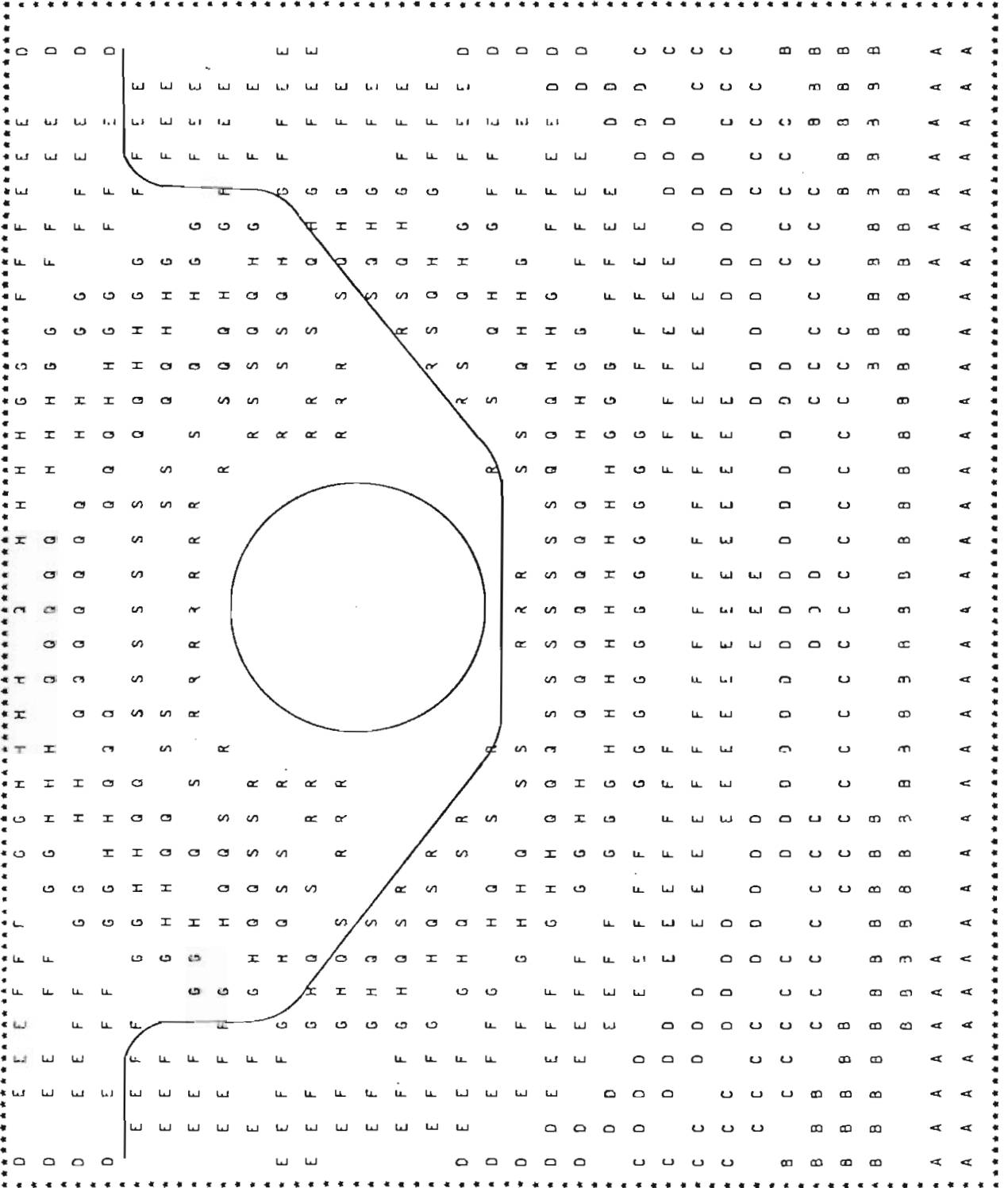
(1) Escala 1.5: 1

(2) Todas las dimensiones están en milímetros

AISLADOR ROLLO. CLASE 53_1

GRANICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 9.26 C = 18.74 D = 28.01
 E = 38.36 F = 46.38 G = 57.27 H = 65.32
 Q = 73.78 S = 82.95



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

ESTOS VALORES SE DESEN MULTIPLICAR POR 100

17	18	16	21	22	25	21	22	22	22	20	17	19	17	11	11	17	19	17	20	22	22	22	21	25	22	21	16	18	17					
20	20	20	22	23	23	23	23	23	22	21	20	20	18	15	15	18	20	20	21	22	23	23	23	23	23	23	23	22	20	20				
19	20	24	23	23	24	24	24	24	24	23	23	21	19	19	21	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	24	20	19				
20	23	26	24	24	25	26	26	26	26	27	27	25	24	23	23	24	26	27	27	25	26	26	26	25	25	24	25	25	23	20				
20	22	25	29	23	25	27	28	28	28	30	31	30	28	25	26	28	30	31	30	28	28	28	28	27	25	23	29	25	22	20				
20	22	25	26	21	27	29	30	30	31	31	34	36	35	32	30	30	32	35	36	34	31	31	30	30	29	27	21	26	23	22	20			
22	21	20	20	21	33	33	33	33	33	35	38	45	43	56	52	32	36	43	43	38	35	33	33	33	33	33	41	20	20	21	22			
22	23	23	26	32	41	37	35	34	34	37	43	28	7	0	0	0	7	28	43	37	34	34	35	37	41	52	26	23	23	22				
24	25	27	32	3	42	40	37	35	33	34	38	7	0	0	0	0	7	38	34	33	35	37	40	42	43	32	27	25	24					
22	26	29	34	41	46	42	40	34	30	28	28	0	0	0	0	0	0	23	28	30	34	40	42	46	41	34	27	26	22					
27	27	30	34	40	46	48	47	36	27	21	19	0	0	0	0	0	0	19	21	27	36	47	48	46	40	34	30	27	27					
27	28	31	34	38	45	55	44	45	24	14	11	0	0	0	0	0	0	11	14	24	45	74	55	45	38	34	31	28	27					
29	30	32	36	40	47	58	82	35	10	5	5	0	0	0	0	0	5	5	10	35	92	58	47	40	36	32	30	29						
26	30	33	36	40	46	54	62	59	23	3	8	7	0	0	0	0	7	8	3	29	59	62	54	46	40	36	33	30	26					
29	30	32	35	39	44	49	53	54	54	27	8	9	7	0	0	0	7	9	8	25	54	54	53	49	44	39	35	32	30	29				
28	30	32	34	37	41	44	47	49	53	61	43	25	7	0	0	0	7	25	33	52	53	49	47	44	41	37	34	32	30	28				
26	28	30	32	35	38	40	42	45	49	52	52	55	49	45	46	49	55	52	52	49	45	42	40	38	35	32	30	28	26					
26	27	29	31	33	35	36	39	42	45	47	49	52	50	47	45	45	47	50	52	49	47	45	42	39	36	35	33	31	29	27	26			
23	25	27	29	30	32	34	36	39	41	43	45	45	45	44	42	44	45	46	45	43	41	39	36	34	32	30	29	27	25	23				
22	24	25	27	28	29	32	34	37	38	40	41	42	41	40	39	39	40	41	42	41	40	38	36	34	32	29	28	27	25	24	22			
21	22	24	25	26	28	30	32	34	36	37	38	38	38	38	37	37	38	38	38	37	36	34	32	30	28	26	25	24	22	21				
20	21	22	23	25	27	29	30	32	33	35	35	35	35	34	34	35	35	36	35	35	33	32	30	29	27	25	23	22	21	20				
19	19	21	22	24	26	27	29	30	31	32	33	33	33	33	32	32	33	33	33	33	32	31	30	29	27	26	24	22	21	19	19			
17	18	20	21	23	24	26	27	28	30	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	30	30	29	27	26	24	23	21	20	18	17			
16	17	19	20	22	23	25	26	27	28	29	29	30	30	29	29	29	30	29	29	29	28	27	26	25	23	22	20	19	17	16				
15	17	18	19	21	22	23	25	26	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	27	27	26	25	23	22	21	19	18	17	15			
14	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	25	24	22	21	20	19	17	16	14				
14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	19	18	16	15	14				
15	14	16	17	18	19	21	22	23	23	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	19	18	17	16	14	13				
12	14	15	16	17	19	20	21	22	23	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	17	16	15	14	12		
12	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12		
19	22	24	26	28	30	32	34	36	37	39	40	41	42	42	42	42	41	40	39	37	36	34	32	30	28	25	24	22	19					

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5

35	36	32	42	44	50	43	44	45	45	44	41	34	39	34	23	23	34	39	34	41	44	45	45	44	43	50	44	12	32	36	35		
40	40	41	44	46	48	47	47	47	46	45	43	41	41	37	31	31	37	41	41	43	45	46	47	47	47	48	46	44	41	40	40		
38	41	48	47	47	48	49	49	49	48	48	47	46	43	39	38	43	46	47	48	48	49	49	49	49	49	48	47	47	48	41	38		
40	46	52	51	48	50	51	52	53	53	52	54	54	52	49	45	45	49	52	54	54	52	53	53	52	51	50	48	51	52	46	40		
41	45	51	59	46	51	54	56	57	57	57	60	62	60	57	53	53	57	60	62	50	57	57	57	56	54	51	46	59	51	45	41		
41	44	46	53	42	54	59	61	61	52	63	58	73	71	65	50	60	65	71	73	59	63	62	61	51	59	54	42	33	46	44	41		
45	43	40	41	63	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66		
44	46	46	52	40	82	75	71	69	69	74	87	58	15	0	0	0	0	15	58	97	74	69	69	71	75	82	104	52	46	46	44		
49	50	55	64	87	84	80	75	70	67	69	77	15	0	0	0	0	0	15	77	69	67	70	75	80	84	87	54	55	50	49	49		
45	52	59	69	83	92	84	81	69	51	57	56	0	0	0	0	0	0	0	35	57	61	69	81	84	92	83	59	59	52	45	45		
54	55	61	69	81	93	95	94	72	54	43	38	0	0	0	0	0	0	0	38	43	54	72	34	94	93	81	59	61	55	54	54		
54	57	62	68	77	90	110	148	91	48	29	23	0	0	0	0	0	0	0	23	29	48	91	110	90	77	59	62	57	54	54	54		
58	60	65	72	81	95	117	165	71	21	10	12	0	0	0	0	0	0	0	12	10	21	70	55	17	95	81	72	65	60	58	58		
53	60	66	73	81	93	108	125	119	58	7	16	13	0	0	0	0	0	0	15	16	7	98	119	125	108	93	81	73	66	60	53		
59	61	65	71	79	88	98	106	108	109	58	16	19	16	0	0	0	0	0	15	19	16	99	109	108	106	98	88	79	71	65	61	59	
57	60	64	69	75	82	89	94	98	107	123	91	52	15	0	0	0	0	0	15	52	112	107	98	94	89	82	75	59	64	60	57		
52	57	61	66	70	76	81	85	91	98	106	105	125	111	98	93	93	98	111	125	104	105	98	91	85	81	76	70	56	61	57	52		
53	54	58	62	66	70	73	78	84	91	95	99	104	100	94	90	90	94	100	104	98	95	90	84	78	73	70	66	52	58	54	53		
46	51	54	58	61	64	68	73	79	84	87	90	92	91	88	95	85	88	91	92	90	87	84	79	73	68	64	51	38	54	51	46		
45	48	51	54	56	60	64	69	74	77	81	83	84	83	82	79	79	82	83	84	83	81	77	74	59	64	60	56	34	51	48	45		
43	45	48	50	53	57	61	65	69	72	75	76	77	77	76	74	74	76	77	77	76	75	72	69	55	61	57	53	30	48	45	43		
41	42	44	47	51	54	58	61	65	67	70	71	72	72	71	59	69	71	72	72	71	70	67	65	51	58	54	51	17	44	42	41		
34	39	42	45	48	52	55	58	61	63	65	67	67	67	66	65	65	66	67	67	66	65	63	61	58	55	52	48	45	42	39	38		
35	37	40	43	46	49	52	55	58	60	61	63	63	63	62	62	63	63	63	63	63	61	60	58	55	52	49	46	43	40	37	35		
32	35	38	41	44	47	50	52	55	56	58	59	60	60	59	59	60	60	60	60	59	58	56	55	52	50	47	44	41	38	35	32		
31	34	37	39	42	45	47	50	52	54	55	56	57	57	57	56	56	57	57	56	55	54	52	50	47	45	42	39	37	34	31	28		
29	32	35	38	40	43	45	48	50	51	53	54	54	55	55	54	54	55	54	53	51	50	48	45	43	40	38	35	32	29	26	23		
28	31	33	36	39	41	43	45	47	49	50	52	52	53	53	52	53	53	52	52	50	49	47	46	43	41	39	36	33	31	28	25		
26	29	32	34	37	39	42	44	46	47	49	50	51	51	51	51	51	51	51	51	50	49	47	46	44	42	39	37	34	32	29	26		
25	28	30	33	35	38	40	42	44	46	47	48	49	50	50	50	50	50	50	50	49	48	47	46	44	42	40	38	35	33	30	28	25	
24	26	29	31	34	36	39	41	43	44	45	47	48	49	49	49	49	49	49	49	48	47	46	44	43	41	39	36	34	31	29	26	24	
22	25	27	30	33	35	37	39	41	43	45	46	47	48	49	49	49	49	49	49	48	47	46	45	43	41	39	37	35	33	30	28	25	22

Analizando en el aislador 53-1 "mitad recorrido", los valores de campo eléctrico, densidad de corriente y potencia de pérdidas por unidad de volumen, se puede ver que entre los valores más altos y los que se encuentran dentro del aislador debajo del conductor existe una diferencia apreciable. Esto da la idea de que se puede disminuir el espesor del aislador.

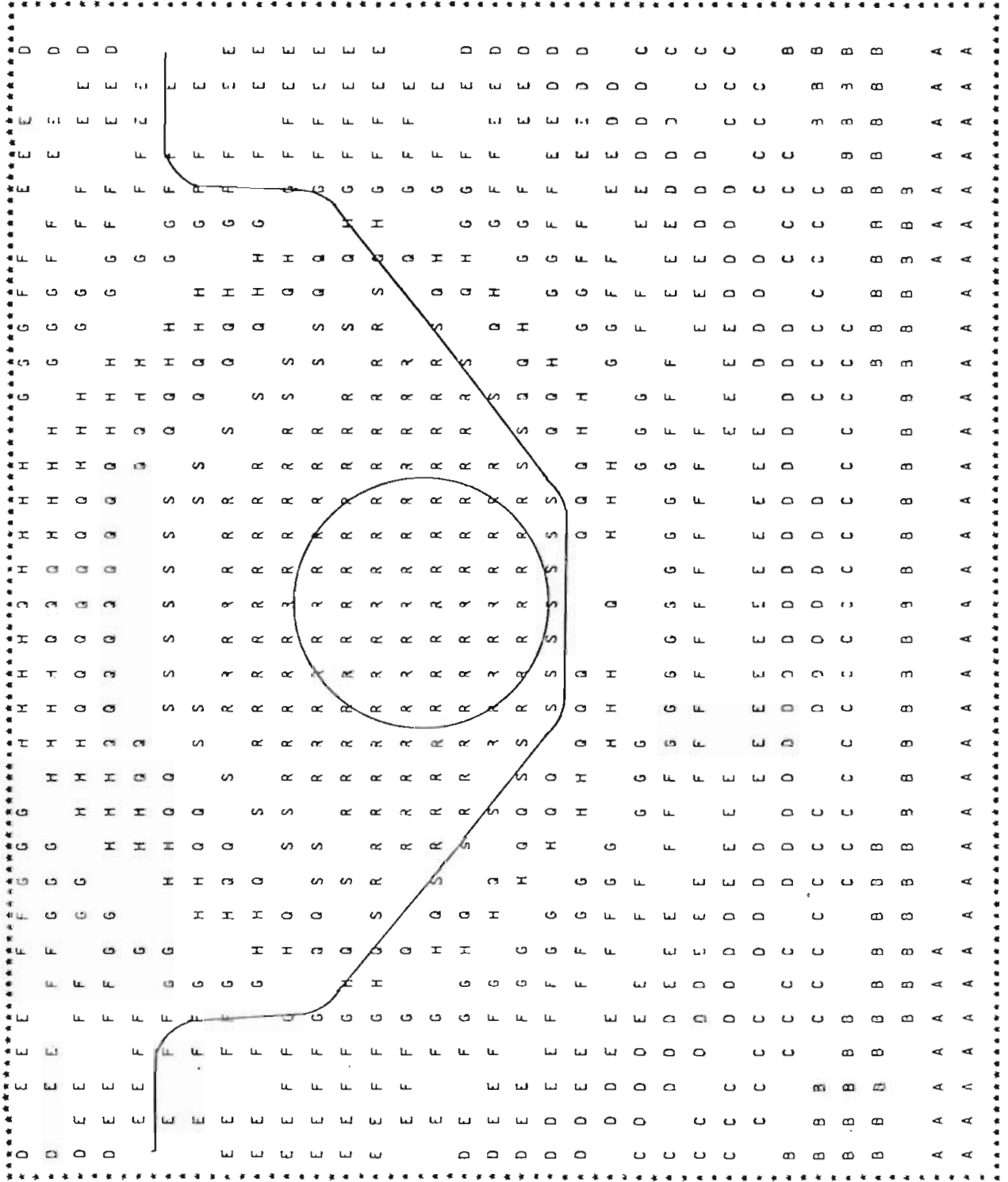
Los siguientes reportes de la computadora, son el resultado de reducir el espesor del aislador en la sección circular. En lo que tiene que ver con las cantidades eléctricas se anotan las siguientes características, (Ver págs. 63 - 68).

- Los valores más altos son constantes y se mantienen en la misma posición.
- Los valores inmediatamente debajo del conductor se incrementan, pero sin alcanzar a los valores más altos.

Considerando que los aisladores de bajo voltaje tienen poca probabilidad de estar sometidos a sobrevoltajes, se puede disminuir el espesor en la parte curva en 1.5 mm, de los 19.5 mm que es el valor normalizado. El objeto es obtener una distribución de campos eléctricos más uniforme.

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 9.44 C = 19.11 D = 28.31
E = 35.66 F = 47.17 G = 55.53 H = 67.40
I = 75.09 J = 86.41 K = 95.41



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 100

17	18	16	21	22	25	21	22	22	22	21	20	16	18	15	10	10	15	18	16	20	21	22	22	22	21	25	22	21	16	18	17
20	19	20	22	22	23	23	23	22	20	19	19	16	13	13	16	19	19	20	22	22	23	23	23	23	23	23	22	20	19	20	19
19	20	24	23	23	24	24	24	23	23	22	21	19	17	17	19	21	22	23	23	24	24	24	24	24	24	24	23	23	24	20	19
20	23	26	23	23	24	25	26	26	25	24	22	20	20	22	24	25	26	25	25	26	26	25	24	23	26	26	23	20	20	19	
20	22	25	29	28	25	27	28	28	28	29	29	27	24	22	22	24	27	29	29	28	28	20	27	27	25	22	29	25	22	20	
20	22	23	26	21	27	29	30	30	30	31	34	36	31	27	24	24	27	31	36	34	31	30	30	30	29	27	21	26	23	22	20
22	21	20	20	41	32	33	32	32	33	34	39	48	40	28	25	25	28	40	48	39	34	33	32	32	33	32	41	20	20	21	22
21	23	25	26	52	41	37	35	34	34	36	45	22	15	22	23	23	22	15	22	45	35	34	34	35	37	41	52	25	23	23	21
24	25	27	32	33	42	39	37	35	33	33	33	7	0	0	0	0	7	33	33	33	33	35	37	39	42	43	52	27	25	24	
22	26	29	34	41	46	42	40	34	30	28	29	7	0	0	0	0	0	7	23	28	30	34	40	42	46	41	34	29	26	22	
27	27	30	34	40	46	48	47	36	27	22	20	0	0	0	0	0	0	0	20	22	27	36	47	48	46	40	34	30	27	27	
27	28	31	34	38	45	55	44	46	24	15	12	0	0	0	0	0	0	12	15	24	46	74	55	45	38	34	31	28	27		
29	30	32	35	40	47	58	42	35	10	5	6	0	0	0	0	0	0	6	5	10	35	82	58	47	40	35	32	30	29		
27	30	33	36	40	46	53	62	59	28	3	8	7	0	0	0	0	0	7	8	3	28	58	52	53	46	40	36	33	30	27	
29	30	33	36	39	44	48	52	53	53	28	9	7	7	0	0	0	0	7	9	28	53	53	52	48	44	39	36	33	30	29	
28	30	32	34	37	41	44	47	48	51	58	40	22	7	0	0	0	0	7	22	30	58	51	48	47	44	41	37	34	32	30	28
26	28	31	33	35	38	40	42	44	47	49	45	42	27	0	0	0	0	27	35	45	49	47	44	42	40	38	35	33	31	28	26
27	27	29	31	33	35	37	38	41	44	46	48	53	67	60	54	54	60	57	53	48	46	44	41	38	37	35	33	31	29	27	27
23	26	27	29	31	32	34	36	39	41	44	46	50	54	53	50	55	54	50	45	44	41	39	36	34	32	31	29	27	26	23	
23	24	26	27	29	30	32	35	37	39	41	43	46	47	47	45	45	47	47	46	43	41	39	37	35	32	30	29	27	26	24	23
22	23	24	25	26	29	31	33	35	37	39	40	42	43	42	41	41	42	43	42	40	39	37	35	33	31	29	26	25	24	23	22
21	21	22	23	25	27	29	31	33	35	36	37	39	39	38	38	39	39	39	37	36	35	33	31	29	27	25	24	22	21	21	
19	20	21	23	24	26	28	30	31	33	34	35	36	36	35	35	36	36	36	35	34	33	31	30	28	26	24	23	21	20	19	
18	18	20	22	23	25	27	28	30	31	32	33	33	34	34	33	33	34	34	33	33	32	31	30	28	27	25	23	22	20	18	18
16	18	19	21	22	24	25	27	28	29	30	31	31	32	32	31	31	32	32	31	31	30	29	28	27	25	24	22	21	19	18	16
15	17	18	20	21	23	24	25	27	28	29	29	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	28	27	25	24	23	21	20	18	17	15
15	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	28	29	29	28	28	29	29	28	28	27	26	25	24	23	22	20	19	18	16	15
14	15	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	25	24	23	22	21	20	18	17	15	14
13	15	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26	26	27	27	27	27	27	27	26	26	25	24	23	22	21	20	19	17	16	15	13
12	14	15	17	18	19	20	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	19	18	17	15	14	12
12	13	14	16	17	18	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	24	24	23	22	21	20	18	17	16	14	13	12	
11	12	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	18	16	15	14	12	11

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5

35	36	32	42	44	50	43	44	44	44	43	40	32	37	31	20	20	31	37	32	40	43	44	44	44	43	50	44	42	32	36	35	
40	39	41	44	45	47	46	46	46	45	44	41	39	38	33	27	27	33	38	39	41	44	45	46	46	46	47	45	44	41	39	40	
38	41	40	46	47	48	48	49	49	48	46	46	44	42	38	34	34	38	42	44	45	45	48	49	49	48	48	47	47	48	41	38	
40	46	52	51	47	49	51	52	52	51	51	52	51	48	44	40	40	44	48	51	52	51	51	52	52	51	49	47	51	52	46	40	
41	45	50	50	45	51	54	55	55	56	57	59	59	55	49	43	45	49	55	59	59	57	56	56	55	54	51	45	58	50	45	41	
40	44	46	53	42	54	58	60	61	61	52	68	72	62	54	49	49	54	62	72	58	62	61	61	60	58	54	42	53	46	44	40	
45	43	40	41	82	65	66	65	65	66	69	79	97	80	56	30	50	56	80	97	73	69	66	65	55	66	65	82	11	40	43	45	
43	46	46	52	104	82	75	71	69	59	73	90	44	31	45	47	47	45	31	44	30	73	69	69	71	75	82	104	52	45	46	43	
49	50	55	64	87	84	79	75	70	56	66	67	15	18	0	0	0	0	15	15	57	66	66	70	75	79	84	87	54	55	50	49	
45	52	59	69	83	92	84	80	69	51	57	58	15	0	0	0	0	0	15	38	57	61	69	80	84	92	93	59	59	52	45		
54	55	61	69	81	93	85	94	72	55	44	40	0	0	0	0	0	0	40	44	55	72	34	96	93	81	59	61	55	54			
54	57	62	68	77	90	110	119	92	49	30	24	0	0	0	0	0	0	24	30	49	92	149	110	90	77	58	62	57	54			
58	60	65	71	81	94	115	165	71	21	10	12	0	0	0	0	0	0	12	10	21	71	154	116	94	81	71	65	60	58			
54	60	66	73	81	93	108	124	118	57	7	16	15	0	0	0	0	0	15	16	7	57	118	124	107	93	81	73	66	60	54		
59	61	66	72	79	88	97	105	107	106	56	18	15	15	0	0	0	0	15	15	18	56	106	105	97	88	79	72	66	61	59		
57	60	64	69	75	82	89	94	97	103	117	81	45	15	0	0	0	0	15	45	81	117	103	97	94	88	82	75	69	64	60	57	
53	57	62	66	71	76	81	85	89	95	99	91	54	54	0	0	0	0	54	54	91	99	95	89	85	81	76	71	65	62	57	53	
54	55	59	62	66	71	74	77	83	89	93	95	107	133	120	109	108	120	133	107	35	93	89	83	77	74	71	66	52	59	55	54	
47	52	55	59	62	65	68	73	79	84	88	93	100	109	106	101	101	106	109	100	33	88	83	79	73	68	65	62	59	55	52	47	
46	49	52	55	58	60	65	70	74	79	83	87	92	95	95	91	91	95	95	92	87	83	79	74	70	65	60	58	55	52	49	46	
44	46	49	51	53	58	62	66	70	74	78	81	84	86	85	83	83	85	86	84	81	78	74	70	66	62	58	53	51	47	46	44	
42	43	45	47	51	55	59	63	66	70	73	76	78	79	78	77	77	78	79	78	76	73	70	66	63	59	55	51	48	45	43	42	
39	40	42	46	49	53	55	60	63	66	68	71	72	73	72	71	71	72	73	72	71	68	66	63	50	56	53	49	45	42	40	39	
36	37	41	44	47	50	54	57	60	62	64	66	67	68	68	65	65	68	68	67	55	55	64	62	60	57	54	50	47	44	41	37	36
33	36	39	42	45	48	51	54	57	59	61	62	63	64	64	63	63	64	64	63	62	61	59	57	54	51	48	45	42	39	36	33	
31	34	37	40	43	46	49	52	54	56	58	59	60	61	60	60	60	61	60	59	58	56	54	52	49	46	43	40	37	34	31		
30	33	36	38	41	44	47	49	51	53	55	56	57	58	58	57	57	58	58	57	55	55	53	51	49	47	44	41	38	35	33	30	
28	31	34	37	40	42	45	47	49	51	53	54	55	55	55	55	55	55	55	55	54	53	51	49	47	45	42	40	37	34	31	28	
27	30	32	35	38	40	43	45	47	49	51	52	53	54	54	54	54	54	54	53	52	51	49	47	45	43	40	38	35	32	30	27	
25	28	31	34	36	39	41	44	46	48	49	50	51	52	52	52	52	52	52	52	51	50	49	48	46	44	41	39	36	34	31	28	25
24	27	29	32	35	37	40	42	44	46	48	49	50	51	52	52	52	52	52	51	50	49	48	46	44	42	40	37	35	32	29	27	24
22	25	28	31	33	36	38	41	43	45	47	48	49	50	51	51	51	51	51	50	49	48	47	45	43	41	38	36	33	31	28	25	22

2.2.2. Aislador Tipo Suspensión 52-4 (Ref. 11)

Este tipo de aisladores son usados en distribución y transmisión de la energía eléctrica, sus propiedades principales son la resistividad y la rigidez dieléctrica.

El material utilizado debe ser completamente vitricado - con absorción de agua nula, cubierto por un vidriado de coeficiente de expansión ligeramente más bajo que el de la pasta a fin de que se consigan los mayores aumentos de resistencia con la aplicación del vidriado. De este modo se consigue una completa impermeabilidad y resistencia al hielo, junto con una resistencia mecánica excelente tanto en tracción como en compresión. Mediante el empleo de vidriados o revestimientos semiconductores en las zonas que están en contacto con las superficies metálicas, se consigue reducir el efecto corona (Ref. 12) al reducir el gradiente de potencial, en una forma similar a la explicada al analizar el aislador 53-1.

A continuación se presenta el comportamiento eléctrico del aislador, para su mejor comprensión se detalla lo siguiente:

- Gráfico del aislador, figura 25.
- Las hojas de codificación de los datos (págs. 71 y 72)
- Las hojas de resultados del programa digital (págs. 73 - 78)

En la figura 25 está el aislador 52-4, se analiza en forma total, análisis que nos da una idea bastante aproximada del comportamiento eléctrico, porque los datos de contorno son también aproximados.

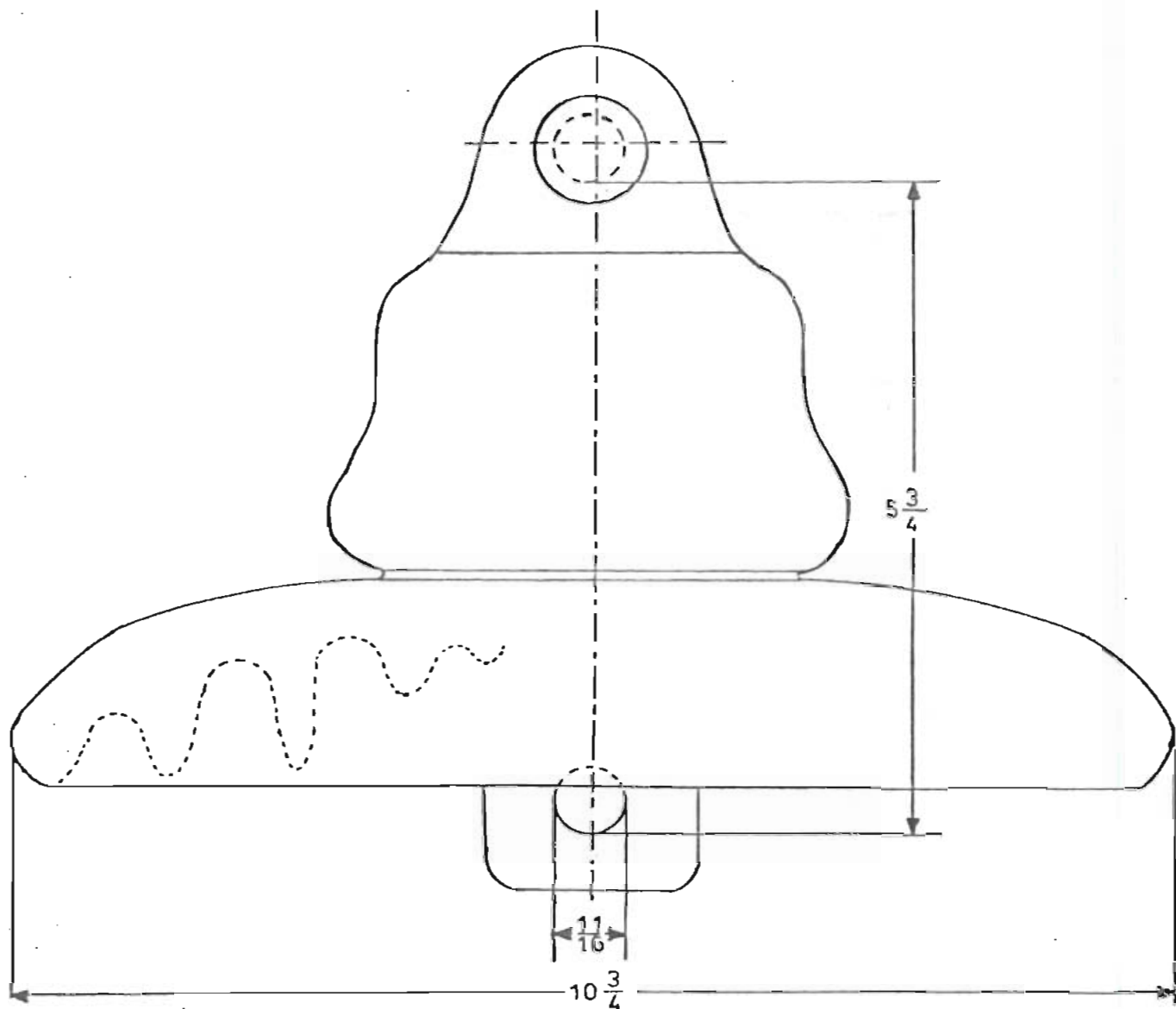


Figura No 25

NOTAS :

(1) Escala 1 : 15

(2) Todas las dimensiones están en pulgadas

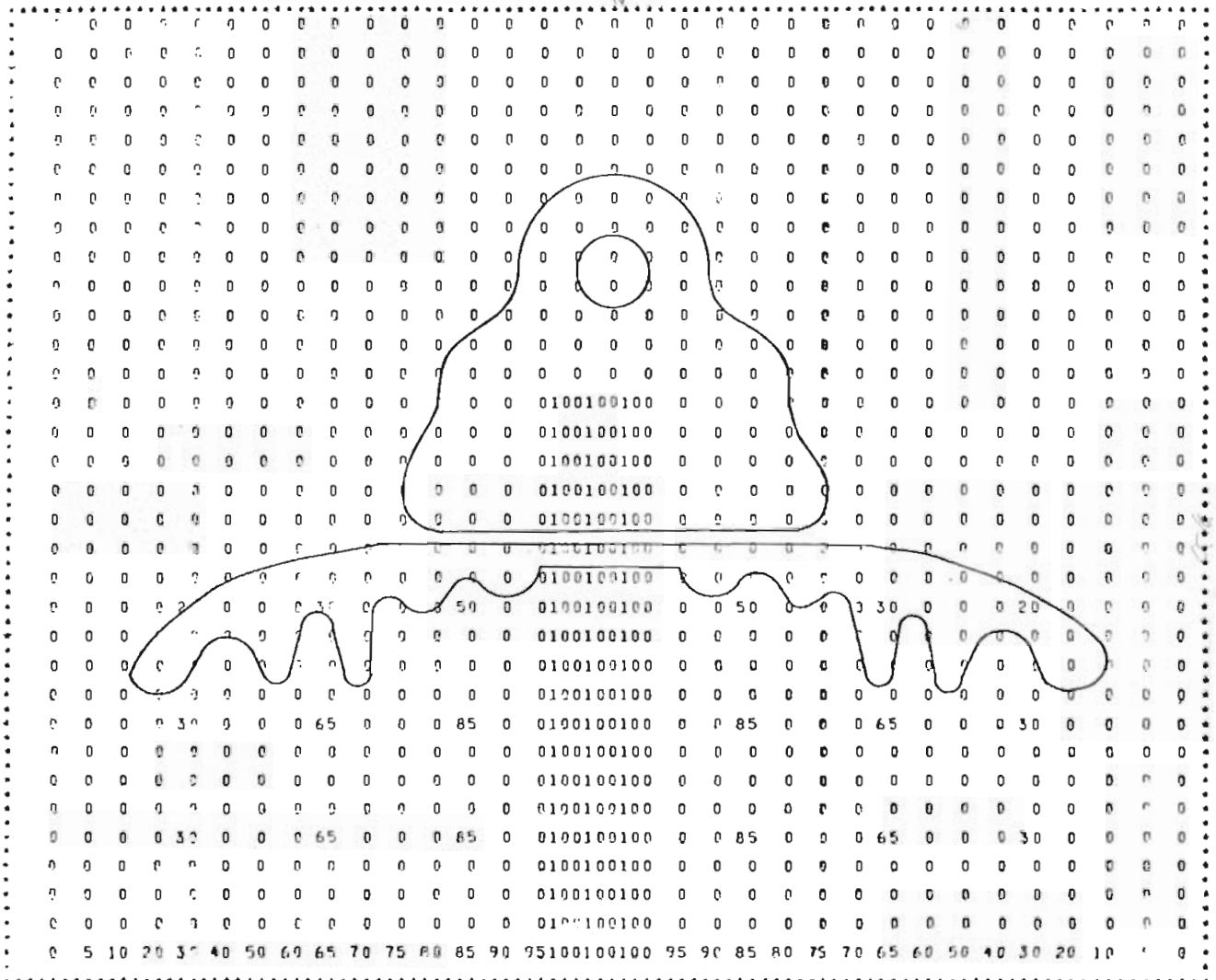
AISLADOR DE SUSPENSION, CLASE 52-4

.....
A I S L A D O R D E S U S P E N S I O N C L A S E 52-4 I N T E R O
.....

.....
D A T O S D E E N T R A D A
.....

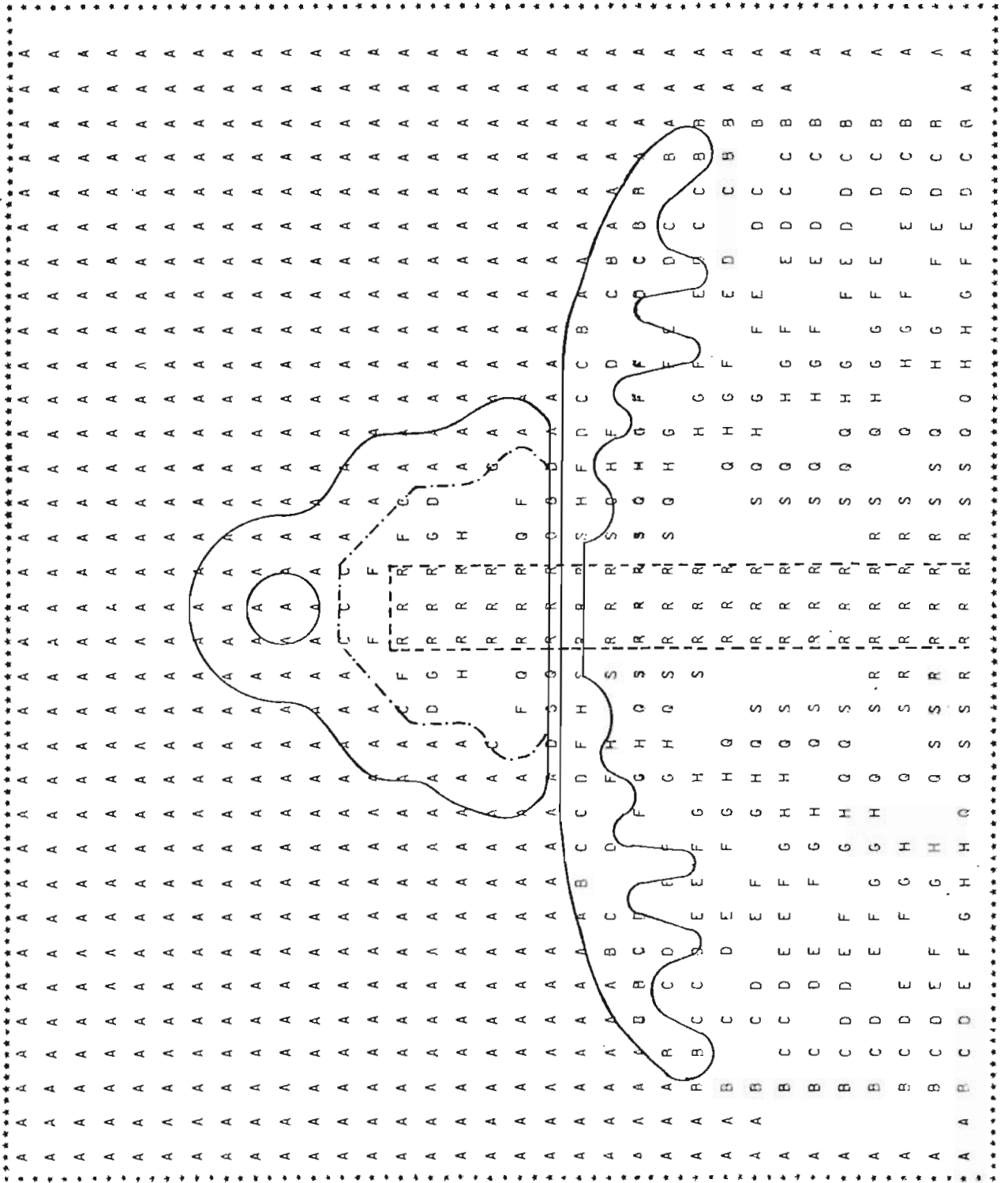
MAX = 33	VOLT = 10000.00	ALFA = 1.532	DFLL = 0.00975180
INDI = 6	Z = 40.00	VAR = 3.000	CONO = 0.00000020
INDO = 2	CONDC = 0.00010	UPV = 5.0000	UCT = 1000.0000
IX = 22	JY = 8	CONV = 0.0010	NHIT = 60
FN = 60	FP = 1000		

.....
D A T O S I N I C I A L E S D E L A M A T R I Z D E P O T E N C I A L
.....



GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 2.02 B = 10.64 C = 20.14 D = 29.80
 E = 39.64 F = 49.50 G = 59.43 H = 67.02
 R = 76.89 S = 86.93



Con los datos de potencial obtenidos en el análisis del aislador 52-4 y aprovechando la simetría del aislador, se pasa a analizar el mismo aislador pero solo la mitad, como se indica en la parte sombreada de la figura 26.

Este tipo de aisladores está dentro del grupo de aisladores de alto voltaje, por lo tanto, están expuestos a soportar sobrevoltajes que pueden clasificarse en tres grupos:

- 1.- Sobrevoltajes permanentes de baja frecuencia debidos a desequilibrios en las redes.
- 2.- Sobrevoltajes transitorios de alta frecuencia debidos a la operación de interruptores.
- 3.- Sobrevoltajes transitorios debidos a descargas eléctricas - atmosféricas.

Además, si los aisladores están colocados a la interperie, que es el caso más frecuente en las instalaciones de alto voltaje, habrá que considerar el comportamiento de los aisladores bajo condiciones de contaminación.

En el capítulo I de esta tesis se analizó la contaminación ambiental de los aisladores, una de las consecuencias es la formación de bandas secas, en donde se producen descargas localizadas.

Para el análisis en el computador, se asume la aparición de una banda seca pequeña, a cuyos extremos se desplazan potenciales lejanos originando un alto gradiente de potencial. Para esto se ampli

fica la zona de análisis por dos ocasiones. En la primera se produce ya una mejor resolución de los nuevos potenciales en los alrededores de la banda seca. En la segunda ampliación la resolución se la considera como la adecuada para el análisis del problema eléctrico, pues es nueve veces las dimensiones lineales u ochenta y uno las de superficie.

Para encontrar los valores de densidad de corriente y pérdidas por unidad de volumen se incrementa el valor de la frecuencia de 60 Hz. (frecuencia nominal) a 1000 Hz (alta frecuencia).

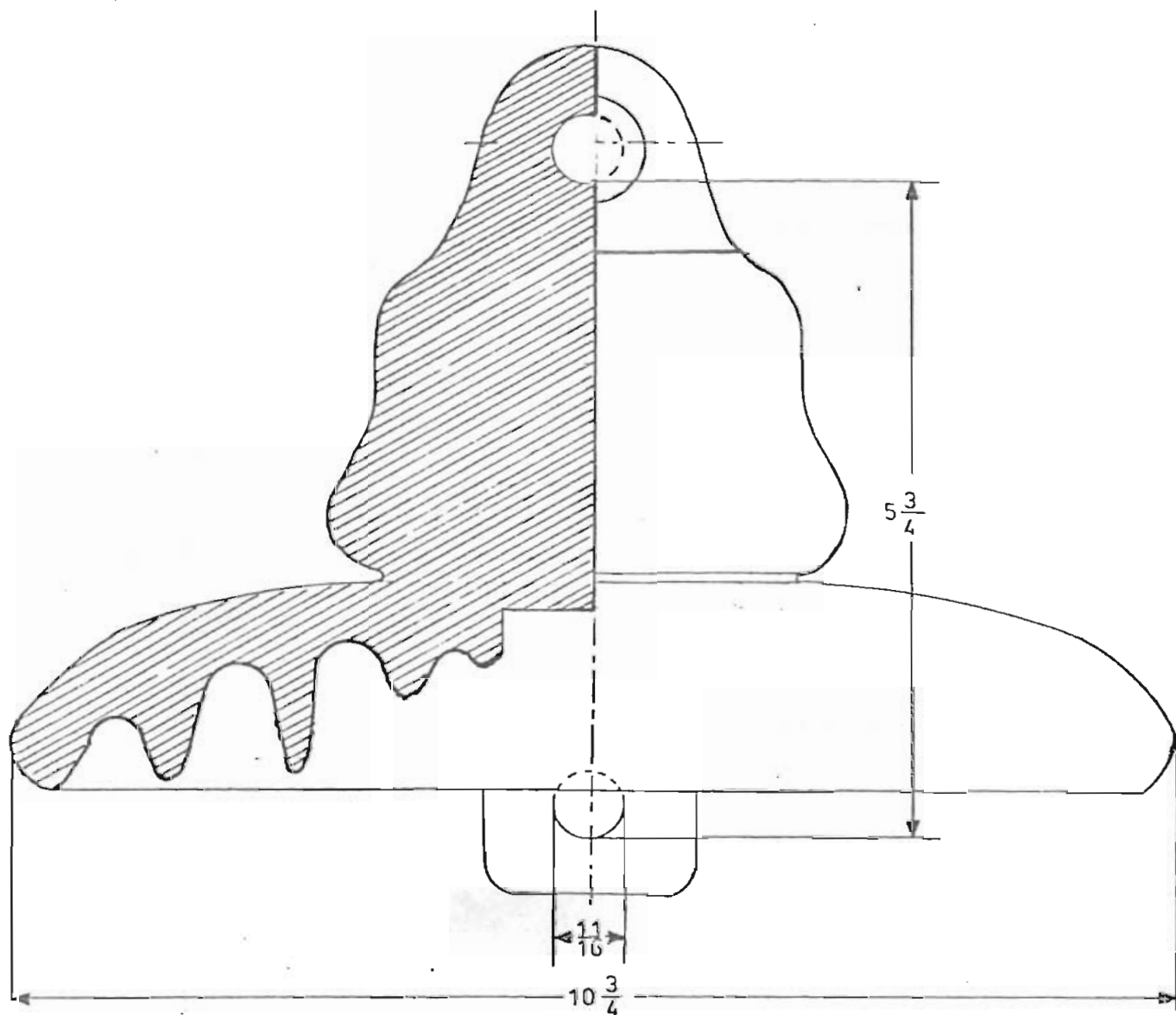
En los reportes de la computadora que se presentan, se analiza contaminación en el punto que corresponde a $I = 27$ y $J = 19$, donde el campo eléctrico en condiciones normales es de 88 V/mm , ^{$E = \frac{V}{d}$} al presentarse una banda seca y en condiciones críticas (frecuencias altas) el valor sube a 129.71 V/mm que con una mejor resolución resulta ser de 1074.5 V/mm . Este valor, poco probable que ocurra en la realidad, pero posible, sobrepasa los valores que la interfase aire-vidrio (de la porcelana) podría soportar, dando origen a una chispa descarga que afectaría la superficie, según la teoría de "surcos y erosión". En la proporción que crece el campo eléctrico, también crecen los valores de densidad de corriente y pérdidas por unidad de volumen.

Otra característica importante es, la presentada en un punto situado cerca al área contaminada en el aire; en condiciones normales el valor de campo eléctrico es de 43 V/mm y en condiciones críticas sube primero a 3.8 KV/cm y luego a 22 KV/cm . Si la rigidez

dieléctrica del aire oscila entre los valores de 5 KV/cm y 30 KV/cm (Ref. 6), se puede afirmar, que existe un alto grado de probabilidad de tener disrupción en el aire o al menos corona.

A continuación se presenta el comportamiento eléctrico del aislador, para su mejor comprensión se detalla lo siguiente:

- Gráfico del aislador, figura 26.
- La hoja de codificación de los datos (pág. 83)
- Las hojas de resultados del programa digital (págs. 84 - 93)



NOTAS :

Figura No 2 6

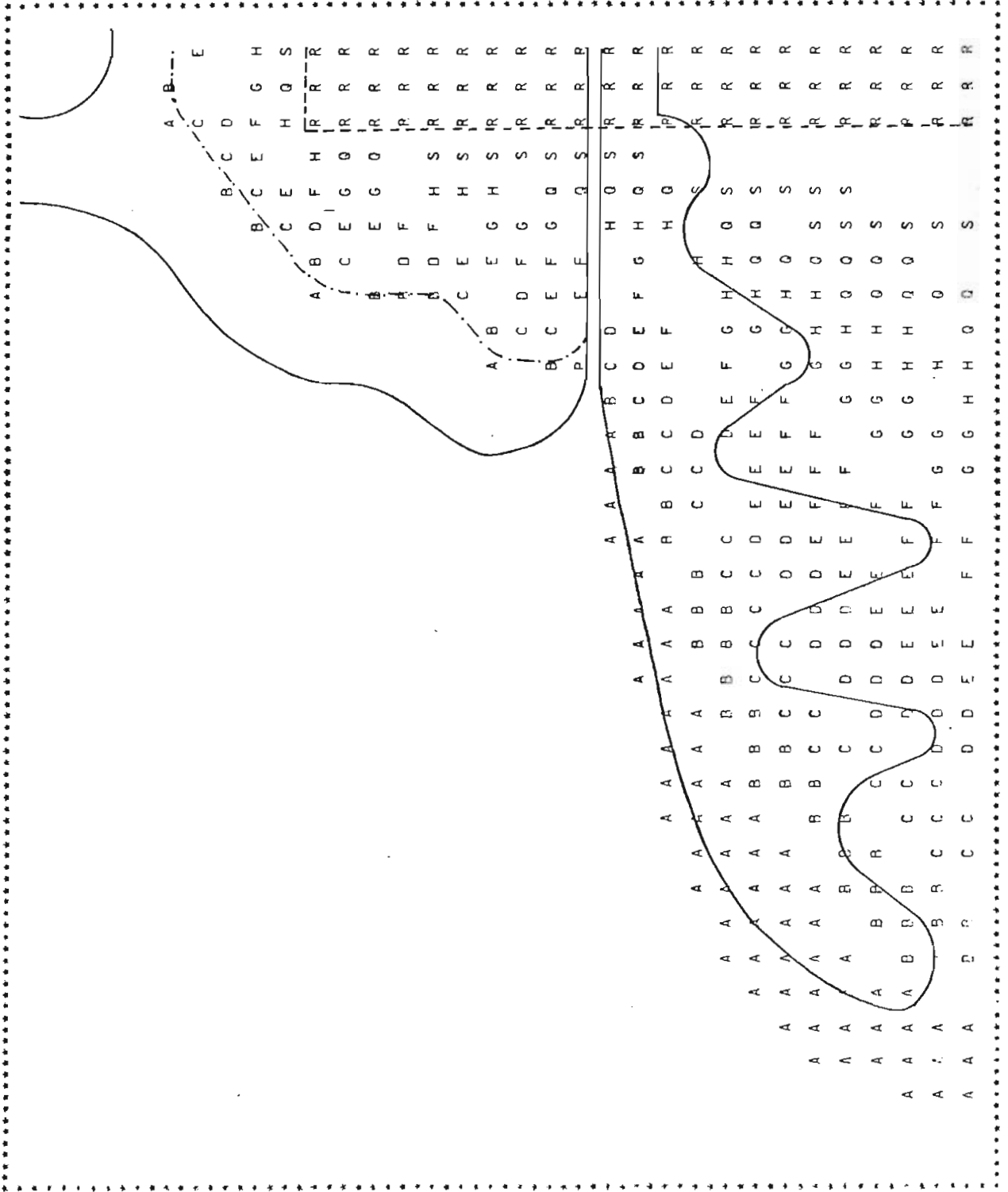
(1) Escala 1 : 15

(2) Todas las dimensiones están en pulgadas

AISLADOR DE SUSPENSION, CLASE 52-4

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 6.95	B = 15.85	C = 24.09	D = 33.97
B = 47.43	C = 50.45	G = 60.73	H = 69.08
C = 77.25	S = 85.98	R = 99.43	



SE ANALIZA CONTAMINACION DEL AISLADOR
 COORDENADAS (X,Y) = (27, 19)

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

37.3	38.2	39.1	40.1	41.0	42.0	42.9	43.8	44.8
38.2	39.0	39.8	40.4	40.8	36.2	35.7	33.6	45.8
39.1	39.9	40.7	41.2	41.5	31.3	30.2	26.1	46.9
40.1	40.9	41.7	42.4	42.9	29.7	27.6	24.0	48.0
41.0	41.9	42.9	44.2	46.8	28.4	27.3	24.5	49.1
41.7	42.7	43.9	45.5	49.8	30.1	28.9	24.9	49.8
42.4	43.4	44.5	45.5	46.9	34.4	33.1	28.4	50.6
43.1	44.1	45.1	46.0	46.7	41.2	40.6	34.2	51.4
43.8	44.8	45.9	46.9	48.0	49.0	50.1	51.1	52.2

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 29.87 B = 28.39 C = 30.48 D = 33.51
 F = 35.74 E = 38.57 G = 41.00 H = 43.68
 O = 46.11 S = 48.73 R = 51.49

```

*****
* F F G G G H H *
* F F G G E E D O *
* F G G G C C Q *
* G G G H B B A S *
* G O H H O B A S *
* G H H O C B A *
* H H O O E D B R *
* H H O O G G F R *
* H O O S S R R *
*****
    
```


VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M
=====

4745.8	44572.0	36955.4	29058.1	157606.8	245695.1	339904.7	338130.0
47754.8	45257.4	39897.3	33146.2	317717.9	201879.0	290340.8	671468.3
49070.3	50675.8	52371.2	54824.1	476491.2	115171.3	180074.4	835731.3
50148.9	55977.6	70286.0	129715.9	626776.0	44955.7	121662.5	889229.1
48893.3	56536.8	71551.8	163090.5	728333.8	80180.5	139685.2	902594.1
50375.9	52344.2	53379.6	127383.8	643167.4	175388.4	224226.6	887431.3
50009.9	49083.1	43689.0	41688.3	387229.4	275125.5	375897.1	732287.6
50289.0	50287.9	49804.8	56278.2	223892.8	325686.2	433910.8	379775.8

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
=====

4.9	4.5	3.8	3.0	16.0	25.0	34.6	34.4
4.9	4.6	4.1	3.4	32.3	20.5	29.5	68.3
5.0	5.2	5.3	5.6	48.5	11.7	18.3	85.0
5.1	5.7	7.2	13.2	63.8	4.6	12.4	90.5
5.0	5.8	7.3	16.6	74.1	8.2	14.2	91.8
5.1	5.3	5.4	13.0	65.4	17.8	22.8	90.3
5.1	5.0	4.4	4.2	39.4	28.0	38.2	74.5
5.1	5.1	5.1	5.7	22.8	33.2	44.1	38.6

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3
=====

233861.5	202107.0	138935.1	85899.6	252708.0	614155.0	11753610.0	11631196.0
232001.5	202378.3	161935.9	111770.1	10269290.0	4146096.5	8575766.0	45867800.0
244960.0	261251.2	279024.8	395773.6	23097592.0	1349415.3	3298839.0	71054288.0
255847.2	319804.1	502567.3	1711761.5	39965176.0	205601.6	1505811.3	80442272.0
243195.9	325176.6	520832.9	2705915.0	53965704.0	654024.0	1984987.3	82878512.0
250168.5	278736.9	289872.8	1650765.8	42082832.0	3129384.5	5114832.0	80117312.0
254430.0	245087.7	194178.4	176801.5	15254346.0	7700496.0	14374570.0	54553216.0
257278.6	257267.4	252347.8	322209.3	5099612.0	10804108.0	19153832.0	14672748.0

SE ANALIZA LA CONTAMINACION DEL AISLADOR AMPLIADA 9 VECES

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

42.4	40.7	39.0	37.3	35.6	33.9	32.1	30.4	28.7
42.9	41.7	40.6	39.7	39.0	26.4	25.2	22.3	28.6
43.3	42.6	41.9	41.5	41.2	21.2	20.0	16.3	28.5
43.7	43.3	43.1	43.0	42.9	18.4	17.3	14.2	28.5
44.2	43.9	44.0	44.6	46.8	17.7	16.7	14.3	28.4
44.5	44.3	44.4	45.3	49.8	18.7	17.6	14.4	28.8
44.8	44.2	43.9	44.0	44.8	22.0	20.7	16.7	29.3
45.2	44.0	42.9	42.2	41.7	27.7	26.4	23.3	29.7
45.5	43.6	41.6	39.7	37.8	35.9	34.0	32.0	30.1

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 15.78	B = 18.14	C = 22.36	D = 26.21
E = 29.56	F = 31.85	G = 34.71	H = 38.59
Q = 41.87	S = 44.24	R = 49.02	

* * * * *
 * O O H G G F E E *
 * O O O H H D D C E *
 * S O O O O C A E *
 * S S S S O B B E *
 * S S S S R A E *
 * S S S S R R B E *
 * S S S S S C A E *
 * S S O O O D C E *
 * S S O H H G G F E *
 * * * * *

VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

584139.1	663138.1	856371.0	1141961.8	3208947.0	2566957.0	2804045.5	1971425.3
419349.0	502964.8	623488.9	731550.8	5882497.0	1874574.8	2364528.0	350566.0
288033.7	381826.9	471589.9	567214.0	7586888.0	1072464.5	1493896.0	4469678.0
221144.9	275995.9	460181.8	1074522.5	9082250.0	434484.3	958293.0	4697279.0
142544.9	125452.7	347845.5	1366446.5	10083748.0	492922.4	1012745.8	4675324.0
163831.8	123724.1	390354.3	1448344.8	9396100.0	1209317.8	1601912.0	4589843.0
337580.6	329340.8	524520.8	905135.0	6691650.0	2060388.0	2566571.0	3627864.0
563351.5	617750.5	816605.5	1218029.0	3564530.5	2812502.5	3042044.5	2154282.0

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2

59.4	67.5	87.1	116.2	326.5	261.1	285.3	200.6
42.7	51.2	63.1	74.4	598.4	190.7	240.5	356.6
29.3	38.8	48.0	57.7	771.8	109.1	152.0	454.7
22.5	28.0	46.8	109.3	924.0	44.2	97.5	468.7
14.5	12.8	35.4	139.0	1025.8	50.1	103.0	475.6
16.7	12.6	39.7	147.3	955.9	123.0	163.0	466.9
34.3	33.5	53.4	92.1	680.8	209.6	261.1	365.1
57.3	62.8	83.1	123.9	362.6	286.1	309.5	219.2

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3

3471220.0	44736808.0	74607216.0	132666144.0	1047567616.0	670338560.0	799884160.0	395382656.0
17889912.0	25735468.0	39167424.0	54443480.0	3520306176.0	357488832.0	568782080.0	1250252800.0
8438850.0	14031668.0	22624868.0	32730368.0	5855774720.0	117009968.0	227037568.0	2032401408.0
4975202.0	7698837.0	21543476.0	117459472.0	8391582720.0	19204592.0	93422960.0	2159463936.0
267094.9	1601095.5	12309198.0	189951296.0	10344296448.0	24718040.0	104341680.0	2223721472.0
2730570.0	1552275.8	15501544.0	213403168.0	8981559536.0	148777696.0	261056384.0	2143150336.0
11593432.0	11014290.0	27988676.0	83345792.0	4555367424.0	431871936.0	670136960.0	1338933504.0
5286124.0	38823472.0	67839328.0	150928032.0	1292592640.0	804659072.0	941430144.0	472130560.0

2.2.3. Aislador Tipo Espiga (Ref. 13)

Este tipo de aisladores tienen características muy similares a los tipo suspensión, solo cambia su forma y los niveles de voltaje.

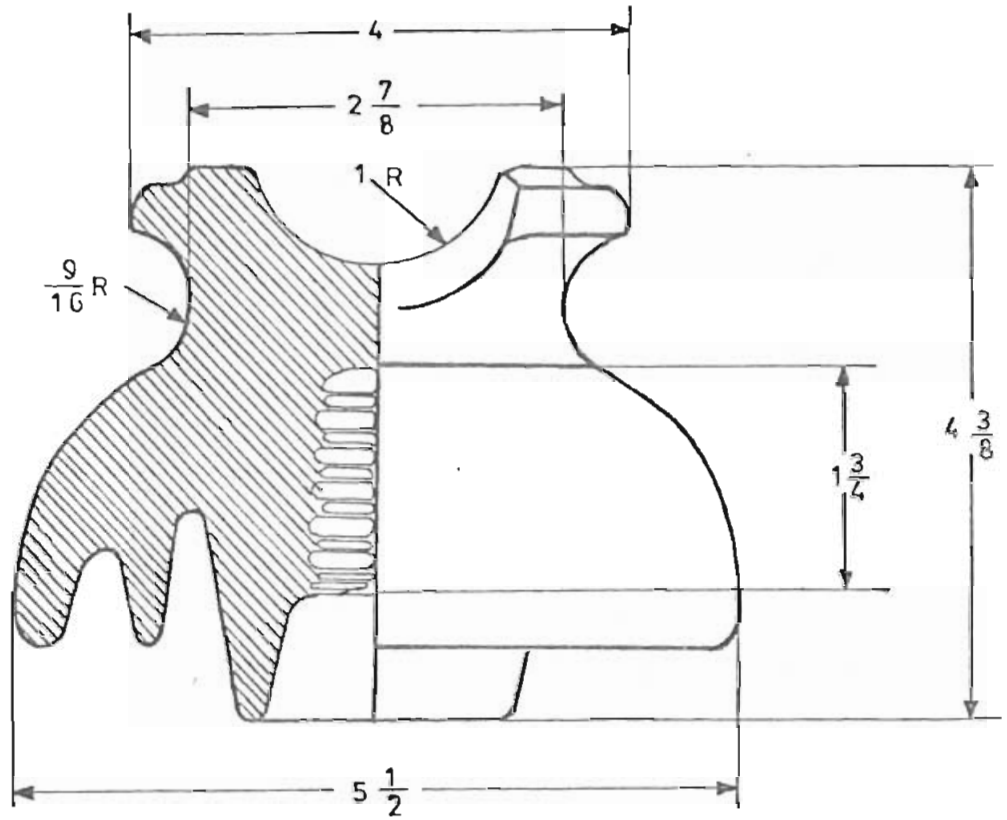
A continuación se presenta el comportamiento eléctrico del aislador, para su mejor comprensión se detalla lo siguiente:

- Gráfico del aislador, figura 27.
- La hoja de codificación de los datos (pág. 96)
- Las hojas de resultados del programa digital (págs. 97 - 107)

Al analizar la matriz de distribución del potencial, se observa que existen diferencias de potencial superiores al 40 % entre tres puntos continuos de la matriz; como se indicó en el capítulo I de esta tesis, tenemos la presencia de una área peligrosa que debe ser analizada aparte.

Existe una área peligrosa a partir del punto definido como $I = 5$ y $J = 14$. Esta área es ampliada tres veces, esto permite apreciar mejor las líneas equipotenciales, (Ver pág. 100).

En la matriz de valores de campo eléctrico, el máximo es 4.21 KV/cm, este valor llega a 34.64 KV/cm al considerad dos bandas secas de contaminación unidas.



NOTAS:

(1) Escala 1:1.5

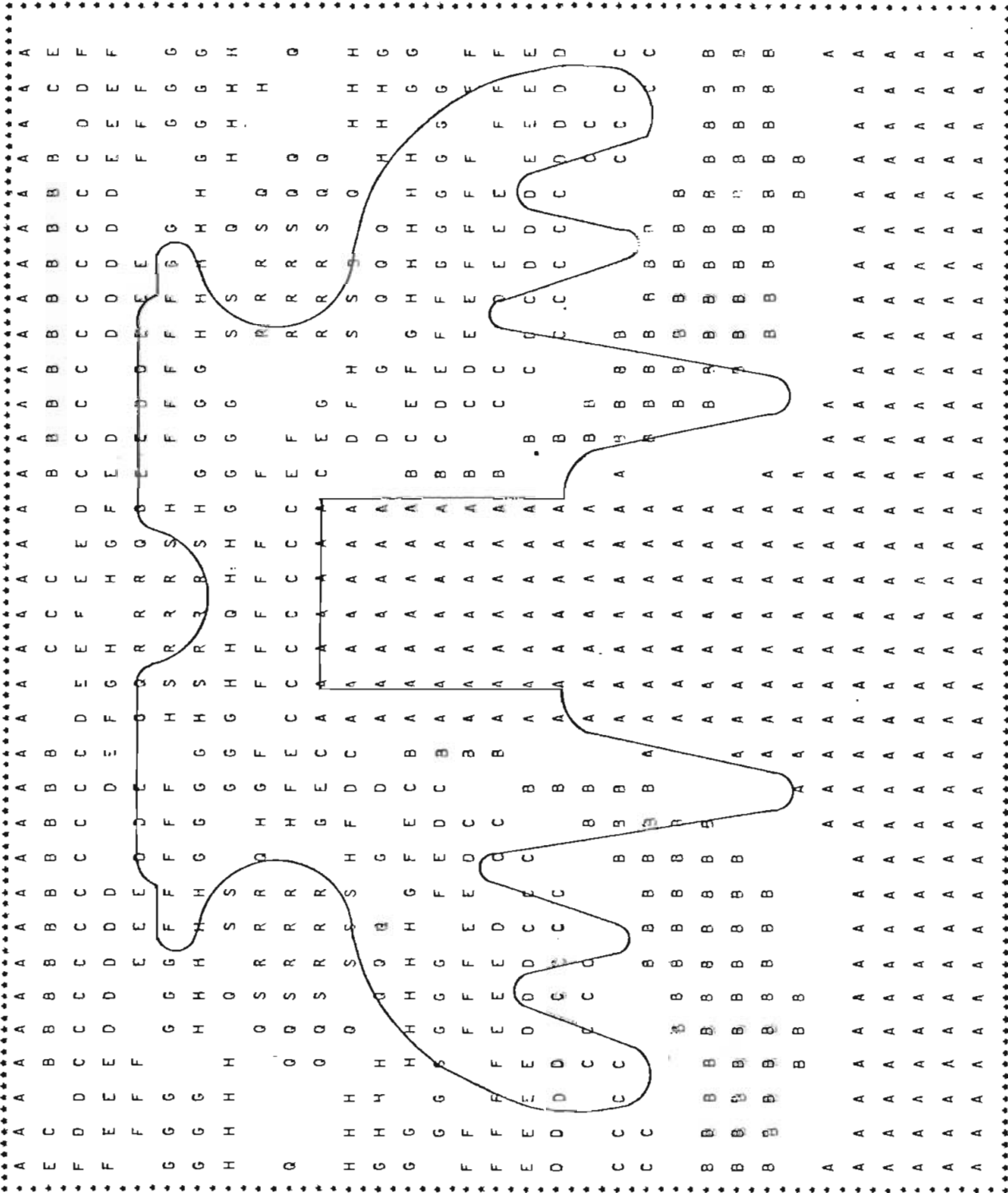
(2) Todas las dimensiones estan en pulgadas

AISLADOR ESPIGA, CLASE 55-4

Figura No 27

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 9.44 C = 21.59 D = 30.82
 E = 37.76 F = 46.34 G = 55.59 H = 64.11
 O = 73.15 S = 86.93 R = 100.00



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 1000

388234	173147	131251	201151	121151	241421	681982	262392	392261	981671	941123	131111	131181	241321	461732	33387
199174	155141	131261	201151	091101	221431	762172	532622	262253	217176	143121	109108	113191	251311	401551	74200
124131	132129	127125	121114	104	97109	134772	413063	103103	062411	761341	108	96103	113121	124126	129132
87104	112117	121261	261171	01	74	83107	163275	421388	388421	276164	107	83	73101	116126	126122
70	85	96106	121321	11321	11321	70153	142154	193301	279	0	0279	02194	153141	115216	91321
59	71	85103	12615	20120	9194	144	98	83138	24518	0	018	246140	83	96142	194210
60	62	78102	138182	352	2260	139	65	30106	262380	358381	263108	30	61134	261252	236189
58	51	65	90135	2271	94148	310134	97	77137	214259	335352	602141	137	76	91119	327151
58	27	44	76111	172	0	0279	205151	151201	230256	282282	256229	199148	146202	324	0
51	17	37	65104	156	0	0372	522102	223152	87267	271271	266286	312219	206250	321	0
53	43	50	74110	175154	147351	215213	223257	0	0	0	0	0	0	5522	212112
62	57	61	74	97134	115194	286224	240200	201	0	0	0	0	0	200199	203224
60	61	65	73	92147	181214	202189	179172	165	0	0	0	0	0	164171	178189
60	61	64	83103	122150	166160	154150	145137	0	0	0	0	0	0	136144	149153
59	61	74	93104	117132	140132	123120	113	0	0	0	0	0	0	131191	221221
59	67	78	92101	111122	130109	96	99	98	93	1	1	1	1	93	98
74	80	98	96	99103	116	99	64	72	79	80	77	2	2	2	77
93	82	90	95	93	86	74	45	44	60	66	66	64	4	3	3
74	81	86103	93	72	59	42	40	57	56	55	54	8	6	5	6
54	62	68	67	43	30	45	38	37	48	47	45	41	20	9	6
47	52	57	53	24	23	40	34	36	38	36	34	16	10	7	6
45	40	32	22	24	25	26	20	24	24	27	24	9	6	5	4
41	36	31	28	24	22	19	14	18	18	24	14	6	4	3	2
37	30	26	24	22	20	17	15	15	16	21	7	5	3	2	0
29	26	22	20	19	18	16	15	14	14	16	5	4	3	2	1
27	23	20	18	17	16	15	14	12	11	10	5	4	3	2	2
18	19	17	15	14	14	13	12	11	10	9	7	5	4	3	3
16	16	15	14	13	13	12	11	11	10	8	7	6	5	4	4
15	14	13	12	12	11	11	10	9	8	7	6	5	5	5	5
14	12	11	11	10	10	10	9	9	8	7	6	6	5	5	6
8	8	9	10	10	10	9	9	8	8	7	6	6	5	5	6
3	6	8	9	9	9	8	8	7	7	6	6	6	5	5	6

SE ANALIZA CONTAMINACION DEL AISLADOR
 COORDENADAS (X,Y) = (20, 7)

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

18.3	18.0	17.7	17.4	17.2	15.9	15.6	16.3	16.1
17.4	17.2	17.1	17.0	16.9	13.3	13.0	11.8	15.3
16.5	16.4	16.4	16.4	16.5	10.6	10.1	8.4	14.6
15.7	15.6	15.5	15.7	16.9	8.8	8.3	7.0	13.9
14.8	14.7	14.5	14.3	13.8	7.9	7.5	6.6	13.2
14.2	13.9	13.6	13.0	10.8	7.7	7.3	6.3	12.5
13.5	13.3	13.0	12.6	11.9	8.2	7.8	6.6	11.9
12.9	12.6	12.4	12.1	11.9	9.4	9.2	8.4	11.3
12.2	12.0	11.8	11.6	11.4	11.2	11.0	10.8	10.6

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 6.67 B = 8.15 C = 9.24 D = 10.48
 E = 11.00 F = 11.93 G = 12.92 H = 14.13
 I = 15.24 J = 16.69 K = 17.38

R R R S S S O
 R R R S G G F O
 S S S S D D B
 O O O O S B A H
 H H H H B A O
 H H G E A G
 G G G F B B A F
 G G F F C C B E
 F F F F E E E E

VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M
=====

32457.7	28576.1	22385.5	15350.1	100879.9	152147.5	155684.8	125020.2
31489.5	28216.1	23491.2	17510.6	196300.9	107683.5	136818.2	208899.2
31423.6	29888.9	28025.9	32559.2	265823.	59707.3	81612.2	251120.0
32011.8	34962.9	43321.6	93418.3	279759.6	36503.6	30602.5	247537.9
28438.1	34925.0	47160.0	100098.1	185160.5	15982.4	39799.3	234909.4
27943.2	29141.3	27541.8	64195.2	134140.0	24110.8	47301.7	211914.9
27078.8	26057.4	22997.2	19355.0	119893.7	50668.1	71418.4	164253.3
26359.3	25014.5	23440.2	21971.0	66506.6	67591.3	83749.4	77688.0

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
=====

60.8	53.5	43.0	28.7	188.8	247.4	291.4	234.0
58.9	52.8	44.0	32.8	367.5	201.6	256.1	391.0
58.8	55.9	52.5	61.1	497.6	130.5	152.8	470.1
59.9	65.4	85.2	174.9	523.7	68.3	94.7	463.4
53.2	65.4	88.3	187.4	346.6	29.9	74.5	439.7
52.3	54.5	51.7	120.2	251.1	45.1	88.5	396.7
50.7	48.8	43.0	36.3	224.4	94.8	133.7	307.5
49.3	46.8	43.9	41.1	124.5	126.5	156.8	145.4

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3
=====

1972040.3	1528555.5	988285.5	441055.1	19049744.0	32688684.0	45370304.0	29257564.0
1856145.3	1490303.3	1032978.4	57352.9	72131344.0	21705892.0	35040264.0	81686992.0
1848378.5	1672239.5	1470273.5	1996595.0	132271264.0	9035694.0	12467788.0	118043552.0
1918224.5	2280196.0	3878345.0	16335994.0	146514464.0	2494312.0	4793179.0	11459988.0
1513844.0	2283244.0	4163207.0	18755620.0	64176512.0	478148.8	2965034.0	103295248.0
1461613.5	1589635.8	1430245.5	7714091.0	33681848.0	1088186.3	4188253.5	84062544.0
1372577.3	1270984.8	989907.9	702035.1	26907436.0	4805616.0	9547732.0	50508024.0
1300610.3	1171286.8	1028493.5	903508.8	8279600.0	8551870.0	13129354.0	11297646.0

SE ANALIZA LA CONTAMINACION DEL AISLADOR AMPLIADA 9 VECES

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

15.7	14.8	14.0	13.1	12.2	11.4	10.5	9.7	8.8
15.3	14.8	14.3	13.9	13.7	8.5	8.0	6.9	8.5
15.0	14.7	14.4	14.4	14.8	6.5	6.1	4.8	8.3
14.6	14.4	14.3	14.7	15.9	5.4	5.1	4.1	8.1
14.3	14.0	13.8	13.7	13.8	5.0	4.7	4.0	7.9
14.0	13.6	13.2	12.6	10.8	5.2	4.8	3.9	7.8
13.6	13.2	12.7	12.3	11.6	5.9	5.6	4.5	7.8
13.3	12.8	12.2	11.8	11.4	7.4	7.0	6.1	7.8
13.0	12.3	11.7	11.0	10.3	9.7	9.0	8.4	7.7

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 4.37 B = 5.89 C = 7.09 D = 7.90
 E = 9.25 F = 10.55 G = 11.31 H = 12.54
 R = 13.69 S = 14.71 R = 16.56

S O H G F E E *
 S S O O D C *
 S S S S B A D *
 S S S S R B A D *
 S O O O O A A D *
 O O H F A D *
 O H H G B B A D *
 O H H G G D C B D *
 H H G G F E D D *

VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

258421.3	244490.3	280799.8	445241.5	1308408.5	959477.4	984503.0	667419.5
181268.6	137384.3	136620.5	308917.1	2381603.5	677669.5	816759.1	999773.6
137422.9	75329.9	83364.8	584777.0	3362769.5	398991.9	508454.6	1276429.5
154864.7	164786.0	266131.4	812110.4	3464682.5	173312.1	318227.4	1288155.8
172058.3	217603.9	323930.9	800757.9	2517654.0	116954.8	279672.2	1249546.3
191803.9	209660.2	227443.8	493525.4	1918314.0	290148.2	421377.8	1195009.0
219743.9	229143.8	226583.6	220108.5	1666220.3	526874.1	654866.3	919606.8
252274.9	267783.5	298220.3	367008.2	988065.8	753747.8	790691.3	533185.0

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2

483.7	457.7	525.6	835.3	2449.2	1796.0	1842.9	1249.3
339.3	257.2	255.7	578.3	4458.1	1268.5	1528.9	1871.5
257.2	141.0	156.0	1094.6	6294.7	746.9	951.8	2389.3
289.9	308.5	498.2	1520.2	6485.5	324.4	595.7	2411.3
322.1	407.3	606.4	1498.9	4712.8	218.9	523.5	2339.2
359.0	392.5	425.7	923.8	3590.9	543.1	788.8	2236.9
411.3	428.9	424.1	412.0	3119.0	986.2	1225.8	1721.4
472.2	501.3	558.2	687.0	1849.5	1410.9	1480.1	998.1

POTENCIA DE PERIODA POR UNIDAD DE VOLUMEN V/M3

12507336.0	111892992.0	147595520.0	372751552.0	3204544000.0	1723252992.0	1814318848.0	833829632.0
6150700.0	35330848.0	34939064.0	178633654.0	10517407488.0	859637632.0	1248727040.0	1871039232.0
3530696.0	10622202.0	13009022.0	640118144.0	21167702016.0	297994112.0	483931456.0	3049812992.0
44893576.0	50830024.0	132578080.0	1234552832.0	22478172672.0	56225992.0	189563520.0	3106154496.0
55415408.0	88636560.0	196419424.0	1200278272.0	611865200640.0	25604448.0	146412480.0	2923167744.0
68864368.0	82283232.0	96833952.0	455930496.0	6888409088.0	157586592.0	332370688.0	2673141248.0
90388528.0	98286960.0	96102864.0	90688704.0	5195900352.0	519628928.0	802758272.0	1583010816.0
119131792.0	134229248.0	165476832.0	252133792.0	1827474176.0	1063485568.0	1170289664.0	532151616.0

C A P I T U L O I I I

DISEÑO DEFINITIVO DE AISLADORES

3.1. ANALISIS DE FORMAS Y MATERIALES OPTIMOS

Aunque, en el capítulo 2, ya se han obtenido algunas conclusiones de los resultados anteriores, aquí se hace un análisis general de los mismos en todas sus características, para de esta manera tener una visión más amplia y clara del comportamiento eléctrico de los aisladores de alto y bajo voltaje al variar sus parámetros (que son datos del programa) para seleccionar al mejor en cada uno de los casos.

Como representante de los aisladores de bajo voltaje, se sigue analizando el tipo rollo 53-1. Como ya se mencionó, la característica más importante es su resistividad, este valor debe estar entre 10^{11} y 10^{14} ohmios por centímetro ^{10^{14} [ohm/cm]} (Ref. 6), pero este valor para la porcelana nacional está alrededor de 10^8 ohmios por centímetro, (Ref. 8). Con respecto a la constante dieléctrica (ϵ), aunque, en aisladores de baja tensión tenga importancia de segundo orden, es necesario considerarla; el valor relativo de ϵ debe estar entre 5.5 y 7 (Ref. 6), pero este valor para la porcelana nacional oscila entre 6 y 30 (Ref. 8).

Para el computador se escogió, de entre las pastas preparadas en Ingeniería Química, la que mejor se ajusta a los valores recomendados por Clark (Ref. 6), resultando ser la pasta G23 cuyas características de ρ y ϵ son igual a 0.5×10^8 ohmios por centímetro y 6.25 respectivamente (Ref. 8).

En lo referente a la forma del aislador rolo 53-1, se mar-

tiene la normalizada (Ref. 10) modificada en el espesor su sección circular y optimizando el largo de la capa de material semiconductor que estaría en contacto con el conductor externo.

Como representante de los aisladores de alto voltaje, se tomó el aislador de suspensión 52-4 analizando la parte sombreada de la figura 26. Las características más importantes de este tipo de aisladores son la resistividad y la constante dieléctrica.

La resistividad y la constante dieléctrica deben estar entre $10^{12} - 10^{14}$ ohmios por centímetro y 5 - 7 respectivamente (Ref. 6). En la porcelana nacional no se han realizado pruebas para aisladores de alto voltaje, pero tomando como base los resultados de las pruebas eléctricas realizadas en pastas de bajo voltaje, para el computador se escoge la pasta G13 que mejor se ajusta a los valores citados por Clark (Ref. 6), cuyos valores de ρ y ϵ son iguales a 0.5×10^8 ohmios por centímetro y 6 respectivamente.

En cuanto a la forma del aislador de suspensión 52-4 se mantiene la normalizada (Ref. 11), por encontrar una aceptable distribución de campos.

3.2. IMPLEMENTACION DEL DISEÑO FINAL

A continuación se presenta un análisis de los reportes del computador, corridos con los reportes indicados en 3.1, para los aisladores de bajo y alto voltaje.

Comparando con los resultados obtenidos en el capítulo 2 para el aislador 53-1, se puede anotar, (Ver pág. 66 y 112 - 117).

- El campo eléctrico máximo se reduce apreciablemente de 82 a 65 V/cm en los lugares donde termina la capa semiconductora y en el punto del aislador definido como peligroso en el capítulo 2 se nota una ligera disminución de 67 a 66 V/cm. A dicionalmente como se puede apreciar, la distribución de campo eléctrico es casi uniforme.
- La densidad de corriente se reduce, un tanto como efecto de la reducción del campo eléctrico, pero la causa principal es porque se considera un material de mejor resistividad.
- Las pérdidas por unidad de volumen también se reducen como consecuencia de los dos parámetros anteriores.

Comparando con los resultados obtenidos en el capítulo 2 para el aislador de suspensión 52-4, se puede anotar, (Ver págs. 84-96 y 118 - 123).

- Los valores de campo eléctrico tienen ligeras variaciones - aumentando en unas partes y disminuyendo en otras, obteniendo en conjunto una distribución de campo más uniforme.
- La densidad de corriente y las pérdidas por unidad de volumen se reducen, siendo la causa principal el considerar un material de mejor calidad en cuanto a su resistividad.

VÁLORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 100

17	15	20	21	24	20	20	20	18	13	15	13	9	9	13	15	13	18	20	20	20	20	20	20	20	24	21	20	15	17	17					
19	19	21	21	22	21	21	21	20	18	16	16	14	11	11	14	16	16	18	20	21	21	21	21	21	22	21	21	19	19	19					
17	19	23	22	22	22	22	22	21	20	19	18	16	14	14	16	18	19	20	21	22	22	22	22	22	22	22	22	23	19	17					
18	22	25	24	21	22	23	23	22	22	21	20	18	18	20	21	22	22	23	23	24	23	23	23	23	23	22	21	24	25	22	18				
18	21	23	28	19	22	24	25	25	25	25	25	23	21	21	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	22	19	28	23	21	18				
17	19	20	27	18	23	26	27	28	28	29	29	27	25	25	27	29	29	29	28	28	28	27	26	23	18	27	20	19	17						
19	18	17	26	44	31	30	30	30	31	31	33	35	34	31	29	29	31	34	35	33	31	31	30	30	30	31	44	26	17	18	19				
18	19	18	26	53	39	34	32	32	33	35	38	44	42	35	31	31	35	42	44	38	35	33	32	32	34	39	53	26	18	19	18				
20	21	23	28	41	39	35	33	33	35	38	45	29	7	0	0	0	7	29	45	38	35	33	33	35	39	41	28	23	21	20					
18	22	25	30	37	42	35	33	33	34	37	42	7	0	0	0	0	7	42	37	34	33	33	34	42	37	30	25	22	18						
22	23	25	29	34	39	36	31	31	31	32	34	0	0	0	0	0	0	34	32	31	31	31	36	39	34	29	25	23	22						
23	24	26	29	33	37	41	37	29	28	28	27	0	0	0	0	0	0	27	28	28	29	37	41	37	33	29	26	24	23						
25	25	27	30	33	37	41	45	37	26	24	22	0	0	0	0	0	0	22	24	26	37	45	41	37	33	30	27	25	25						
22	25	28	30	33	37	41	45	49	38	22	17	0	0	0	0	0	0	17	22	38	49	45	41	37	33	30	28	25	22						
26	26	28	30	33	36	40	44	48	53	43	11	7	0	0	0	0	7	11	43	53	48	44	40	36	33	30	28	26	26						
25	26	28	30	33	35	39	42	47	53	43	33	10	7	0	0	0	7	10	33	53	53	47	42	39	35	33	30	28	26	25					
23	25	27	29	31	34	37	40	44	49	55	45	47	29	0	0	0	29	47	55	49	44	40	37	34	31	29	27	25	23						
24	25	26	28	30	32	35	38	41	44	50	54	53	66	60	54	54	60	53	54	50	44	40	38	35	32	30	28	26	25	24					
21	23	25	27	29	31	33	35	38	42	46	49	51	54	53	50	50	53	54	51	49	46	42	38	35	33	31	29	27	25	23	21				
21	22	24	25	27	29	30	33	36	39	42	45	46	48	47	46	46	47	48	46	45	42	39	36	33	30	29	27	25	24	22	21				
20	21	23	24	25	27	29	32	34	37	39	41	42	43	43	42	42	43	43	42	41	39	37	34	32	29	27	25	24	23	22	21				
20	20	21	22	24	26	28	30	33	35	36	38	39	39	38	38	38	39	39	39	38	36	35	33	30	28	26	24	22	21	20	20				
18	19	20	22	23	25	27	29	31	32	34	35	36	36	36	35	35	36	36	36	35	34	32	31	29	27	25	23	22	20	19	18				
17	18	19	21	23	24	26	28	29	31	32	33	33	34	34	33	33	34	34	33	32	31	29	28	26	24	23	21	19	18	17					
16	17	19	20	22	23	25	26	28	29	30	31	31	32	32	31	31	32	32	31	31	30	29	28	26	25	23	22	20	19	17	16				
15	17	18	17	21	22	24	25	26	28	28	29	30	30	30	29	29	30	30	29	28	28	28	26	25	24	22	21	19	18	17	15				
14	16	17	19	20	21	23	24	25	26	27	28	28	29	28	28	28	28	28	28	28	27	26	25	24	23	21	20	19	17	16	14				
14	15	16	18	19	21	22	23	24	25	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	25	24	23	22	21	19	18	16	15	14				
13	14	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	23	22	21	20	18	14	13			
12	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	25	24	23	22	21	20	19	18	16	15	14	12
12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	23	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	14	13	12
11	12	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	19	18	16	15	14	12	11	

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5

5	5	4	5	6	6	5	6	6	5	5	3	4	3	2	3	4	3	5	5	6	6	6	5	6	6	5	4	5	5		
5	5	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	
5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	
5	6	7	7	6	6	6	7	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6	7	7	6	5
5	6	6	5	6	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	3	6	6	5
5	5	6	7	5	6	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	6	5	7	6	5	5
5	5	5	7	12	9	8	8	9	9	10	10	9	8	8	9	10	10	9	9	9	8	8	8	8	9	12	7	5	5	5	5
5	5	5	7	15	11	10	9	9	10	11	12	12	10	9	9	10	12	12	11	10	9	9	9	10	11	15	7	5	5	5	5
5	6	6	8	12	11	10	9	9	10	11	13	8	2	0	0	0	2	8	13	11	10	9	9	10	11	12	8	6	6	6	5
5	6	7	8	10	12	10	9	9	9	10	12	2	0	0	0	0	0	2	12	10	9	9	9	10	12	10	8	7	6	5	5
6	6	7	8	10	11	10	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	9	10	11	10	8	7	6	6	6
6	7	7	8	9	10	12	10	8	8	8	7	0	0	0	0	0	0	7	8	8	8	10	12	10	9	8	7	7	6	6	6
7	7	8	8	9	10	12	13	10	7	7	6	0	0	0	0	0	0	6	7	7	10	13	12	10	9	8	8	7	7	6	7
6	7	8	8	9	10	11	13	14	11	6	4	0	0	0	0	0	0	4	6	11	14	13	11	10	9	8	8	7	6	6	6
7	7	8	8	9	10	11	12	14	15	12	3	2	0	0	0	0	2	3	12	15	14	12	11	10	9	8	8	7	7	6	7
7	7	8	8	9	10	11	12	13	15	18	9	3	2	0	0	0	2	3	9	18	15	13	12	11	10	9	8	8	7	7	7
6	7	8	8	9	10	10	11	12	14	16	19	13	8	0	0	0	8	13	16	14	12	11	10	10	9	8	8	7	6	6	6
7	7	7	8	8	9	10	11	11	13	14	15	16	19	17	15	15	17	19	18	15	14	13	11	11	10	9	8	8	7	7	7
6	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	14	14	15	15	14	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	6	6
6	6	7	7	8	8	9	10	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	11	10	9	8	7	7	6	6	6
6	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	10	9	8	7	7	6	6
5	6	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	9	8	7	7	6	6	6	5
5	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	8	7	6	6	5	5	5
5	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	6	5	5	5	5
4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	4
4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	4
4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	5	4	4	4	4
3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	5	5	4	4	4	3
3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	5	5	4	4	4	3
3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	5	5	4	4	4	3
3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	5	5	4	4	4	3

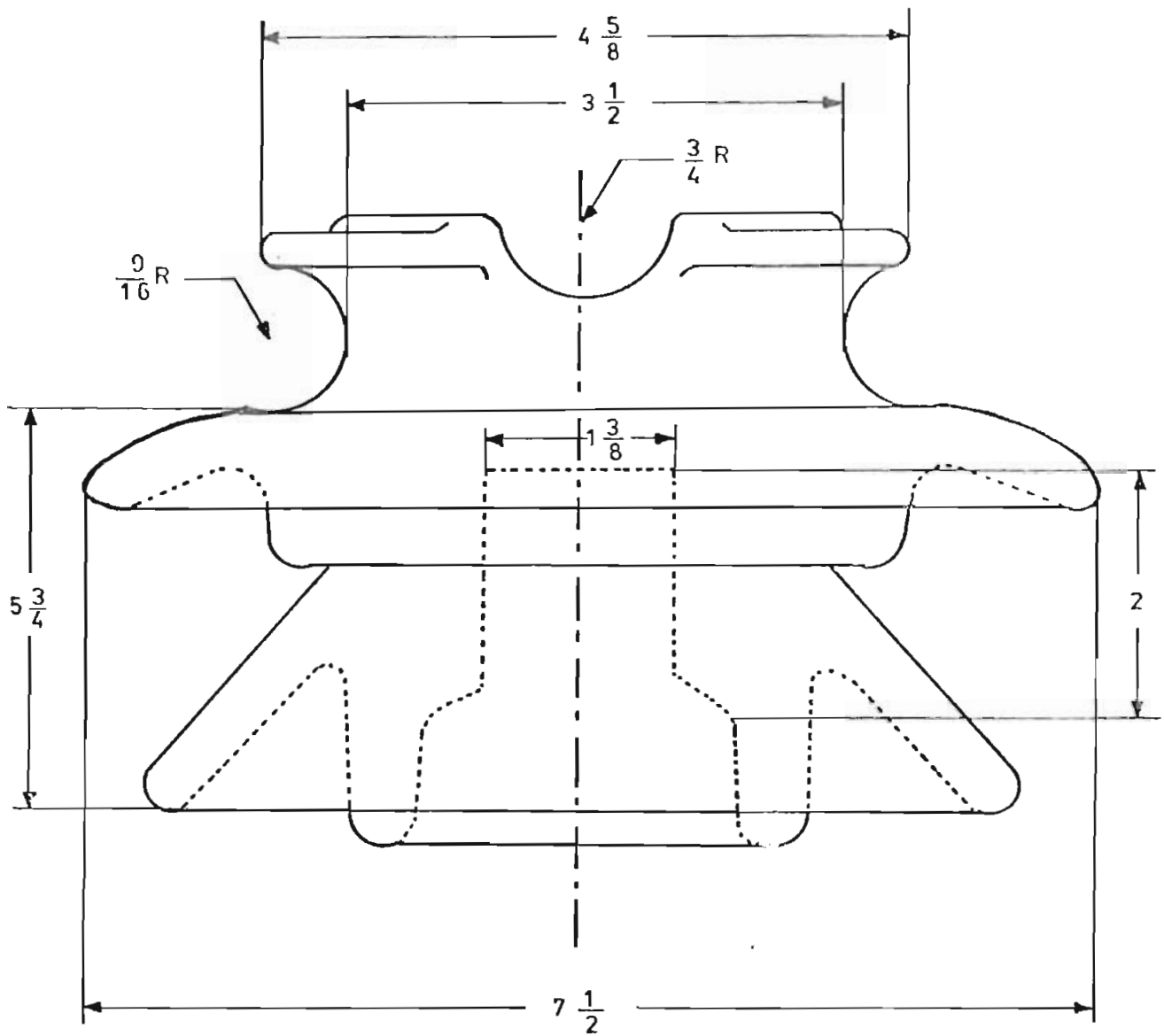
3.3. EJEMPLOS DE ANALISIS DE OTROS TIPOS DE AISLADORES

A continuación se presentan varios ejemplos, los cuales ayudan a verificar la bondad del programa digital. Para una mejor comprensión, se detalla para cada ejemplo, lo siguiente:

- Figura del aislador a analizarse.
- Las hojas de codificación de los datos.
- Las hojas de resultados del programa digital.

Ejemplo 1. Aislador tipo espiga clase 56-1, figura 28 (Ref. 13). Los resultados obtenidos en el computador indican, (Ver págs. 127 - 136).

- Diferencias de potencial del orden de 20 por ciento que pueden considerarse peligrosas, estas se encuentran en los puntos de contacto entre el conductor y el aislador.
- Se encuentran campos eléctricos sumamente altos, siendo el mayor 204 V/mm. En posiciones cercanas a estos altos gradientes de potencial se encuentran valores de 12 V/mm, lo que indica que el modelo se puede mejorar con el fin de obtener una mejor distribución del campo.
- En el análisis de contaminación se nota la presencia de un valor de 2.1 KV/mm de campo eléctrico máximo; este valor - comparado con la rigidez dieléctrica de la pasta G23 de valor 26.5 KV/mm (Ref. 8), está muy lejos de ser peligroso.



NOTAS:

Figura No 28

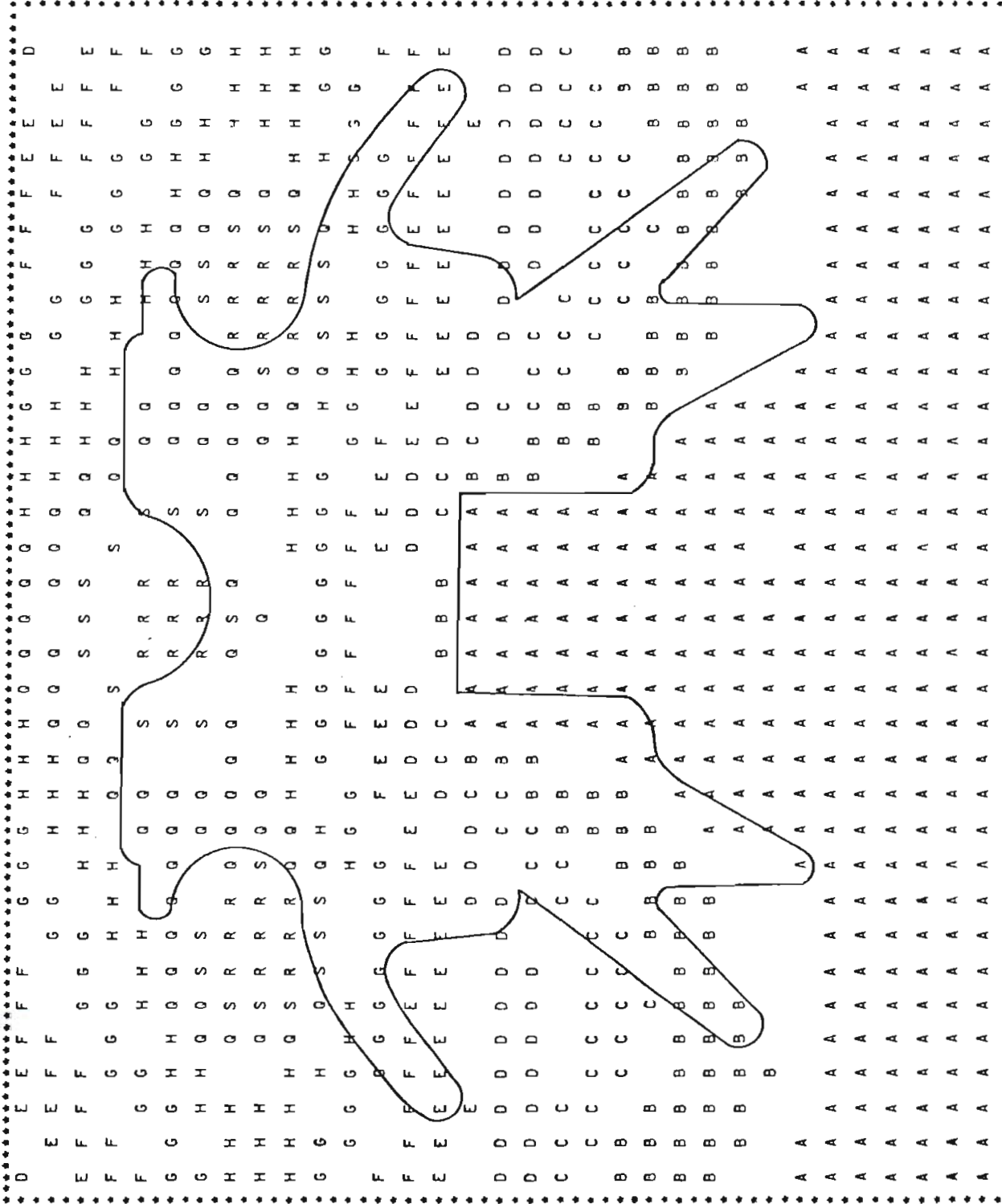
(1) Escala 1 : 1.5

(2) Todas las dimensiones están en pulgadas

AISLADOR ESPIGA, CLASE 56-1

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 9.52 C = 18.97 D = 29.04
 E = 39.23 F = 46.41 G = 57.98
 Q = 76.04 S = 85.67 R = 100.00



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M
=====

17922.0	15554.3	13810.6	13749.2	18542.7	18781.2	147425.0	123592.8
17702.1	14870.1	12088.9	9093.0	7378.0	225826.3	256755.5	200097.0
18888.1	15519.9	11985.0	7801.8	66511.0	270449.6	76965.6	244476.0
20383.5	16625.5	13185.7	35544.2	141364.8	170779.7	100855.9	242952.5
19923.4	17414.5	71660.1	114750.6	128863.0	102956.5	104522.9	232242.1
20795.7	86620.9	95975.5	49798.4	61582.5	78207.1	101266.9	209691.2
57565.2	67678.0	10185.5	23803.2	42025.4	65888.1	100545.3	160667.2
35754.2	18218.5	16615.5	21275.8	32611.0	51380.6	89456.5	75799.0

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
=====

33.5	29.1	25.9	25.7	34.7	35.2	276.0	231.4
33.1	27.8	22.6	17.0	13.8	422.7	480.6	374.6
35.4	29.1	22.4	14.6	124.7	506.2	144.1	457.6
38.2	31.1	24.7	56.5	264.6	319.7	188.8	454.8
37.3	32.6	134.1	214.8	241.2	192.7	195.7	434.7
38.9	162.1	179.7	93.2	115.3	146.4	189.6	392.5
107.8	126.7	19.1	44.6	78.7	123.3	188.2	300.8
66.9	34.1	31.1	39.8	61.0	96.2	167.5	141.9

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3
=====

601244.0	452875.4	357029.7	353860.8	643513.6	650277.3	40683808.0	28593384.0
586580.8	413909.4	273560.5	154771.3	101895.9	95451616.0	123401104.0	74348080.0
667816.4	450877.1	268878.1	113937.5	8305513.0	136914336.0	11088500.0	111879856.0
777745.9	517400.6	325451.7	2364919.5	37407768.0	54594888.0	19040552.0	110489792.0
743031.3	567675.3	9612454.0	24649440.0	31083932.0	19842080.0	20450420.0	100962784.0
809519.8	14045110.0	17242852.0	4642051.0	7098949.0	11449126.0	19186184.0	82307600.0
6202968.0	8573816.0	194195.7	1060599.8	3305995.5	8125303.0	18923564.0	48320760.0
2392944.5	621303.3	516778.4	847327.6	1990710.5	4941710.0	14979708.0	10754894.0

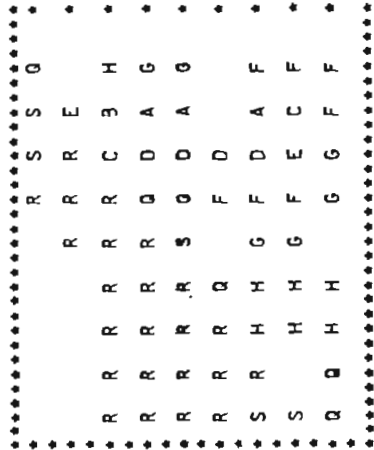
SE ANALIZA LA CONTAMINACION DEL AISLADOR AMPLIADA 9 VECES

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

22.0	22.0	22.1	22.1	22.1	21.3	20.5	19.7	18.9
21.9	21.9	21.9	21.9	21.8	21.4	20.9	14.2	18.1
21.8	21.8	21.7	21.7	21.7	21.5	11.0	9.9	17.3
21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	19.1	11.9	8.3	16.5
21.5	21.5	21.6	21.6	20.	15.7	11.8	7.9	15.7
21.2	21.3	18.3	16.9	16.9	14.7	11.6	7.7	15.4
20.8	17.4	17.1	16.2	16.2	14.5	12.1	8.6	15.2
19.8	17.6	17.1	16.3	16.3	15.2	13.6	11.4	14.9
19.2	18.0	17.4	16.8	16.8	16.3	15.7	15.1	14.5

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 8.28 B = 10.14 C = 11.39 D = 12.07
 E = 13.90 F = 14.83 G = 16.04 H = 17.56
 Q = 18.80 S = 20.21 R = 21.29



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M
=====

25685.9	34247.6	47751.9	78790.0	171311.8	184058.8	1301107.0	1074002.0
24086.8	29006.8	33178.6	36941.5	78735.6	1983384.0	2237640.5	1708648.3
28475.1	29275.3	25374.3	14854.4	489109.6	2400223.0	736402.8	2085140.5
42198.3	38105.3	29583.7	222538.8	1196179.5	1590535.8	951487.8	2053573.8
132583.6	74423.6	619474.0	998227.9	1154867.3	945035.0	973474.3	1946797.8
151117.3	753680.6	839068.5	395794.6	540728.0	731765.6	988413.0	1838040.3
530007.9	661205.9	114846.8	215140.0	399173.8	637385.4	971828.4	1439575.0
350206.1	188563.8	179322.5	219583.3	307662.8	529308.8	901106.4	718719.1

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
=====

48.1	64.1	89.4	147.5	320.7	344.5	2435.5	2010.4
45.1	54.3	62.1	59.2	147.4	3712.7	4188.6	3198.4
53.3	54.8	47.5	27.8	915.6	4492.9	1378.5	3903.1
79.0	71.3	55.6	416.6	2239.1	2977.3	1781.1	3844.1
248.2	139.3	1159.6	1868.6	2161.8	1769.0	1822.2	3644.2
282.9	1410.8	1570.6	742.8	1012.2	1369.8	1850.2	3440.6
992.1	1237.7	215.0	402.7	747.2	1193.1	1819.2	2694.7
655.5	353.0	355.7	411.0	575.9	990.8	1686.8	1345.4

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3
=====

1235001.5	219837.5	4268356.0	11620432.0	54935600.0	63415072.0	3168878592.0	2159184384.0
1086016.3	1574997.8	2069609.5	2554511.5	11604376.0	7363650560.0	9372602369.0	5454933376.0
1517787.5	1604283.5	1205222.0	413331.6	447808128.0	10744071680.0	1015103616.0	8138609654.0
3333265.5	2717999.5	1649360.0	92702368.0	2578380544.0	4735512576.0	1694673152.0	7894054912.0
32904792.0	10368140.0	718332800.0	1855258240.0	2495569344.0	1571765504.0	1773897472.0	7094491136.0
42747192.0	1063295872.0	1875455.0	294720896.0	547314816.0	1002359680.0	1828758784.0	6339666976.0
525828608.0	818376192.0	24689772.0	86640704.0	298265792.0	760472832.0	1767904000.0	3879253504.0
229576142.0	66557344.0	60193455.0	70254448.0	177186048.0	524442304.0	1519938272.0	966936448.0

Ejemplo 2. Pasamuros construido en la Escuela Politécnica Nacional, figura 29 (Ref. 14), (Ver págs. 138 - 149).

Los resultados aquí obtenidos pueden compararse con los obtenidos por Torres (Ref. 14).

- Se encuentra una regular distribución de campo eléctrico, notando una ligera alteración (círculo de la pág. 143) que se puede eliminar añadiendo una falda al modelo en ese punto.

- Se analiza contaminación en los puntos definidos con $I = 12$ y $J = 2$ donde el valor de campo eléctrico en condiciones de contaminación es 3.8 KV/mm, esto cuando se aplica 10000 voltios en el conductor, para valores más altos de voltaje comenzará a aparecer efecto corona o descargas superficiales, (Ver pág. 149).

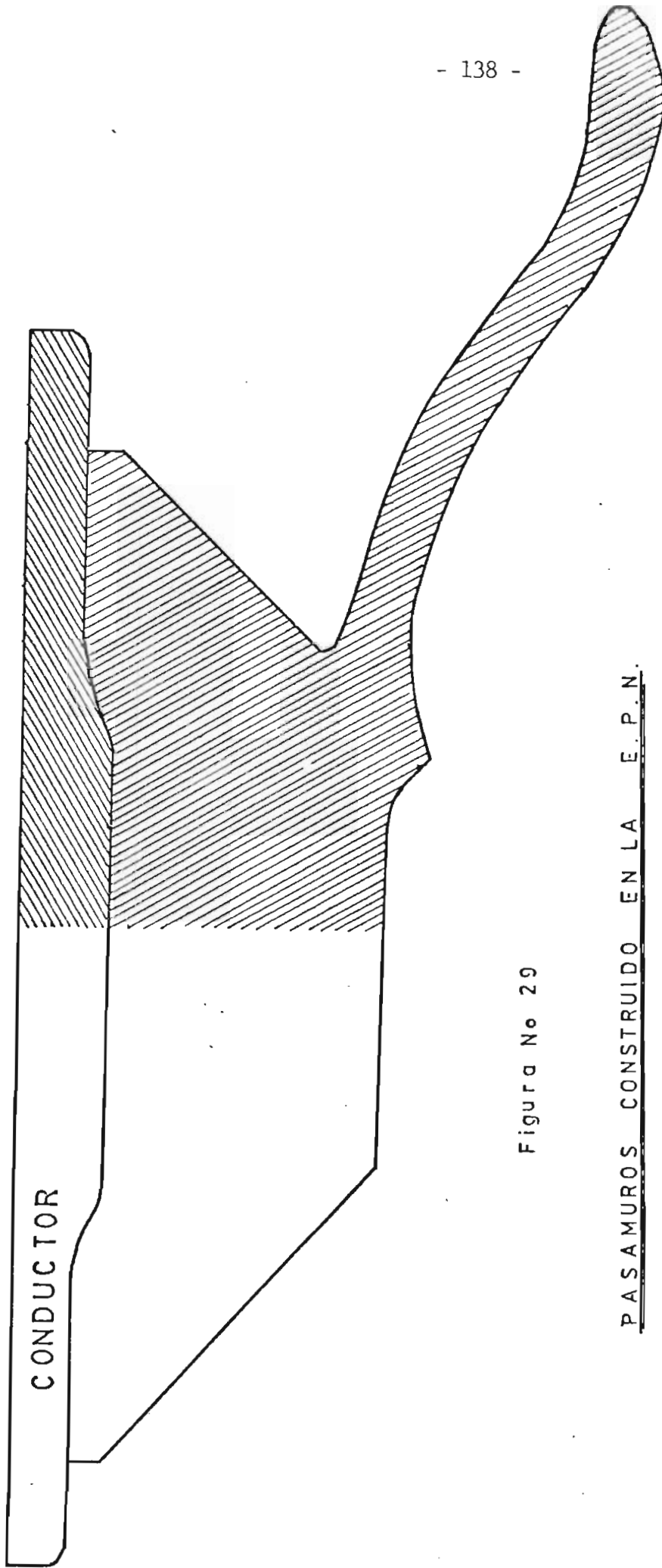
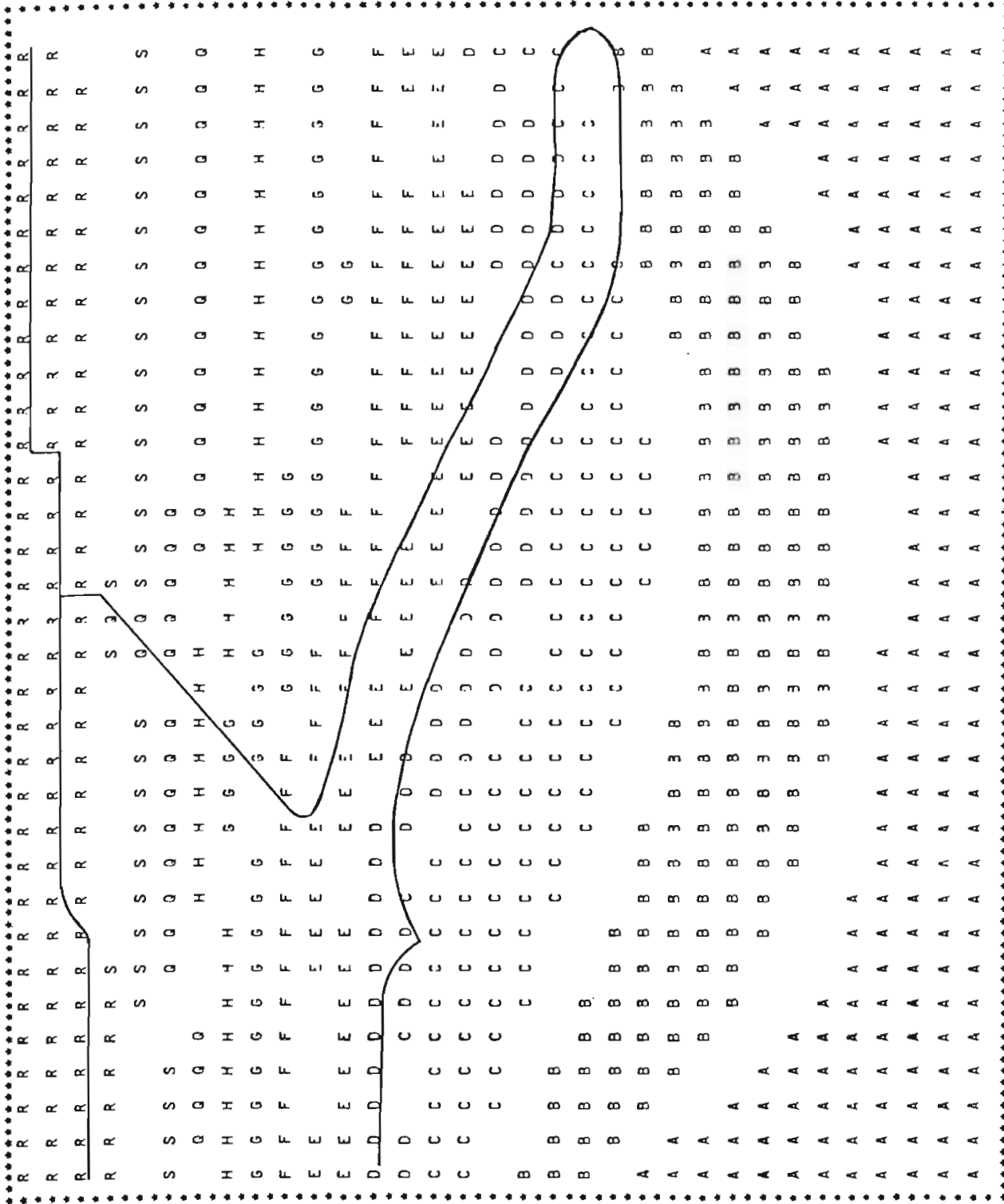


Figura No 29

PASAMUROS CONSTRUIDO EN LA E.P.N.

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 9.21 C = 19.23 D = 27.50
L = 37.60 F = 45.96 G = 53.12 H = 64.25
Q = 74.02 S = 93.29 R = 97.09



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M

46505.8	52565.1	64714.5	85631.9	121956.5	195384.8	293911.0	255333.2
44828.5	50028.8	62859.0	82578.1	115508.3	179050.0	285405.2	449627.1
40927.5	39861.0	54115.0	65313.4	99641.9	170750.6	266902.9	537296.8
42826.3	33546.4	75274.9	74411.5	57159.7	203428.9	251611.1	531462.3
121925.3	180115.2	192736.7	177384.8	235779.1	273761.2	232100.8	506926.8
75760.3	47969.1	40289.5	45210.8	54541.5	97455.2	149645.1	457338.1
52048.3	37618.8	32513.7	40786.6	61490.1	97177.3	159518.6	356089.2
91337.2	22247.2	18101.7	29734.6	55893.6	96873.2	164500.9	168584.9

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2

4.7	5.3	6.6	8.7	12.4	19.0	29.9	26.0
4.6	5.1	6.4	8.4	11.8	18.2	29.0	45.7
4.2	4.1	5.5	6.7	9.1	17.4	27.2	54.7
4.4	3.4	7.7	7.6	5.8	20.7	25.6	54.1
12.4	18.3	19.6	18.0	24.0	27.9	23.6	51.6
7.7	4.9	4.1	4.7	5.5	9.9	15.2	46.5
5.3	3.8	3.3	4.1	6.3	9.9	16.2	36.2
4.2	2.3	1.8	2.9	5.7	9.9	16.7	17.2

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3

220024.8	281105.2	426050.1	745982.0	1513099.8	3534092.5	8787972.0	6632412.0
204439.8	254622.8	401968.3	693724.0	1357322.3	3251703.0	8286683.0	20566558.0
169575.4	161641.6	297925.1	447351.9	817483.0	2966070.0	7247091.0	29368748.0
186585.2	114485.0	576443.5	563296.1	332381.4	4210002.0	6440453.0	28734380.0
1512323.3	3300333.5	3779076.0	3201032.0	5655455.0	7624313.0	5480375.0	26142524.0
583902.8	234088.5	165127.1	217242.3	423775.4	956200.6	2278179.5	21278048.0
275593.8	143968.1	107545.1	169235.3	394551.5	950698.0	2598687.5	12399550.0
173836.0	50350.8	33334.5	84349.0	317820.3	954693.6	2752919.0	2891307.0

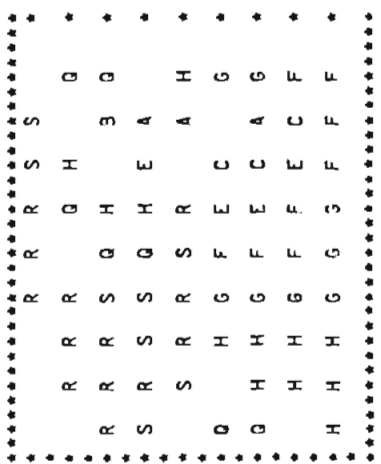
SE ANALIZA LA CONTAMINACION DEL AISLADOR AMPLIADA 9 VECES

CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA

29.3	28.9	28.6	28.3	28.0	27.5	27.1	26.6	26.1
28.5	28.2	27.9	27.4	25.5	25.1	22.8	19.5	25.4
27.7	27.6	27.3	25.7	25.6	23.5	19.7	14.0	24.6
27.0	27.2	27.1	26.7	25.5	23.5	18.6	11.9	23.9
26.2	26.9	27.2	27.5	26.6	27.5	19.1	11.6	23.1
25.5	23.8	22.5	21.4	20.0	19.1	15.3	11.2	22.4
24.7	23.6	22.5	21.5	20.2	18.5	15.0	12.1	21.5
24.0	23.2	22.5	21.8	20.9	19.8	18.1	15.7	20.9
23.2	22.9	22.6	22.2	21.3	21.5	21.0	20.6	20.1

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 11.85 B = 14.24 C = 15.79 D = 17.76
 E = 18.34 F = 20.40 G = 21.77 H = 23.13
 I = 25.06 S = 27.21 R = 27.78



VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M
=====

274940.9	279078.1	333939.3	480567.0	772679.6	1270940.0	2102629.5	1753591.3
244351.8	234032.3	276942.4	445948.6	754991.3	1320860.5	2115818.5	3107733.0
212271.3	135851.7	189453.8	374853.1	651845.8	1452935.8	2211898.0	3791509.0
234818.2	67147.7	202786.4	476557.2	1029424.3	2454216.5	2305976.5	3806531.5
804059.8	1334364.5	1812491.5	2193300.5	2752273.5	2951849.5	2166475.0	3587981.5
523950.9	378754.6	364288.0	445797.4	621305.8	921320.5	1402802.3	3405896.0
382914.7	303327.6	308902.1	415273.4	604737.1	915797.4	1449498.3	2663987.0
259260.4	194441.3	205867.1	318559.8	550238.8	889928.0	1455918.8	1265220.0

VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2
=====

28.0	28.4	34.0	48.9	78.6	129.3	213.9	178.4
24.9	23.8	28.2	45.4	76.8	134.4	215.2	316.2
21.6	13.8	19.3	38.1	66.3	148.8	225.0	385.7
23.9	6.8	20.5	48.5	104.7	250.7	234.6	387.3
81.8	135.7	184.4	223.1	280.0	301.3	220.4	375.2
53.3	38.5	37.1	45.5	63.2	93.7	142.7	346.5
39.0	30.9	31.4	42.2	51.5	93.3	147.5	271.0
26.4	19.8	20.9	32.4	56.0	90.5	148.1	128.7

POENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3
=====

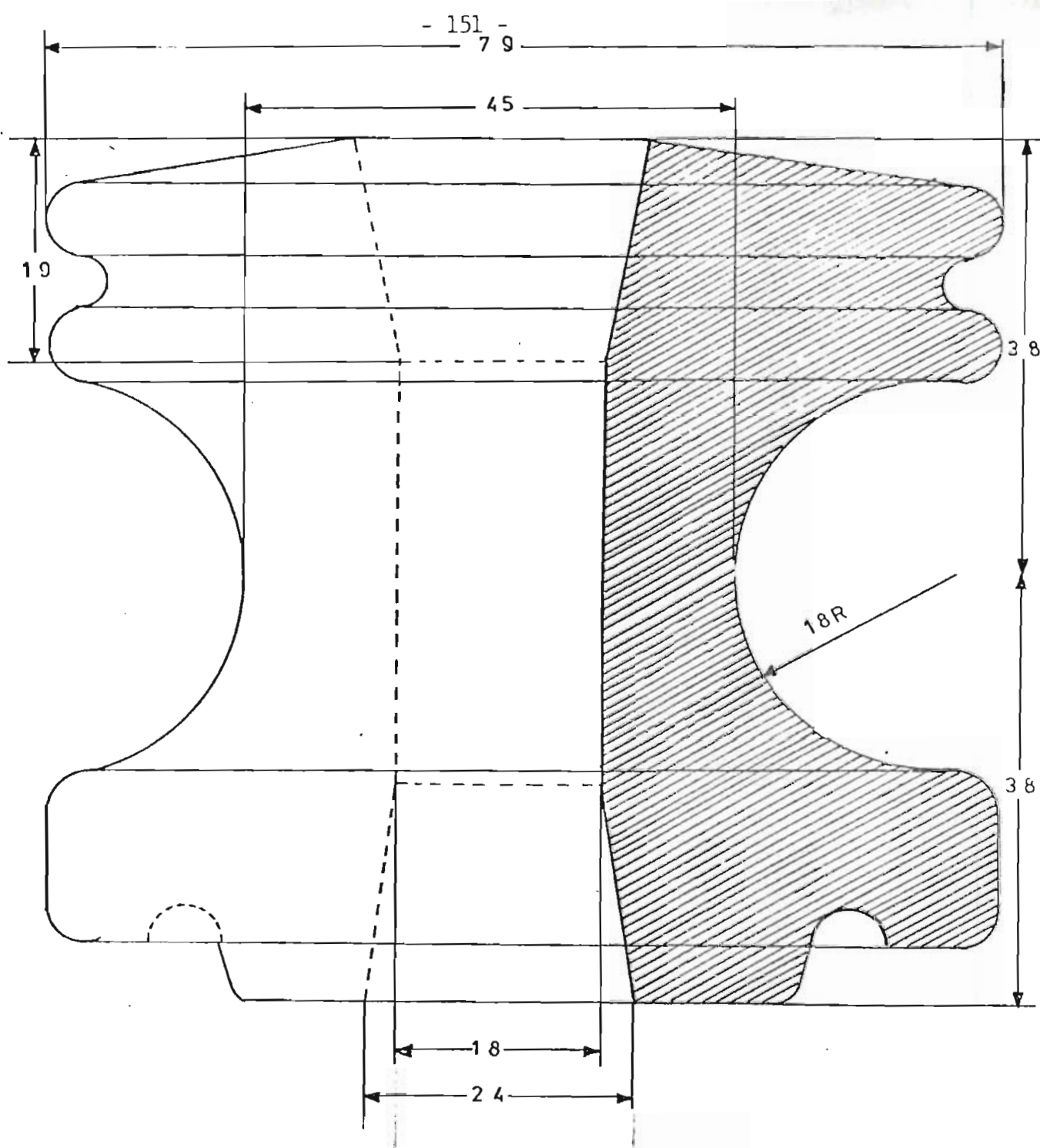
7690168.0	7923342.0	11344676.0	23494428.0	60737360.0	164326304.0	449751728.0	312869504.0
6074186.0	5571967.0	7795903.0	20222350.0	57989350.0	177498768.0	455421760.0	982326720.0
4583946.0	1877531.8	3551434.5	14295536.0	43226150.0	217724608.0	497722368.0	1462527488.0
5609451.0	458690.1	4183451.0	23103932.0	107806704.0	517752704.0	540961920.0	1474139648.0
65770880.0	181136480.0	334201920.0	499387958.0	770519775.0	322448128.0	477490048.0	1583501152.0
27927892.0	14593950.0	13500402.0	20309516.0	33270515.0	96353200.0	200193472.0	1180102400.0
14916298.0	9360106.0	9707308.0	17544358.0	37211432.0	95507392.0	213743232.0	721373376.0
6838004.0	3846219.5	4311523.0	10323794.0	30800512.0	90558768.0	215640960.0	152850496.0

Ejemplo 3. Aislador tipo rollo clase 53-2, figura 30 (Ref. 10).

Los resultados obtenidos en el computador indican, (Ver págs. 153 - 161).

- Este es un aislador que se analiza en su forma como lo dicta la norma (Ref. 10), por lo que al igual que en el aislador 53-1 se nota una mala distribución del campo eléctrico y la probabilidad de que se de disrupción en el aire (73 V/cm). (Ver pág. 156).

- El mismo tratamiento que se dió al aislador 53-1 se recomienda para el 53-2, con el fin de mejorar la distribución del campo y eliminar el punto peligroso en el aire.



NOTAS

(1) Escala 2 : 1

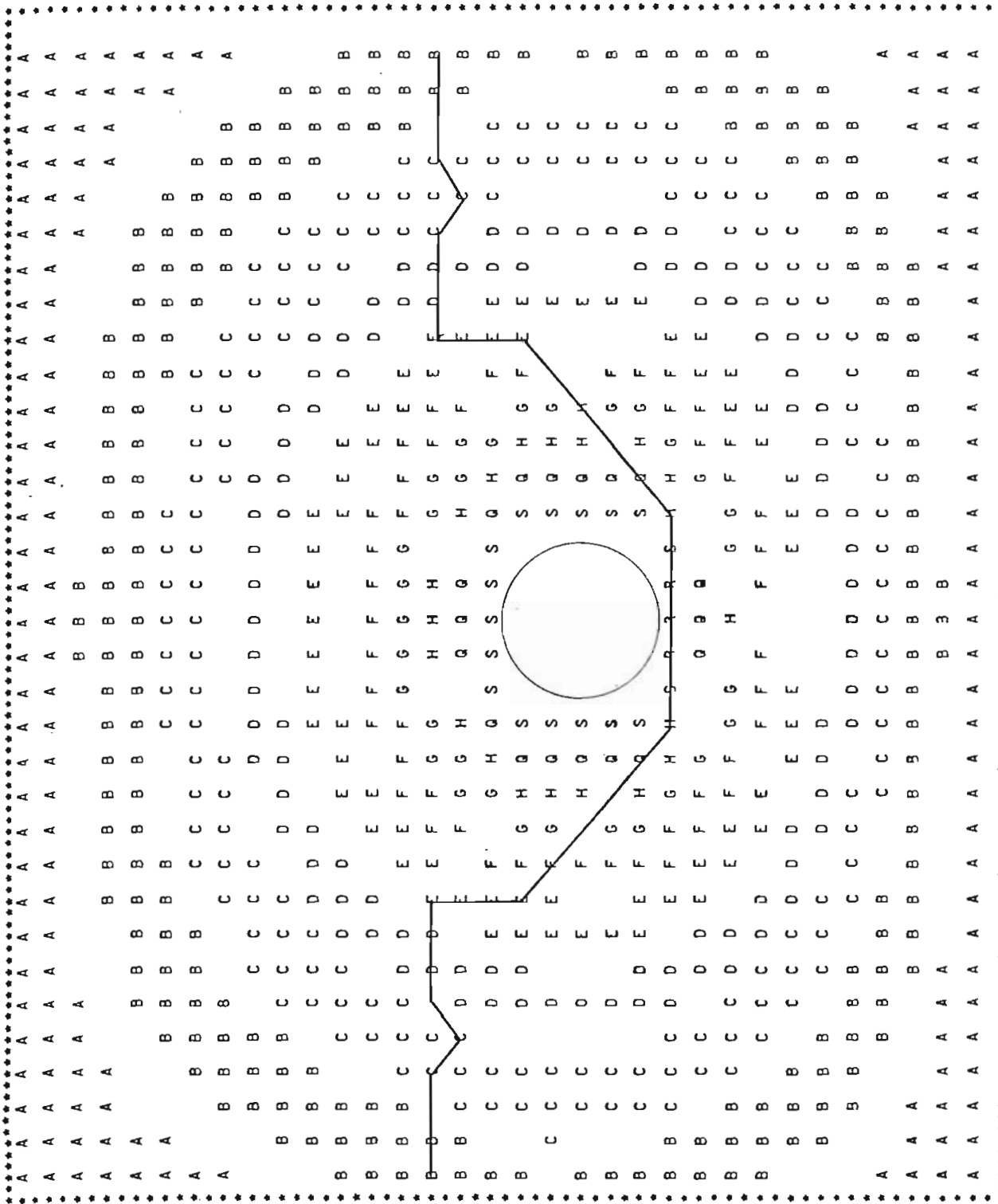
(2) Todas las dimensiones están en milímetros

Figura No 30

AISLADOR ROLLO, CLASE 53-2

GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION

A = 0.00 B = 10.09 C = 19.17 D = 28.56
L = 38.74 F = 48.96 G = 57.75 H = 66.56
Q = 75.76 S = 84.61 R = 92.30

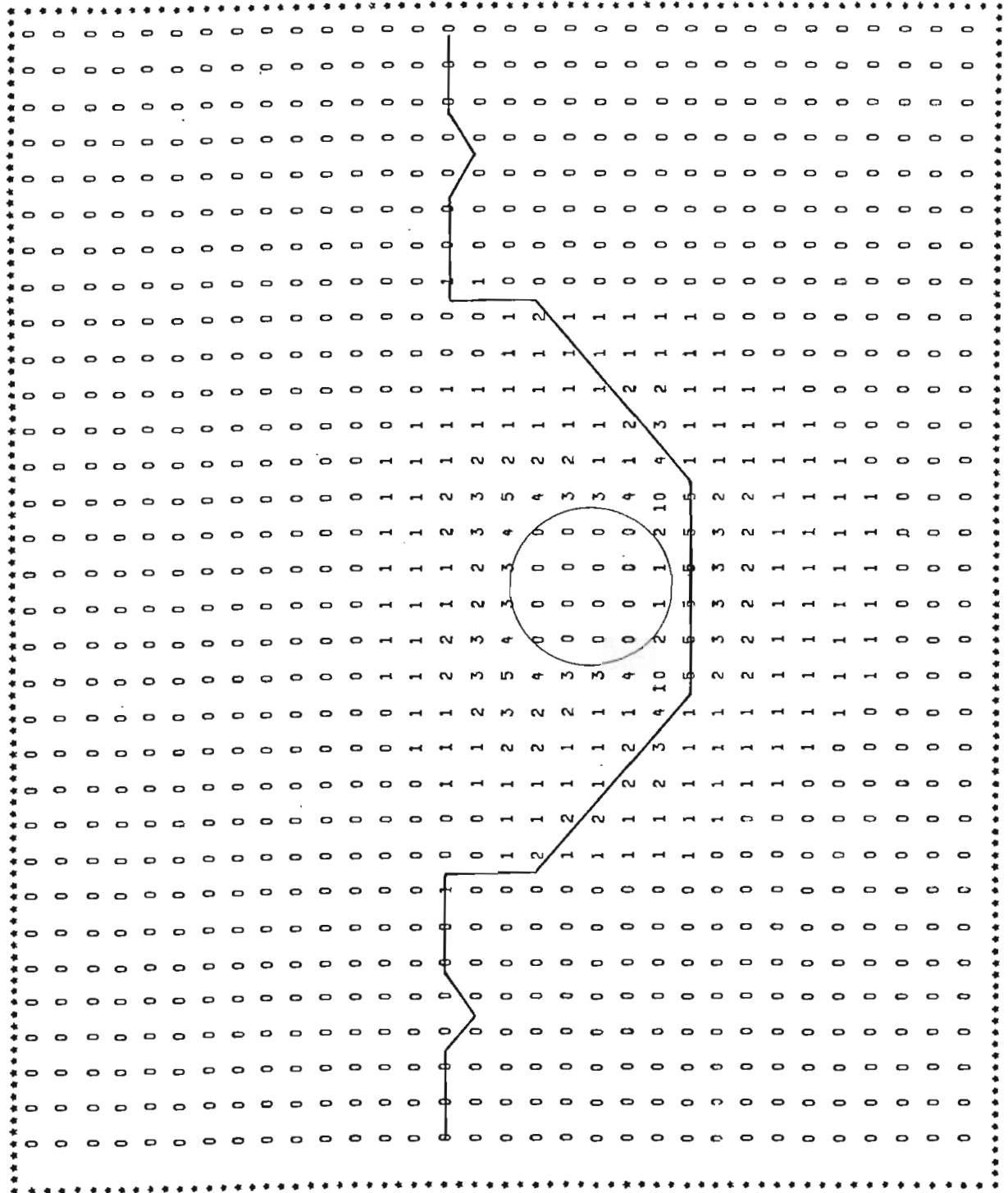


VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/CM2

ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5

2	5	6	8	9	11	12	14	15	16	17	18	19	19	19	19	19	18	17	16	15	13	12	11	9	8	6	5	2			
6	6	7	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	10	9	7	6	6	
5	7	8	10	11	12	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	20	20	19	18	17	16	15	14	12	11	10	8	6	5		
8	8	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	20	21	21	21	21	21	20	19	18	17	16	15	13	12	10	9	8	8		
8	9	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	21	22	22	22	22	22	21	20	19	18	17	15	14	13	11	10	9	8		
11	11	12	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23	23	22	21	20	19	18	16	15	14	12	11	11	11		
11	13	13	14	15	16	18	19	20	22	23	24	24	25	24	24	24	24	23	22	20	19	17	16	14	13	12	11	11	11		
15	15	15	16	17	19	20	22	23	24	25	26	26	26	26	26	26	25	24	23	22	20	18	17	16	15	14	14	15	15		
16	16	16	17	17	18	20	21	23	25	26	28	28	29	29	28	28	29	28	28	26	25	23	21	19	18	17	16	16	15		
16	16	17	18	19	20	21	23	25	27	28	30	31	32	32	31	31	32	32	31	30	29	27	25	23	21	20	18	17	16	16	
16	17	18	19	20	21	23	24	26	29	31	33	34	35	35	34	34	35	35	34	33	31	29	27	25	23	21	20	18	17	16	16
17	17	18	19	21	23	25	27	28	31	34	36	38	40	40	39	38	40	40	38	36	34	31	29	28	26	23	21	19	17	16	16
16	17	18	20	22	24	27	31	32	33	37	40	43	45	45	44	44	45	45	43	40	37	34	33	32	28	25	21	18	17	16	15
15	16	18	20	22	25	29	37	35	37	39	44	49	52	53	51	51	53	52	49	45	40	37	36	39	31	26	20	16	17	15	14
16	18	21	23	26	30	36	44	35	40	44	48	56	52	63	61	60	63	62	56	49	44	40	37	49	39	33	30	11	16	16	14
17	18	20	23	26	29	34	42	32	42	49	55	64	78	77	72	72	77	77	64	55	49	43	34	45	38	35	37	20	17	16	15
16	17	20	22	25	27	28	32	51	49	55	63	77	108	95	85	86	94	107	75	61	54	49	53	35	32	32	29	22	18	16	14
13	16	19	21	24	27	30	32	42	59	58	64	75	92	9	4	4	9	90	73	52	56	56	72	37	33	30	27	22	18	15	12
14	16	18	20	23	27	31	38	52	65	56	59	67	80	4	0	0	4	79	65	55	52	56	56	41	34	29	25	21	18	15	13
17	18	20	22	24	28	32	37	48	62	60	49	59	78	4	0	0	9	77	57	46	58	62	51	40	33	29	25	22	19	18	17
19	20	21	23	26	29	34	40	49	60	73	64	53	95	9	4	4	10	90	52	53	73	60	50	41	35	30	26	23	21	19	19
20	20	22	24	26	30	34	40	47	55	65	81	92	146	74	51	51	74	146	91	31	63	56	48	41	35	30	27	24	22	20	20
20	20	22	24	26	29	33	38	43	49	55	59	67	80	47	80	80	100	100	47	59	54	49	44	39	34	30	27	24	22	20	20
19	20	21	23	25	28	32	36	40	44	50	55	59	76	84	82	81	84	76	59	55	50	44	40	36	32	29	26	23	21	20	19
18	19	20	22	24	27	30	33	37	42	47	52	57	65	69	68	68	69	65	57	52	47	42	37	33	30	27	24	22	20	19	18
16	18	19	21	23	25	28	32	36	40	44	49	53	57	59	58	58	59	57	53	49	45	40	36	32	28	25	23	21	19	18	17
15	16	17	19	21	24	27	31	34	38	42	45	49	51	52	52	52	52	51	49	45	42	38	35	31	28	25	22	19	17	16	15
13	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	47	48	47	47	48	47	45	42	40	36	33	30	27	24	21	18	16	14	13
11	13	15	17	20	23	26	28	31	34	37	40	42	44	44	44	44	44	44	42	40	37	35	32	29	26	23	20	18	15	13	11
10	12	14	17	19	22	24	27	30	33	35	38	40	41	42	42	42	42	41	40	38	35	33	30	27	25	22	19	17	14	12	10
8	11	13	15	18	21	23	26	29	31	34	36	38	39	40	40	40	39	38	36	34	31	29	26	23	21	18	16	13	11	9	9
7	10	12	14	17	19	22	25	27	30	32	35	36	38	39	40	40	39	38	37	35	32	30	27	25	22	19	17	14	12	10	7

POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN EN W/M3



3.4. COMPARACION DE RESULTADOS CON LOS DEL GRAFIZADOR DE CAMPOS

Con la ayuda del grafizador de campos, se trazaron los líneas equipotenciales del aislador 53-1, para la parte sombreada de la figura 24. Las líneas equipotenciales trazadas son para: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 por ciento del potencial que tiene el conductor. Se simuló en el aparato una constante dieléctrica de valor 2.

Los datos de la matriz de potencial obtenidos en el computador que se presentan a continuación, son comparados con los obtenidos en el grafizador de campos presentados en la figura 31.

Al comparar los resultados, se nota una pequeña variación, pero todos los datos del computador (pág. 161) se ajustan al obtenido en el grafizador con un error de más menos dos por ciento. $\pm 2\%$

El error del dos por ciento es aceptable, si se considera que el grafizador también puede introducir un pequeño error dependiendo de la sensibilidad del aparato, también se suma el error que se puede cometer por apreciación del ojo humano. Mientras que, los resultados dados en el computador son obtenidos de un proceso iterativo que acarrea pequeños errores de truncamiento y el debido al factor de convergencia.

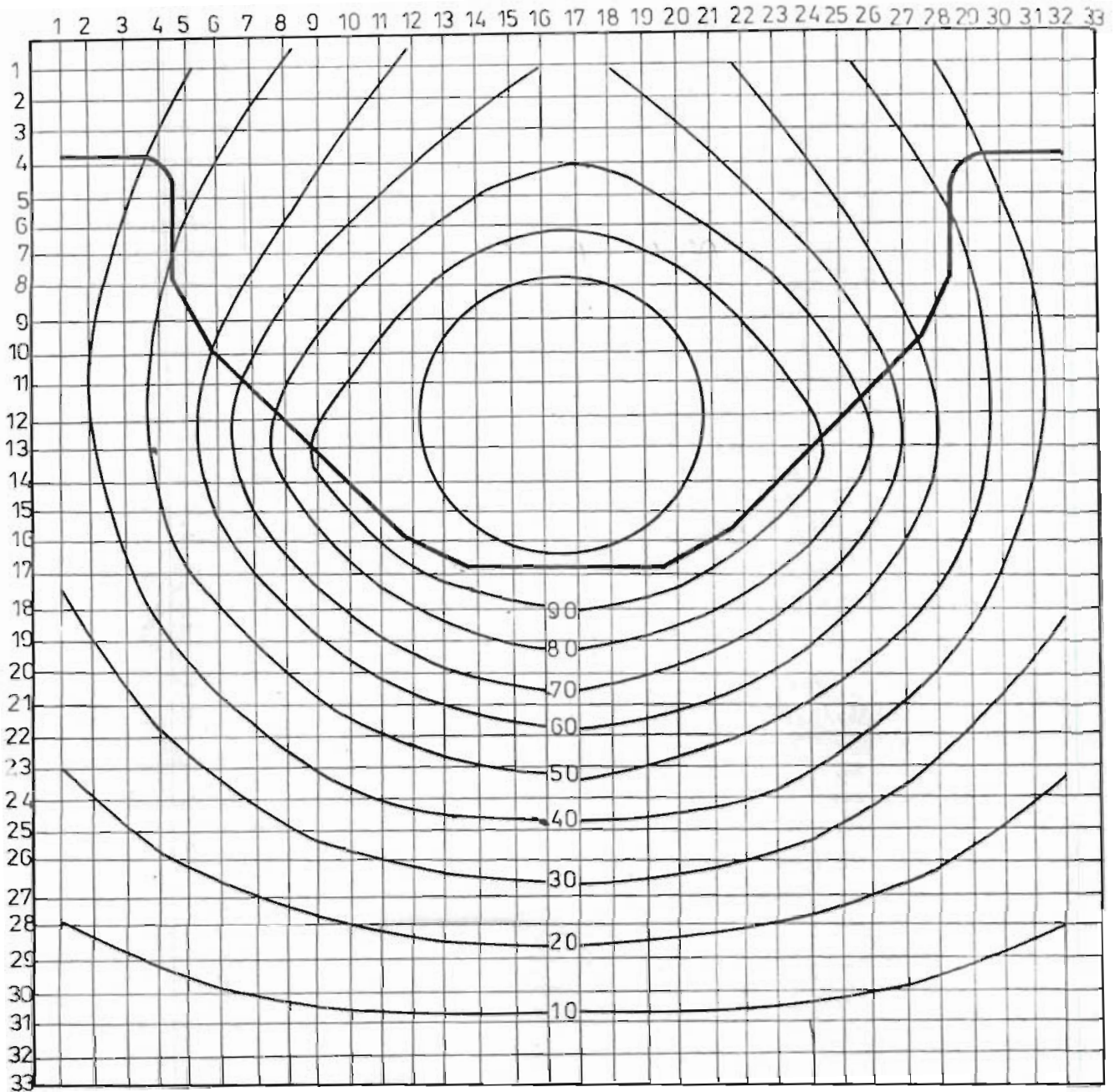


Figura No 31 AISLADOR TIPO ROLLO 53 - 1
Valores de potencial tomados en el grafizador
de Campos

C A P I T U L O I V

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El programa digital objeto de esta tesis, tiene un subprograma "CALC", que admite cambiar o implementar cualquier forma de aislador. Esto permite hacer uso de los modelos de aisladores implementados en el computador, hacer modificaciones o modelar nuevos aisladores para realizar el análisis de su comportamiento eléctrico.

El programa en conjunto presenta la posibilidad de mejorar la distribución uniforme de campos considerando una película semiconductor y/o cambiando ciertas dimensiones para mejorar la distribución interna.

Además en condiciones de contaminación permite definir altos gradientes de potencial que pueden servir de parámetros para realizar pruebas prototipos de aisladores al conocer rangos de valores.

El análisis del comportamiento eléctrico se realiza sobre dieléctricos que no son ideales, es decir tienen un pequeño valor de conductividad para poder utilizar materiales de calidad inferior a los normalmente empleados.

Se recomienda hacer un estudio de la distribución de cargas

que permitan conocer en cada punto del dieléctrico (no ideal) la densidad de cargas (ρ) para poder resolver la ecuación de Poisson en lugar de la ecuación de Laplace.

Se recomienda también realizar un análisis y pruebas de pas
tas en porcelana nacional para aisladores de alto voltaje, poniendo especial interés en mejorar su resistividad.

En las páginas 119-a y 119-b con línea punteada (.....), se indica la superficie ideal del aislador, esto evitará que la contami
nación afecte al aislador en esas partes. Se hace coincidir la superficie del aislador con una línea equipotencial para eliminar la presencia de gradiente de potencial.

A N E X O A

DESARROLLO DEL PROGRAMA DIGITAL

A.1. Introducción

Aquí se presenta en detalle, el programa digital en lenguaje FORTRAN IV, el cual ha sido probado y grabado en el Computador IBM 370-125 de la Escuela Politécnica Nacional.

El programa elaborado para analizar el comportamiento eléctrico de los aisladores, se basa en la teoría desarrollada en el primer capítulo de esta tesis, este consta de un programa principal, de 10 subrutinas y 23 subprogramas functions, los mismos que se mencionan a continuación:

- Subrutina VALCOM
- Subrutina AMPLY
- Subrutina AUXI
- Subrutina CAEL
- Subrutina CALC
- Subrutina CONTAM
- Subrutina EQPOTE
- Subrutina ESC
- Subrutina INICIO
- Subrutina TITULO
- Function PRO
- Function PROM

- Function UNO
- Function DOS
- Function TRES
- Function CUATRO
- Function CINCO
- Function SEIS
- Function SIETE
- Function OCHO
- Function NUEVE
- Function DIEZ
- Function ONCE
- Function DOCE
- Function DOCEP
- Function TRECE
- Function CATOR
- Function QUINCE
- Function CIEN
- Function DSEIS
- Function DSIETE
- Function DDOS
- Function PTRON

A.2. Secuencia de cálculo

El programa consta básicamente de las siguientes partes:

- a) Se leen los datos requeridos en el programa.
 - Se leen datos de: dimensión de la matriz donde se analiza el

aislador, factor de convergencia, número máximo de iteraciones que puede utilizarse hasta llegar a la solución, factor de aceleración, coordenadas (x,y) de inicio y fin del área contaminada.

- Se leen los valores de: permitividad del material aislante permitividad de la capa de vidrio, permitividad de los materiales contaminantes, conductividad del aislador, conductividad del contaminante.
 - Se leen los datos de: voltaje para el cual fue diseñado el aislador, el valor de diferencia de potencial considerado peligroso, los valores de contorno de la matriz de potencial, frecuencia nominal y frecuencia de análisis para contaminación.
 - Se leen los índices correspondientes a: tipo de aislador a analizarse y forma del área contaminada.
- b) Se calculan los valores de potencial haciendo una primera aproximación, con la ecuación (1.13), mediante la utilización de la function 'PROM'. Para no involucrar en el cálculo a la parte que corresponde al conductor, se averigua si el potencial es mayor o igual a 98 %, de serlo no se realiza ningún cálculo.
- c) Mediante el uso de la subrutina "CALC", se calcula la matriz de potencial definitiva, a partir de la ecuación (1.15)

y tomando en cuenta las condiciones en la superficie común entre dieléctricos, con las ecuaciones de (1.25) a (1.39), mediante la utilización de los subprogramas functions: "UNO, DOS, TRES, CUATRO, CINCO, SEIS, SIETE, OCHO, NUEVE, DIEZ, ONCE, DOCE, TRECE, CATOR, QUINCE.

- d) Si el contador NVP es igual a uno, significa que se esta analizando el aislador completo del que ya se tiene calculado la matriz de potencial; se calcula la matriz de equipotenciales, mediante la utilización de la subrutina "EQPOTE".
- e) Con el valor de diferencia de potencial considerado peligroso Z, se rastrea por todo el aislador verificando que $Z/2$ no exista entre dos puntos contiguos de la matriz del aislador, en caso de existir se considera área peligrosa.
- f) Si se encuentra una área peligrosa, el contador es diferente de uno; mediante la subrutina "AMPLY", el área peligrosa de 3 x 3 se amplifica a una matriz de 9 x 9, el proceso regresa al punto c para calcular la matriz de potencial de esta área, mediante la utilización de la subrutina "CALC" con solo cambiar la dimensión de la matriz a 9 x 9. Con un valor de NVP diferente de uno calcula la matriz de líneas equipotenciales del área peligrosa.
- g) Una vez que se termina de rastrear todo el aislador, se procede a calcular: el campo eléctrico con la ecuación (1.41), el módulo de la densidad de corriente con la ecuación(1.45),

la pérdida de potencia por unidad de volumen con la ecuación (1.47); mediante el uso de la subrutina "CAEL".

- h) En este paso se amplifica en dos oportunidades el área contaminada, mediante la utilización de la subrutina "AMPLY". Se calcula el potencial, líneas equipotenciales, campo eléctrico, módulo de la densidad de corriente y pérdida de potencia por unidad de volumen, mediante el uso de la subrutina "CONTAM".

A.3. Descripción del programa

A continuación se describe las principales características del programa y de los subprogramas utilizados.

A.3.1. Características

Título: "Análisis del comportamiento eléctrico de los aisladores"

Lenguaje: FORTRAN IV

Probado y Grabado en: Computador IBM 370-125 de la Escuela Politécnica Nacional.

Capacidad: El programa puede hacer el estudio de los siguientes aisladores:

- Pasamuros construido en la EPN
- Aislador tipo espiga clase 55-4

- Aislador tipo rollo clase 53-1 (mitad)
- Aislador tipo rollo clase 53-1 (mitad recorrido)
- Aislador tipo espiga clase 56-1 (entero)
- Aislador tipo suspensión clase 52-4 (entero)
- Aislador tipo rollo clase 53-2
- Aislador tipo suspensión clase 52-4 (mitad)

A.3.2. Descripción de las Subrutinas

El programa digital consta de un programa principal y de diez subrutinas, las cuales se detallan a continuación.

SUBROUTINA INICIO: Escribe el encabezamiento del programa con las siguientes especificaciones: Identificación, descripción del problema a resolverse, descripción del método de solución, descripción de variables y sus significados.

SUBROUTINA TITULO: Mediante un valor de INDI, escribe el título del listado del programa de acuerdo al aislador analizado.

SUBROUTINA VALCON: Verifica si todos los datos han sido proporcionados al programa de una manera correcta. En caso de error en los datos, se detiene la ejecución del programa y da el respectivo mensaje de error.

SUBROUTINA CALC: Con el valor de INDI selecciona el aislador a ana

lizarse. Calcula la matriz de potencial, para lo cual utiliza el método iterativo de Diferencias Finitas. Además verifica que el factor de convergencia se cumpla y que el número de iteraciones utilizado en la solución no sea mayor al máximo especificado. Esta misma subrutina calcula la matriz de potencial cuando se trata de una área peligrosa.

SUBROUTINA EQPOTE: Toma los valores de la matriz de potencial, ordena en forma ascendente y los divide en 11 segmentos. Un ochenta por ciento de los valores de cada segmento son representados por una letra para el dibujo de las líneas equipotenciales.

SUBROUTINA AMPLY: Cuando se entra al análisis de áreas contaminadas y áreas peligrosas, se toman pequeñas secciones de aislador y aquí se amplifican de una sección en dimensión matricial tres por tres a una sección nueve por nueve.

SUBROUTINA AUXI: Grafica el error vs. el número de iteraciones que se obtiene al calcular la matriz de potencial por el método iterativo de Diferencias Finitas. A la mayor diferencia entre el potencial de las iteraciones N y N-1, se le da el nombre de error.

SUBROUTINA CAEL: Calcula por el método de cuadrados curvilíneos el

campo eléctrico en cada punto de la matriz donde se representa el aislador. Además calcula y escribe el módulo del vector densidad de corriente, y las pérdidas de potencia por unidad de volumen.

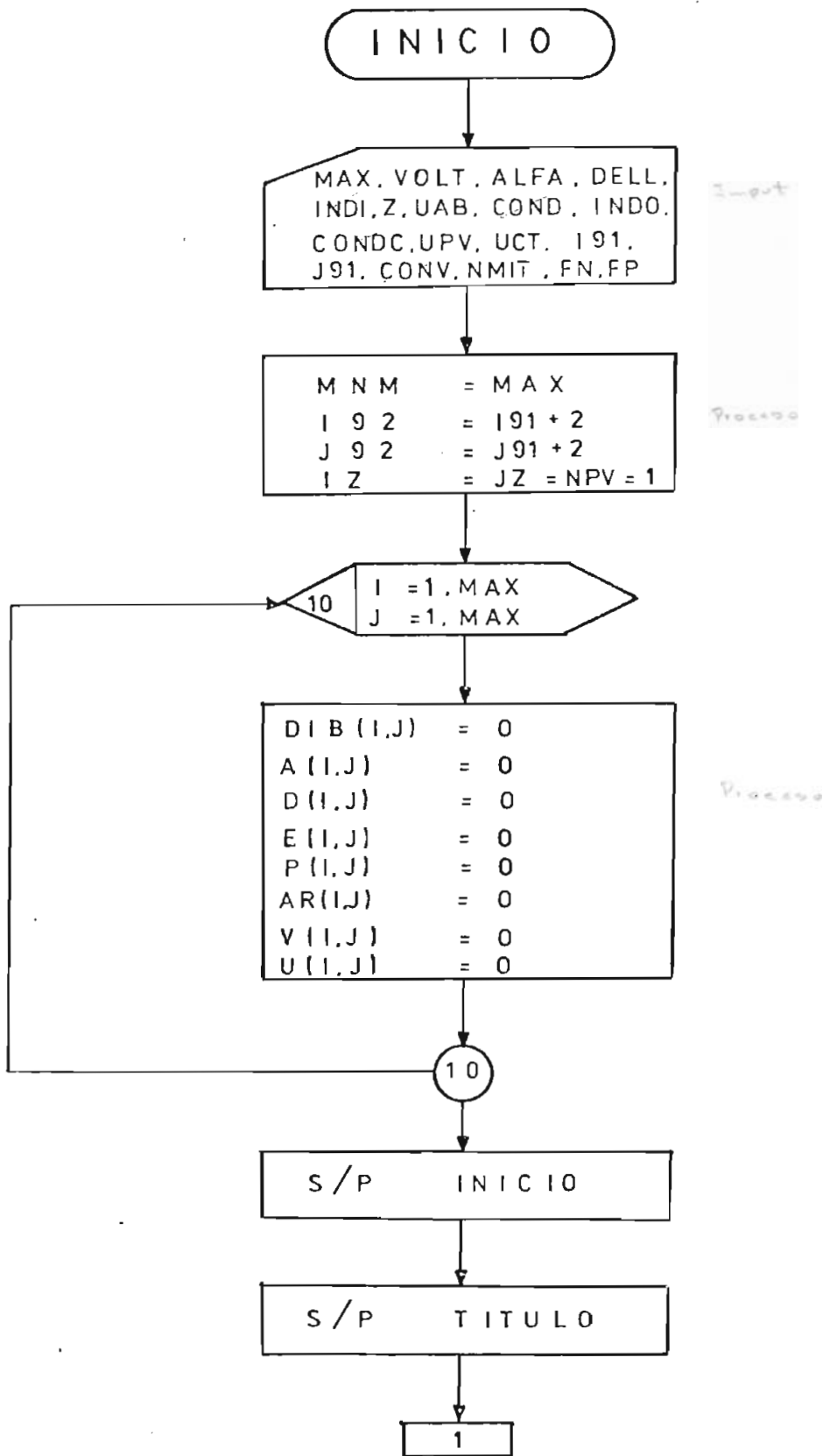
SUBROUTINA CONIAM: Con el valor de INDO se selecciona la forma del área contaminada, se calcula y se escribe: el potencial, líneas equipotenciales, campo eléctrico, densidad de corriente y pérdidas de potencia por unidad de volumen.

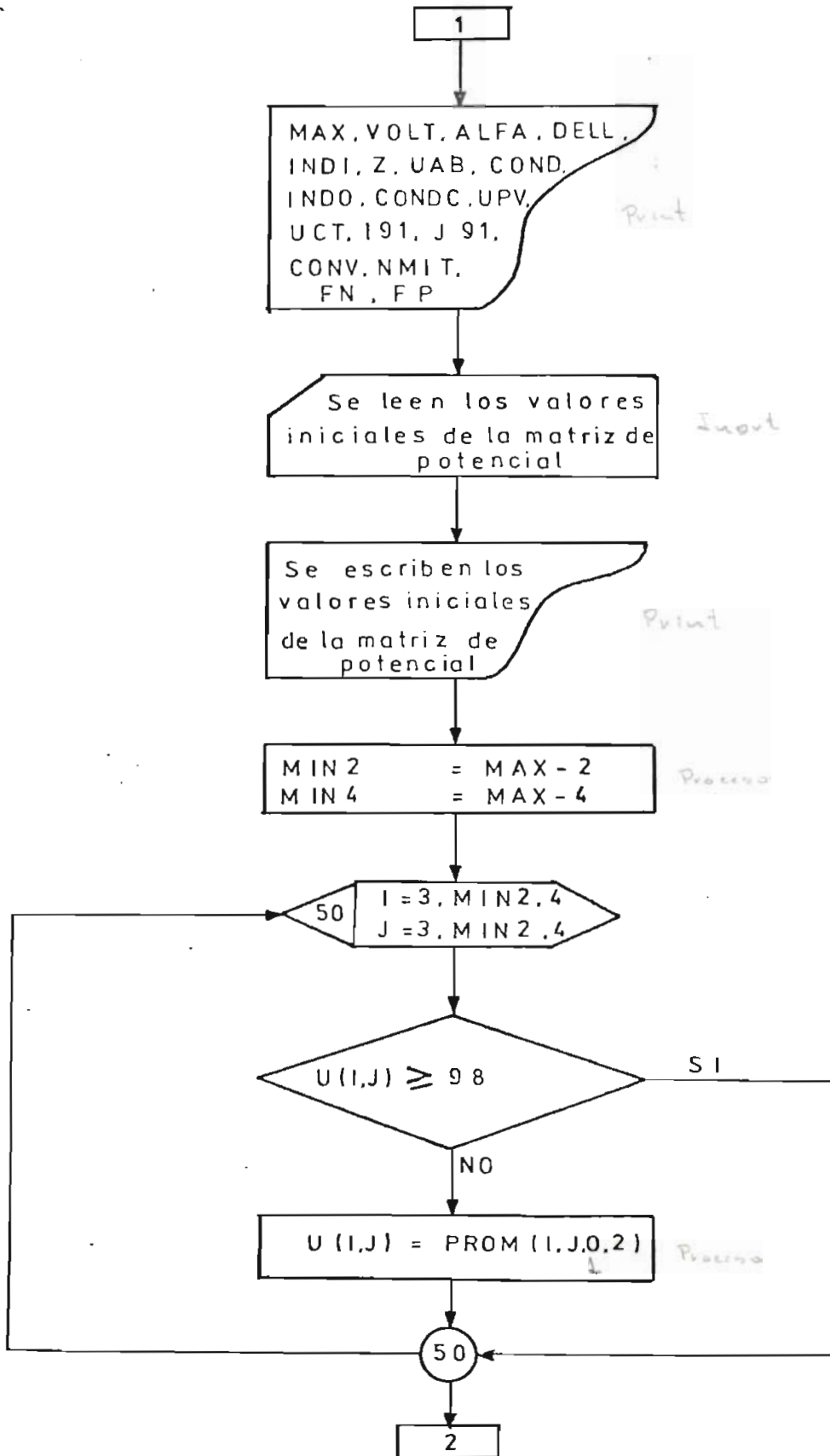
SUBROUTINA ESC: Como son muchas las veces que en el desarrollo del programa se necesita hacer imprimir una matriz, la subrutina "ESC" escribe los valores de la matriz cualquiera sea su dimensión.

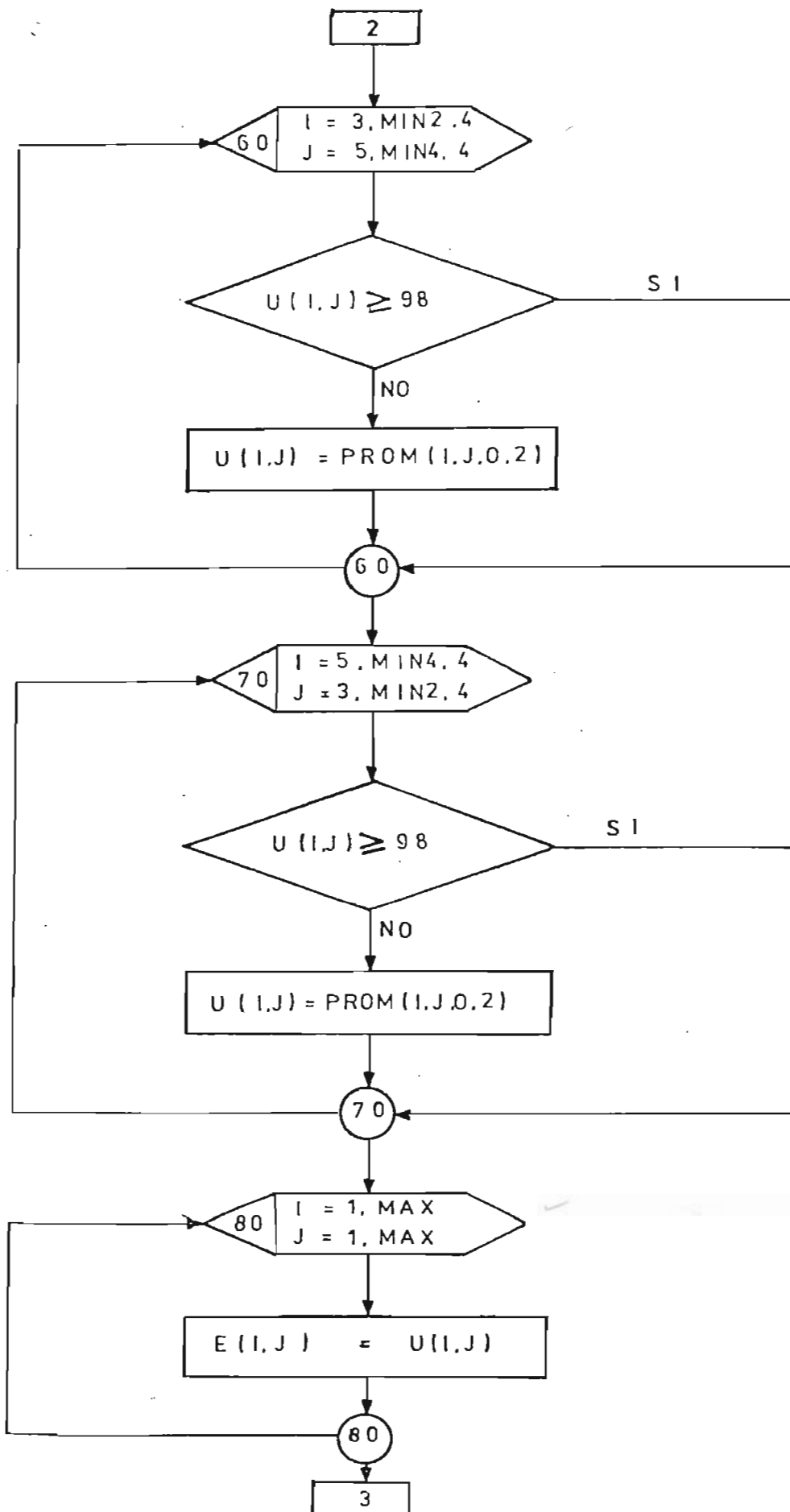
A.4. Diagrama de flujo

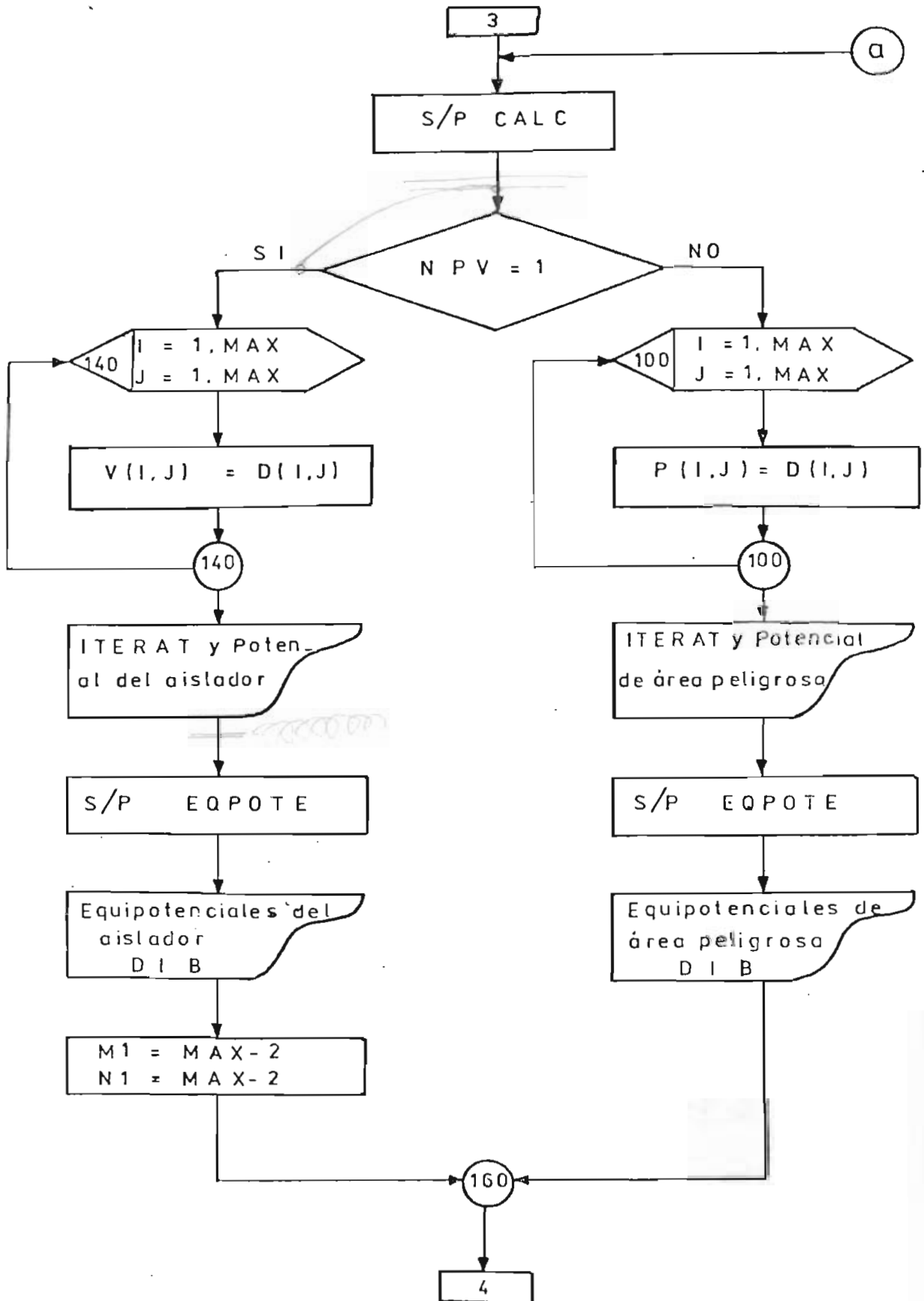
A continuación se presentan los diagramas de flujo, tanto del programa principal como de las subrutinas desarrolladas en esta tesis, lo cual permite visualizar en mejor forma los pasos seguidos en el programa digital.

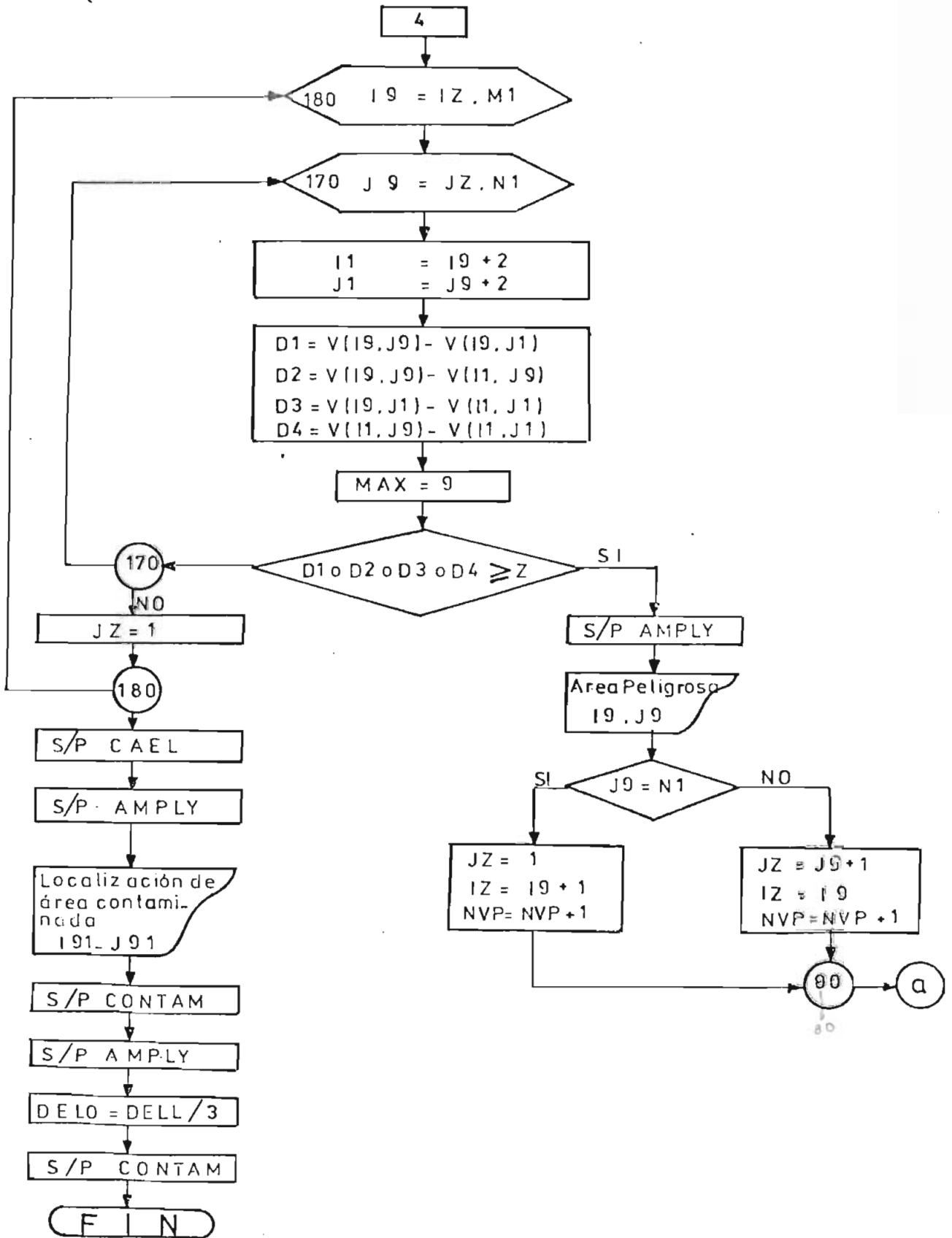
PROGRAMA PRINCIPAL











C A E L
V, MAXUNO, DELL, COND,
VOLT, INDI, UAB, FN

JOT = MAXUNO - 1
EPI = UAB * 8.85 E - 12
EPN = EPI * 6.2832 * FN

10 I = 1, JOT
J = 1, JOT

P12 = V(I,J) - V(I,J+1)
P13 = V(I,J) - V(I+1,J)
P14 = V(I,J) - V(I+1,J+1)
P24 = V(I,J+1) - V(I+1,J+1)
P23 = V(I,J+1) - V(I+1,J)
P34 = V(I+1,J) - V(I+1,J+1)

DENO = DELL (4 + 2√2)
DNEM = P12 + P13 + P14 + P24 + P23
+ P34
DNUN = DNEM * VOLT
E(I,J) = DNUN / DENO

10

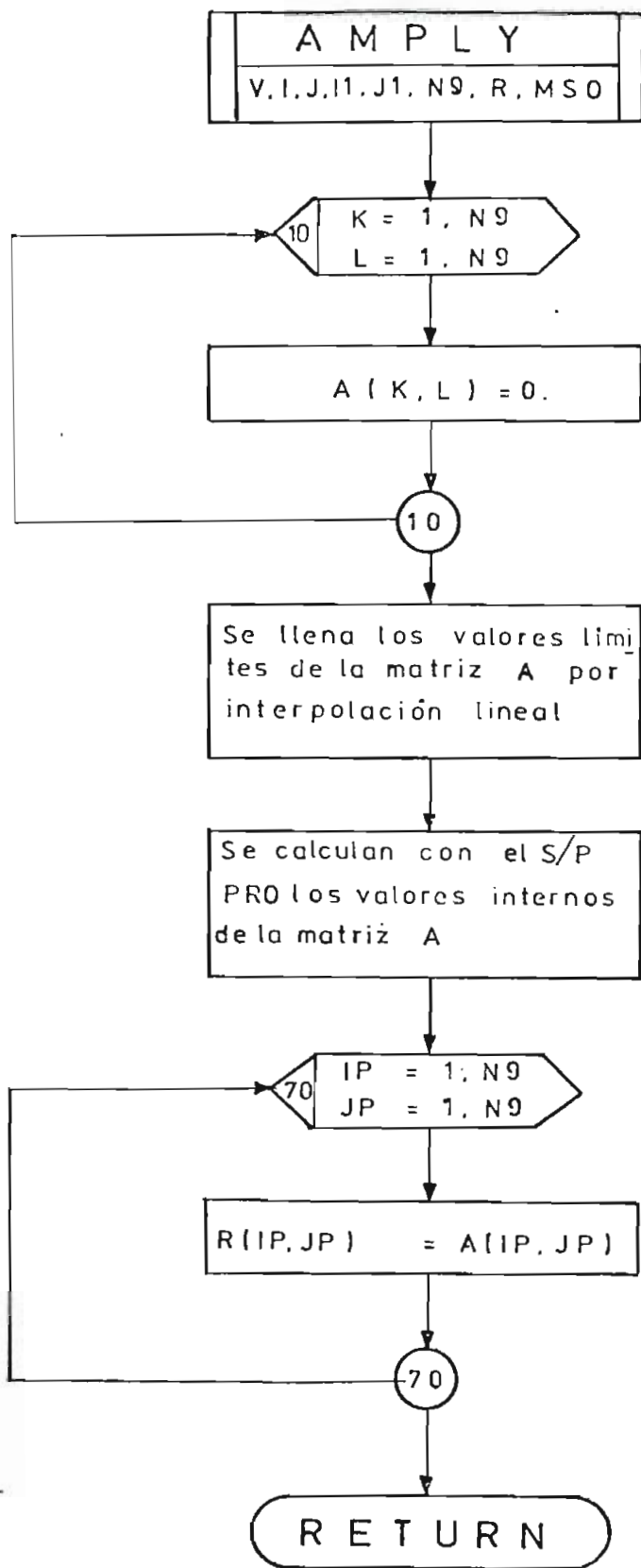
80 I = 1, JOT
J = 1, JOT

D(I,J) = E(I,J) √(σ² + EPN²)
Q(I,J) = D(I,J) * E(I,J)

80

Escribir
E, D, Q

RETURN



EQPOTE
L, M, P, DIB

DA = A DD = D DH = H
DB = B DE = E DG = G
DC = C DF = F DQ = Q
DS = S DR = R BLANCO = ~~Ø~~

K = 0 ; L = M * M

10 I = 1, M
J = 1, M

DIB(IJ) = BLANCO
K = K + 1
VOX(K) = P(I, J)

10

PEQ = GRAN = VOX(1)

30 K = 2, L

X1 = VOX(K)

S I X1 < GRAN

NO

GRAN = X1

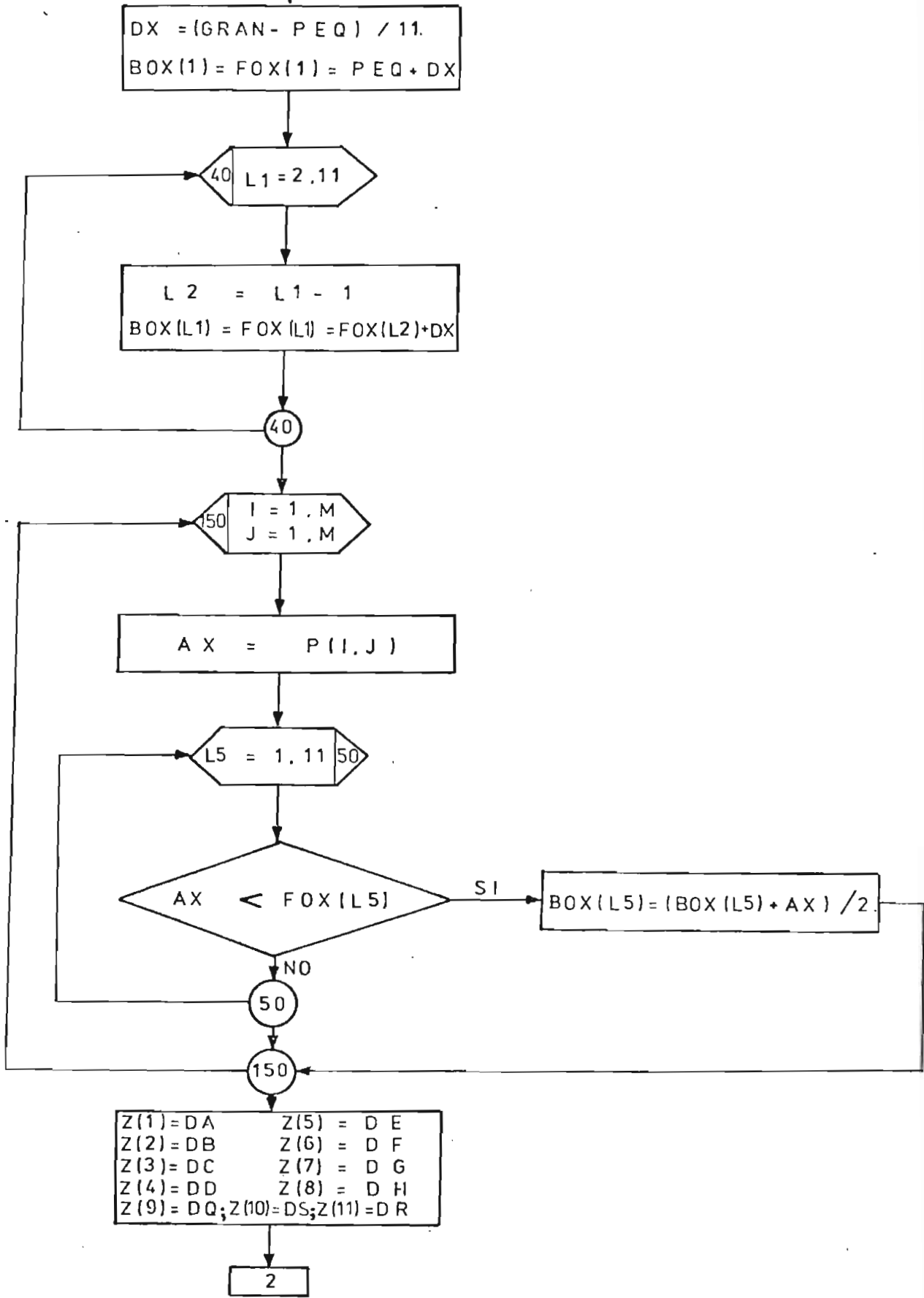
S I X1 > PEQ

NO

PEQ = X1

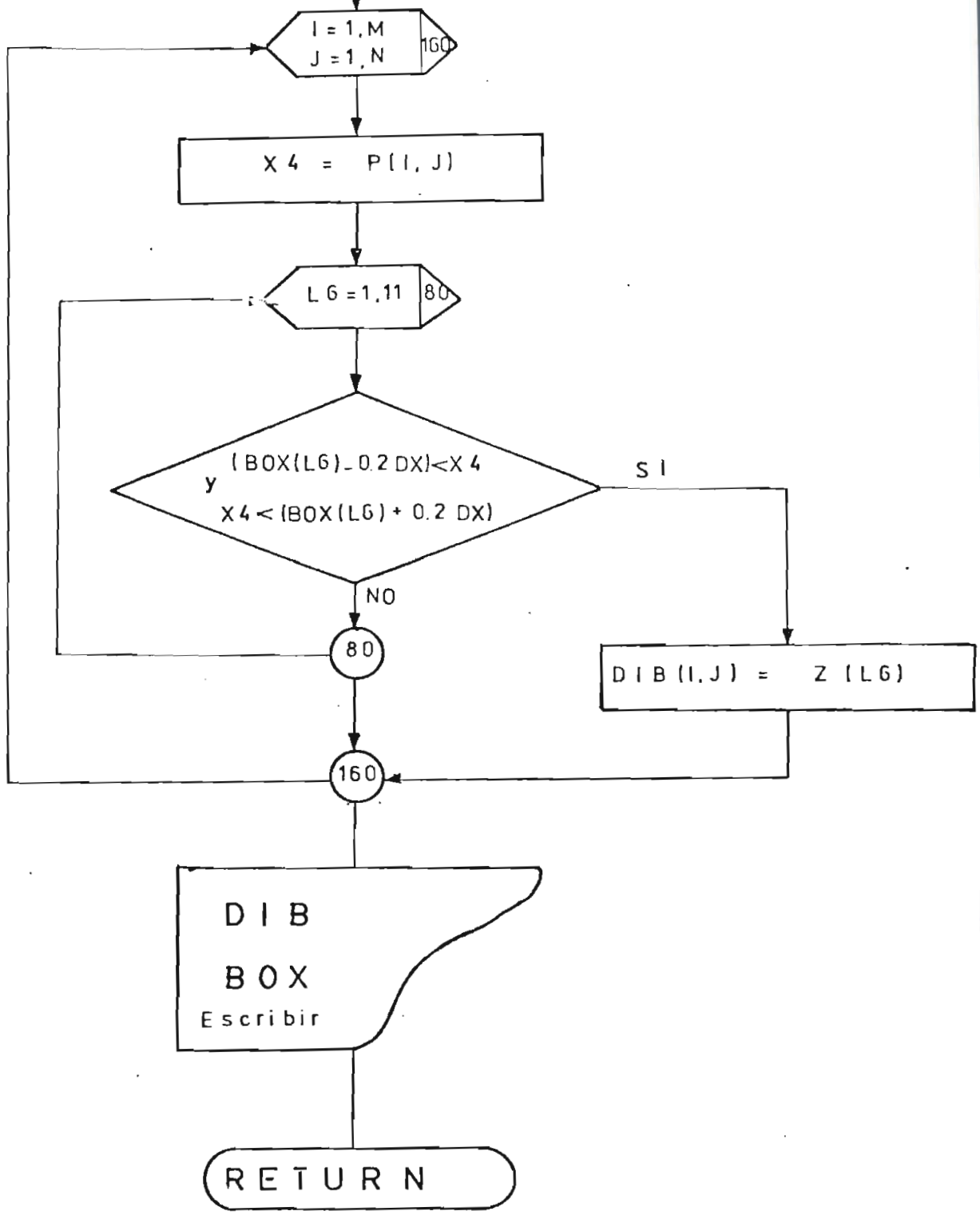
30

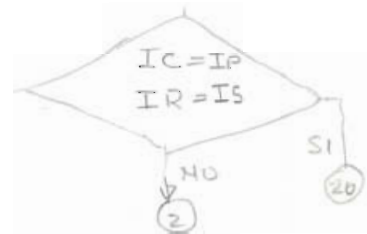
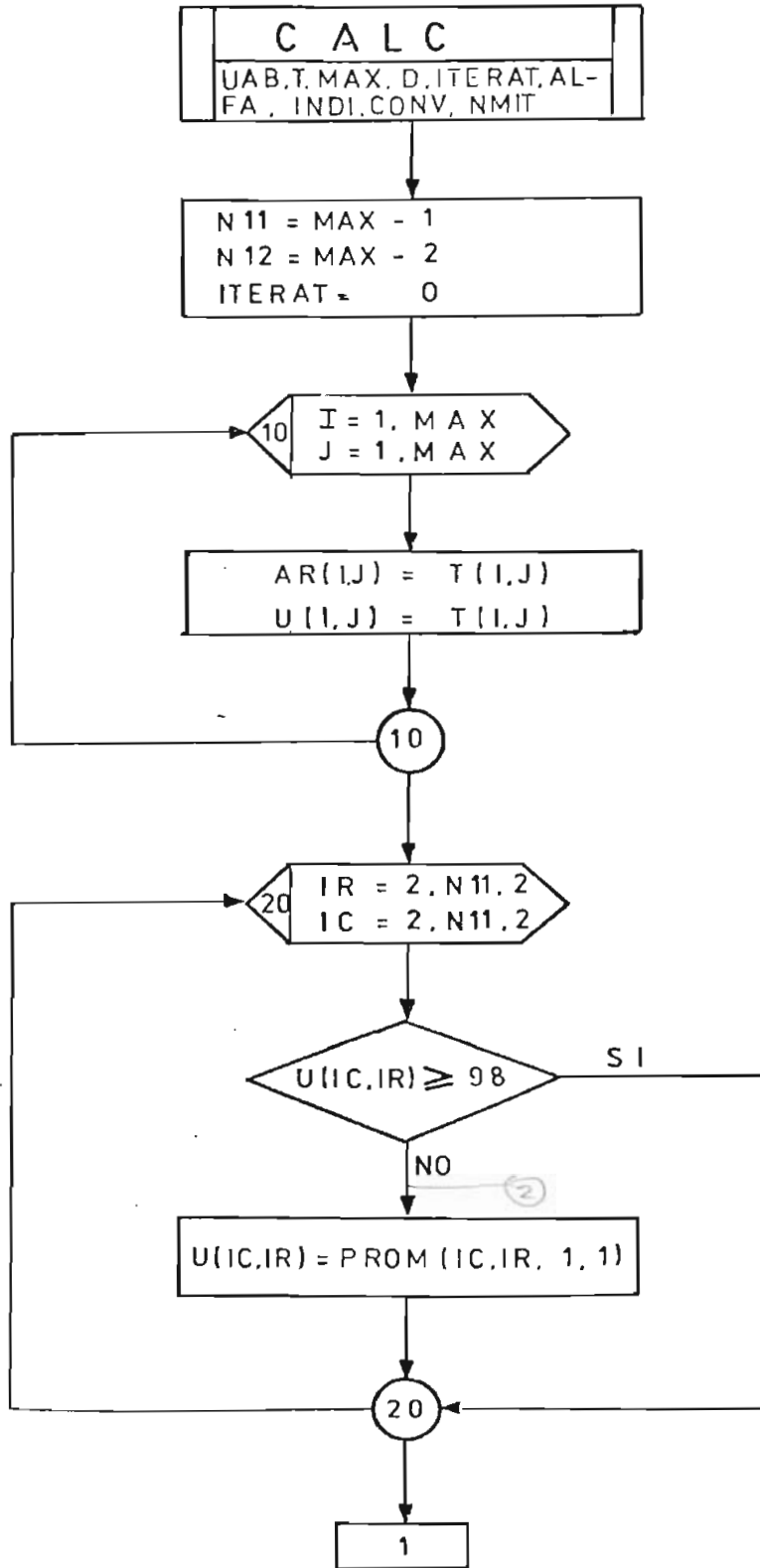
1

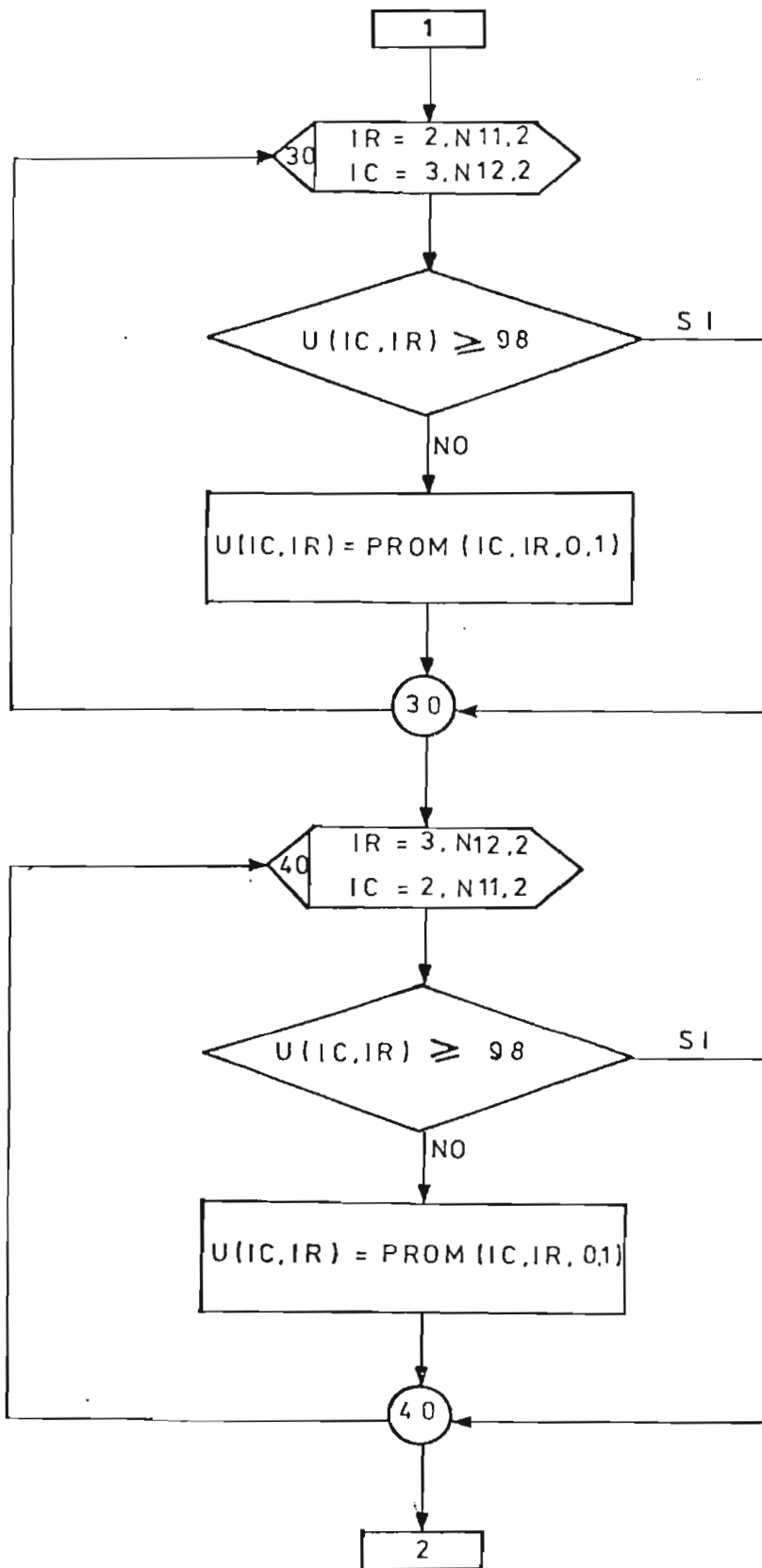


Z(1) = DA Z(5) = D E
Z(2) = DB Z(6) = D F
Z(3) = DC Z(7) = D G
Z(4) = DD Z(8) = D H
Z(9) = D Q; Z(10) = D S; Z(11) = D R

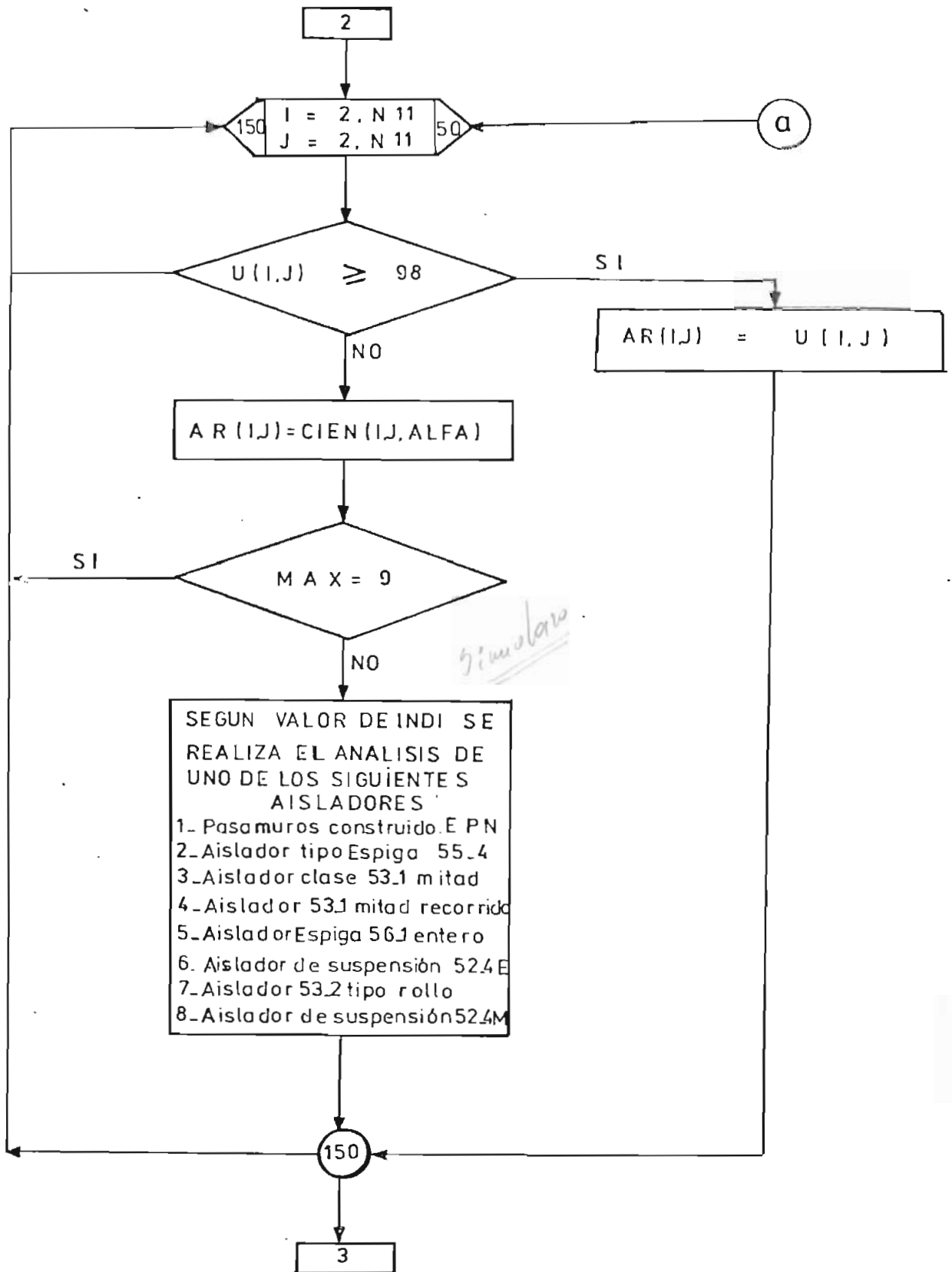
- 181 -
2

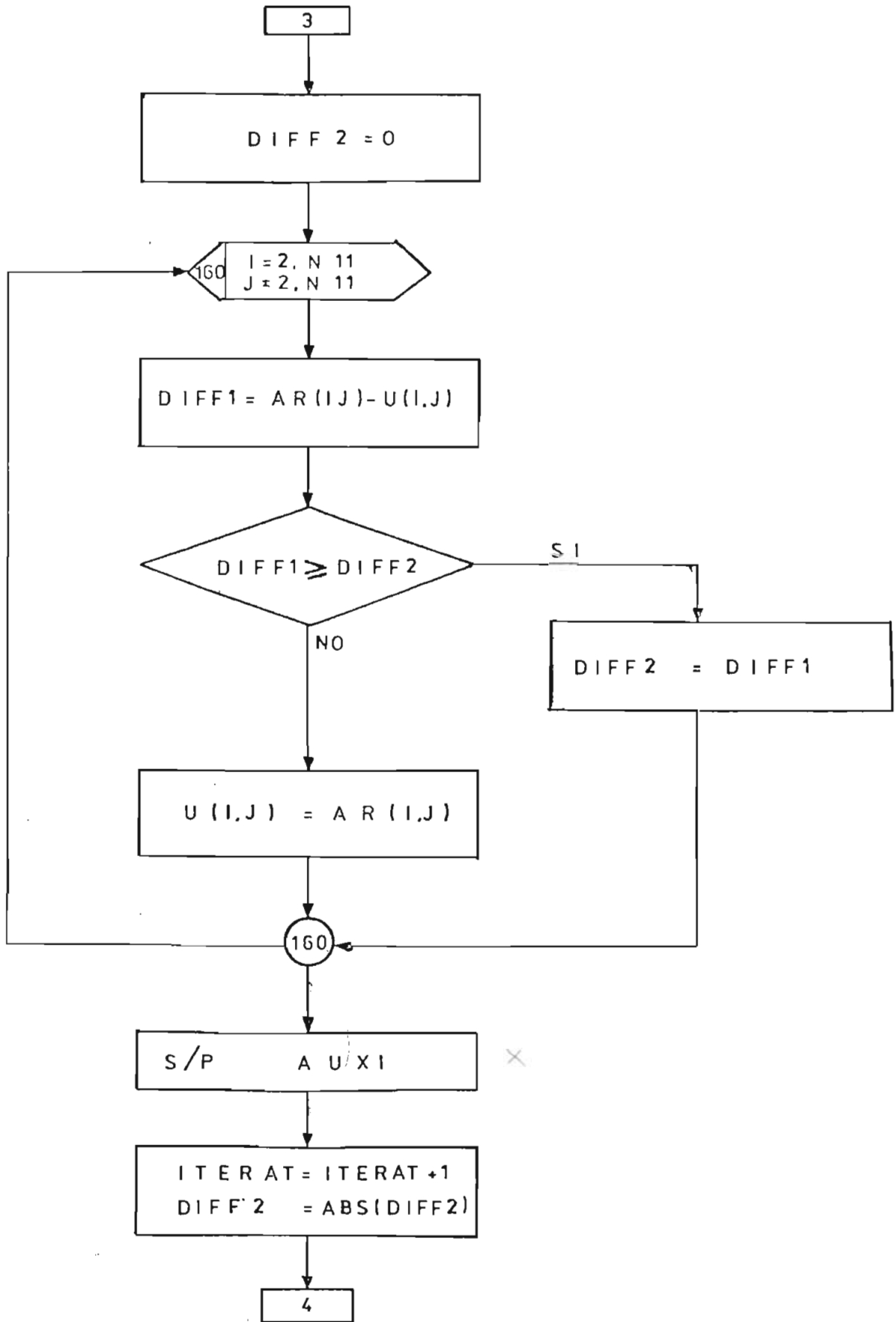


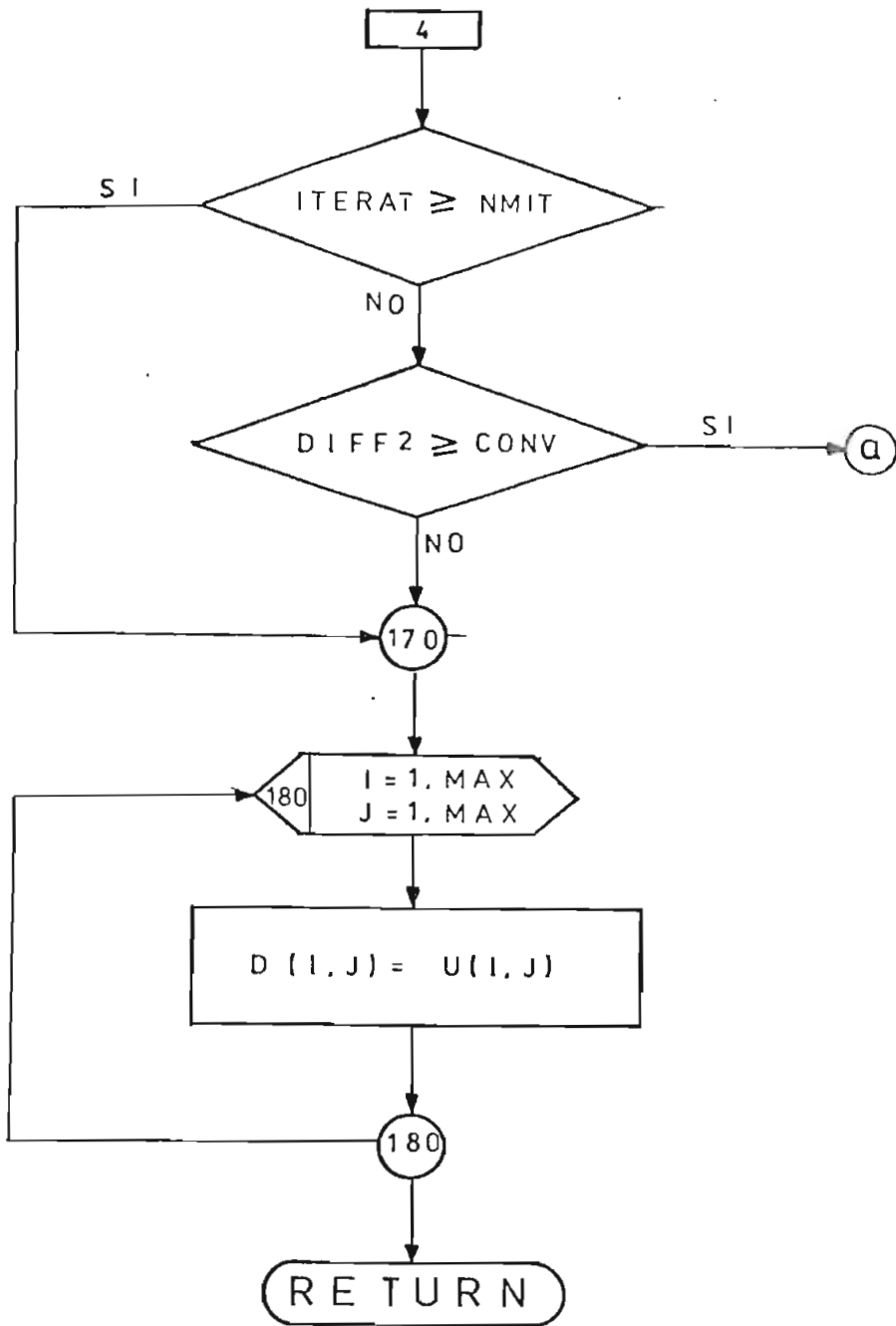


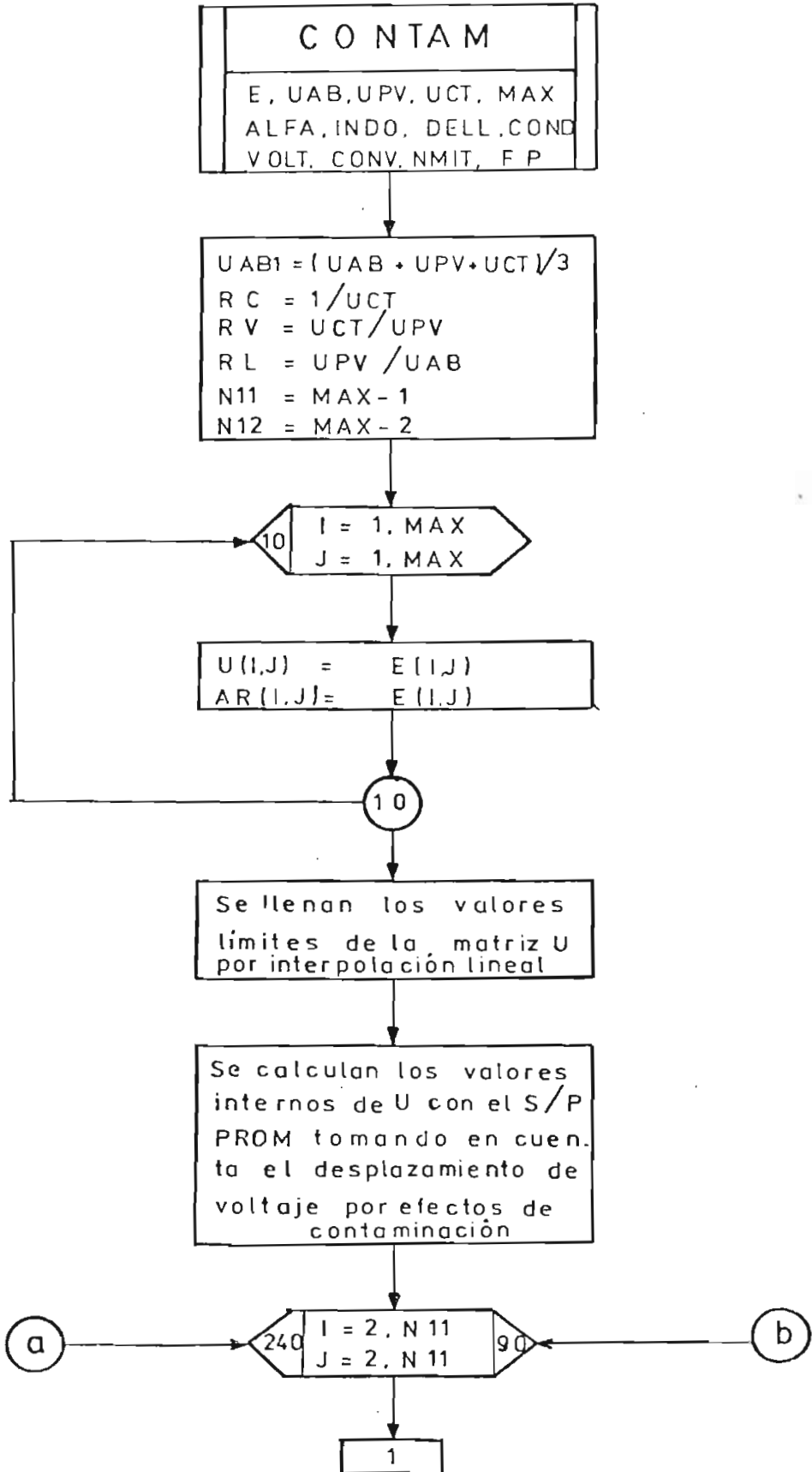


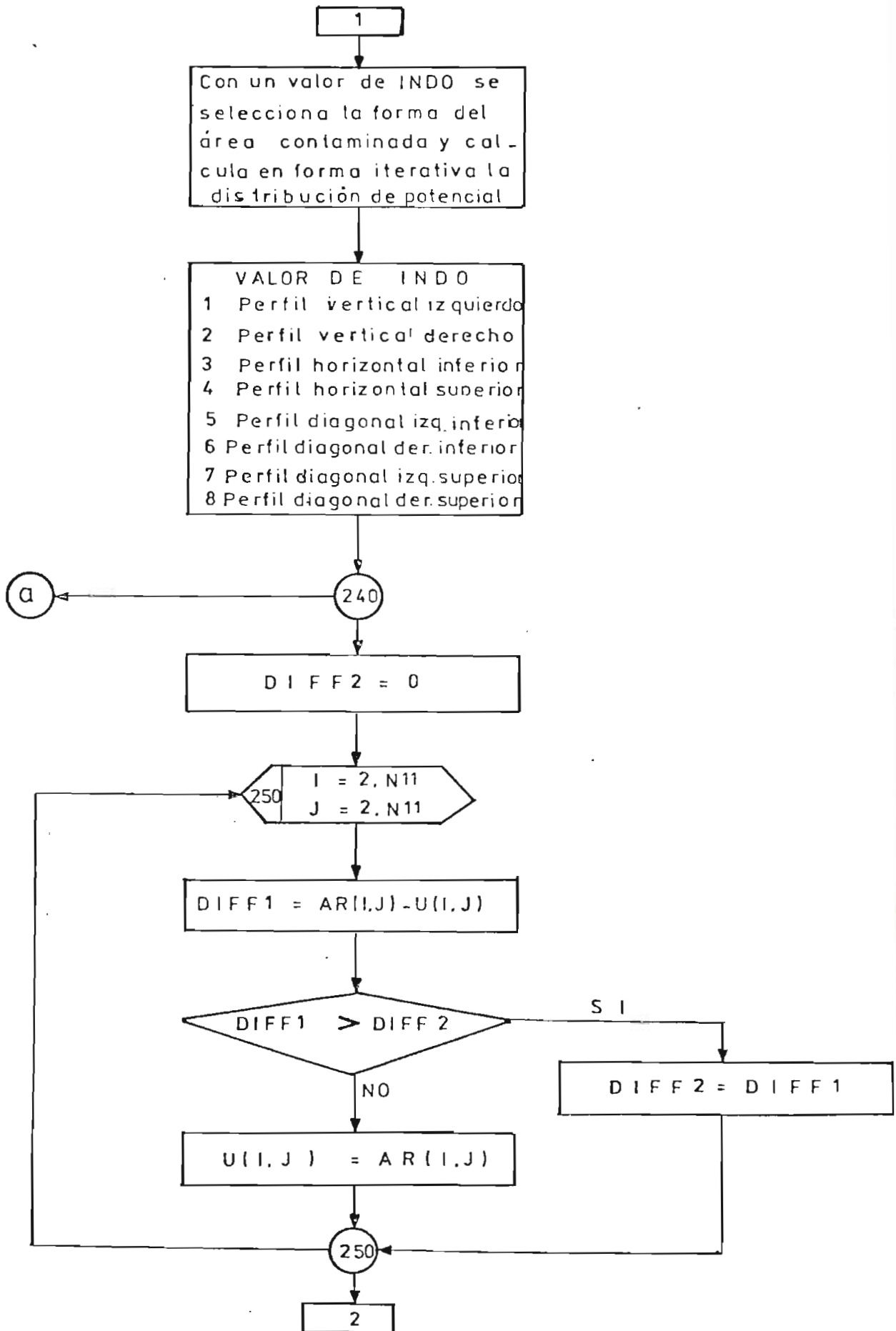
IC=IP
IR=IS

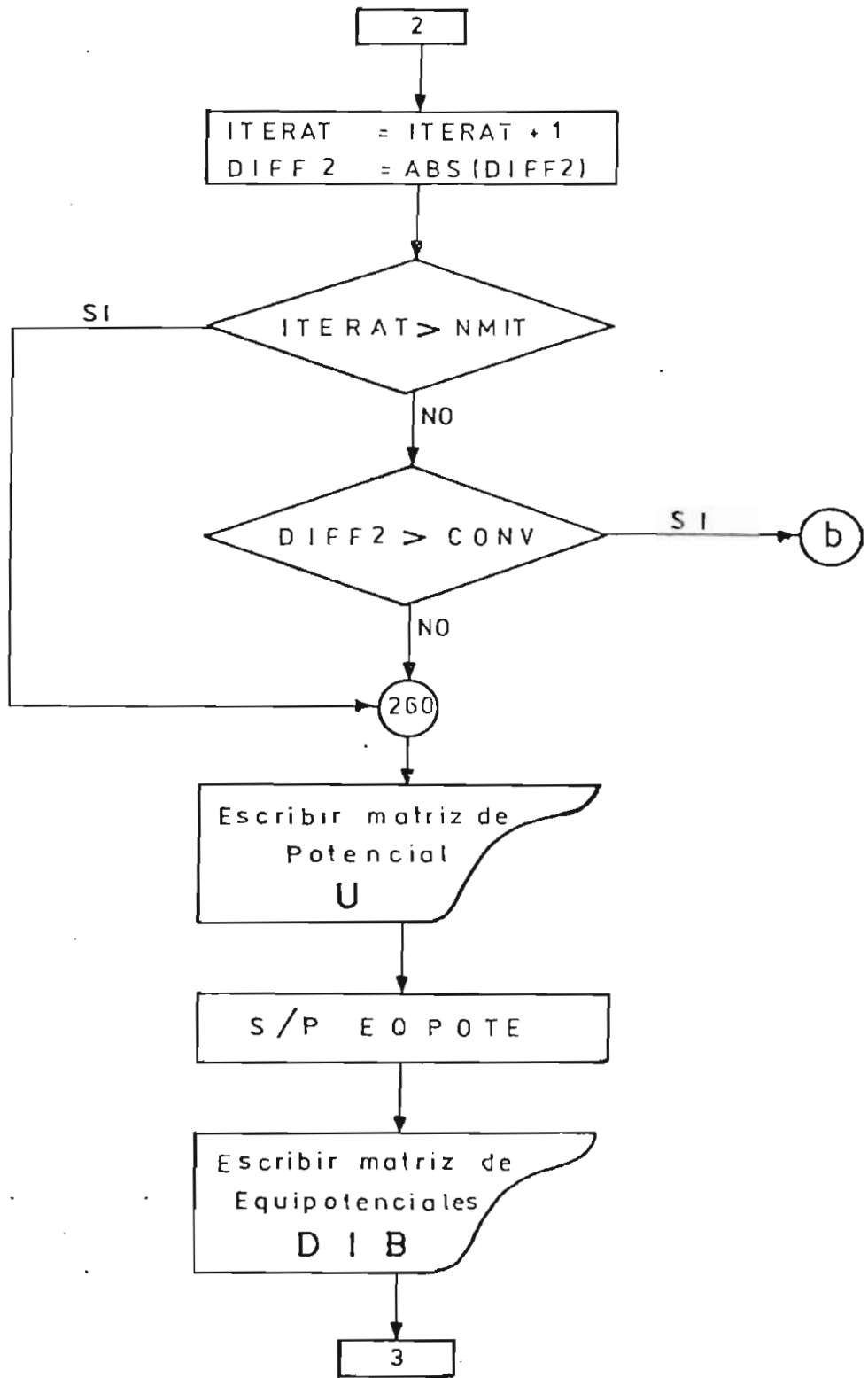


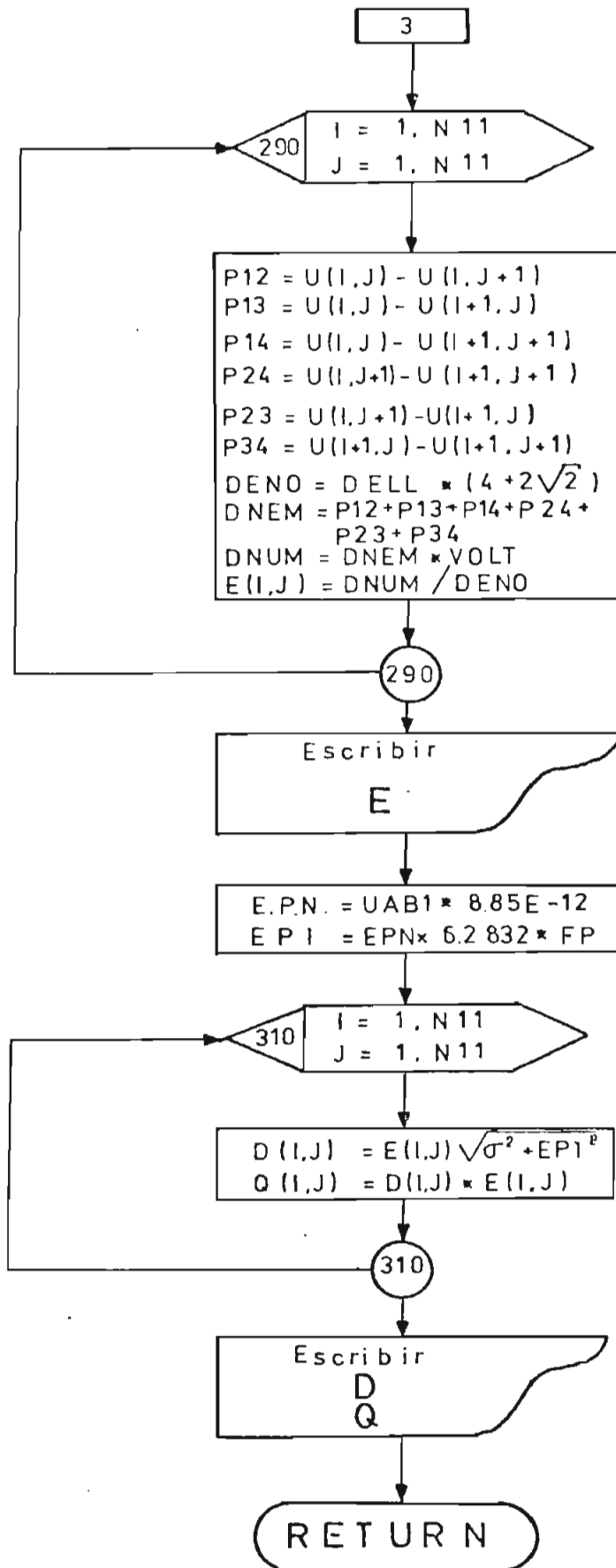












E S C U E L A P O L I T E C N I C A N A C I O N A L

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
 DEPARTAMENTO DE POTENCIA

QUITO - ECUADOR
 TESIS DE GRADO: RENE CORREA AYORA G.
 REALIZADO POR: ING. PAUL AYORA G.
 DIRIGIDO POR: ING. PAUL AYORA G.
 PROGRAMA DIGITAL ECUACION DE LAPLACE
 SE RESUELVE LA ECUACION DE LAPLACE POR EL METODO DE LOS AISLADORES
 Y DIFERENCIAS FINITAS

DESCRIPCION DE VARIABLES

MAX	>	DIMENSIONA LA MATRIZ DONDE SE SIMULA EL AISLADOR A ANALIZARSE
VOLT	>	EL VOLTAJE PARA ANALIZADO
INDO	>	TIPO DE AISLADOR CONTAMINADO ANALIZADO
INDO	>	FORMA DEL AREA CONTAMINADA ANALIZADA
UAB	>	PERMITIVIDAD DEL MATERIAL DEL AISLADOR
UPV	>	PERMITIVIDAD DE LA CAPA DE VIDRIO
UCT	>	PERMITIVIDAD DE LOS MATERIALES CONTAMINANTES
CONDC	>	CONDUCTIVIDAD DEL AISLADOR
DELL	>	CONDUCTIVIDAD DEL CONTAMINANTE
ALFA	>	RELACION DE DIMENSIONES DEL AISLADOR
IX	>	COORDENADA X DE INICIO DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
JY	>	COORDENADA Y DE INICIO DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
I92	>	COORDENADA X DE FIN DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
J92	>	COORDENADA Y DE FIN DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
JZ	>	COORDENADA Z DE FIN DE AREA CONTAMINADA ANALIZADA
NPV	>	BARRERA SI SE ANALIZA UN AREA PELIGROSA (INDICES)
U	>	INDICIA SI SE ANALIZA UN AREA PELIGROSA (INDICES)
V	>	ARRREGLO QUE SE ANALIZA
Z	>	ARRREGLO QUE SE ANALIZA
DIB	>	ARRREGLO QUE SE ANALIZA
E	>	ARRREGLO QUE SE ANALIZA
P	>	ARRREGLO QUE SE ANALIZA
ITERAT	>	INDICA EL NUMERO DE ITERACIONES QUE SE EMPLEARON HASTA LLEGAR A LA SOLUCION
CONV	>	INDICA EL NUMERO DE ITERACIONES
NMIT	>	FACTORES DE CONVERGENCIA
FW	>	NUMERO DE ITERACIONES
FP	>	FRECUENCIA PARA EL ANALISIS DEL AREA CONTAMINADA

C
C
C
DIMENSION IU (033,033)
DIMENSION P(033,033),E(033,033),D(033,033),V(033,033),DIB(033,033)

COMMON /T2/ U(033,033) ←

COMMON/T3/ AR(033,033)

COMMON /T1/ A(033,033)

C LECTURA DE DATOS GENERALES

C READ(1,180) MAX,ALFA,CONV,NMIT,FN

C DATO QUE SELECCIONA EL TIPO DE AISLADOR

C READ(1,190) INDI

C READ(1,200) VOLT,COND,DELL,UAB

C VOLTAJE CONSIDERADO PELIGROSO

C READ(1,210) Z

C DATOS DEL AREA CONTAMINADA

C READ(1,220) UCT,UPV,FP,IX,JY,CONDC,INDO

C MNM = MAX

C I92=IX +2

C J92=JY +2

C IZ = 1

C JZ = 1

C NVP = 1

C SE ENCERAN LOS ARREGLOS A UTILIZARSE

C DO 10 I=1,MAX

C DO 10 J=1,MAX

C DIB(I,J) = 0

C A(I,J) = 0

C D(I,J) = 0

C E(I,J) = 0

C P(I,J) = 0

C AR(I,J) = 0

C V(I,J) = 0

10 C U(I,J) = 0. ←

C CALL INICIO

C SE IMPRIMEN LAS VARIABLES LEIDAS DEL PROGRAMA

C CALL TITULO (INDI)

C COLT = VOLT * 100.

C WRITE(3,260)MAX,COLT,ALFA,DELL,INDI,Z,UAB,COND,INDO,CONDC,UPV,UCT,
10 C IX ,JY ,CONV,NMIT,FP,FP

C WRITE(3,270)

C SE LEEN LOS VALORES DE LA MATRIZ DE POTENCIAL

C READ(1,230) (U(1,J),J=1,33)

C READ(1,230) (U(33,J),J=1,33)

C READ(1,230) (U(I,1),I=1,31)

C READ(1,230) (U(I,33),I=1,31)

C DO 20 I = 5,29,4

20 C READ(1,230) (U(I,I),J=5,29,4)

C SE SIMULA EL CONDUCTOR JUNTO AL AISLADOR

C READ(1,240,END=30)((I,J,U(I,J),K=1,MAX),L=1,MAX) ←

C SE ESCRIBE LOS VALORES INICIALES DE LA MATRIZ DE POTENCIAL

30 C DO 31 K = 1,MAX

C DO 31 L = 1,MAX

31 C IU(K,L) = U(K,L)

C WRITE(3,280) ((IU(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)

C CALL VALCON(MAX,IX ,JY ,CONV,ALFA,INDI,INDO,Z)

```
C
MIN2 = MAX - 2
MIN4 = MAX - 4
C EN LOS LAZOS 3,4,5 SE CAMBIAN LOS CEROS DE LA MATRIZ DE POTENCIAL
C INICIAL POR LOS PRIMEROS VALORES CALCULADOS
DO 40 I=3,MIN2,4
DO 40 J=3,MIN2,4
C SI EL PUNTO DE LA MATRIZ ES AISLADOR O CONDUCTOR
IF(U(I,J).GE.98.) GO TO 40
U(I,J)=PROM(I,J,1,2)
40 CONTINUE
DO 50 I=3,MIN2,4
DO 50 J=5,MIN4,4
IF(U(I,J).GE.98.) GO TO 50
U(I,J)=PROM(I,J,0,2)
50 CONTINUE
DO 60 I=5,MIN4,4
DO 60 J=3,MIN2,4
IF(U(I,J).GE.98.) GO TO 60
U(I,J)=PROM(I,J,0,2)
60 CONTINUE
DO 70 I=1,MAX
DO 70 J=1,MAX
70 E(I,J)=U(I,J)
C SE CALCULA LA MATRIZ FINAL DE POTENCIAL
80 CALL CALC(UAB,E,MAX,D,ITERAT,ALFA,INDI,CONV,NMIT)
IF(NVP.EQ.1) GO TO 100
DO 90 J=1,MAX
DO 90 I=1,MAX
90 P(I,J)=D(I,J)
WRITE(3,290)
WRITE(3,300)ITERAT
C SE IMPRIME LA MATRIZ DE POTENCIAL DEL AREA PELIGROSA
DO 91 K = 1,MAX
DO 91 L = 1,MAX
91 IU(K,L) = P(K,L)
WRITE(3,310) ((IU(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
CALL EQPOTE(MAX,P,DIB)
C SE IMPRIME LA MATRIZ DE LINEAS EQUIPOTENCIALES DEL AREA PELIGROSA
WRITE(3,320) ((DIB(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
GO TO 120
100 DO 110 I = 1,MAX
DO 110 J = 1,MAX
110 V(I,J) = D(I,J)
WRITE(3,330)
WRITE(3,340)ITERAT
C SE IMPRIME LA MATRIZ DE POTENCIAL DEL AISLADOR
CALL ESC(MAX,D)
C SE DETERMINAN LAS LINEAS EQUIPOTENCIALES DEL AISLADOR
CALL EQPOTE(MAX,D,DIB)
WRITE(3,350) ((DIB(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
M1=MAX-2
N1 = MAX -2
C SE ANALIZA LA EXISTENCIA DE AREAS PELIGROSAS
120 DO 140 I9=I2,M1
DO 130 J9=J2,N1
I1=I9+2
```

```

J1 = J9 + 2
D1=ABS(V(I9,J9)-V(I9,J1))
D2=ABS(V(I9,J9)-V(I1,J9))
D3=ABS(V(I9,J1)-V(I1,J1))
D4=ABS(V(I1,J9)-V(I1,J1))
MAX = 9
IF(D1.GT.Z.OR.D2.GT.Z.OR.D3.GT.Z.OR.D4.GT.Z) GO TO 150
130 CONTINUE
JZ = 1
140 CONTINUE
GO TO 170
C PARA UN MEJOR ANALISIS DEL AREA PELIGROSA SE AMPLIFICA POR 3
150 CALL AMPLY(V,I9,J9,I1,J1,9,E,9)
WRITE(3,360) I9,J9
IF(J9.EQ.N1) GO TO 160
JZ=J9+1
IZ = I9
NVP=NVP+ 1
GO TO 80
160 JZ=1
IZ = I9 + 1
NVP = NVP + 1
GO TO 80
C SE CALCULA EL CAMPO ELECTRICO, DENSIDAD DE CORRIENTE Y PERDIDAS EN
C EL AISLADOR.
170 CALL CAEL (V,MNM,DELL,COND,VOLT,INDI,UAB,FN)
C EL AREA CONTAMINADA SE AMPLIFICA
CALL AMPLY(V,IX ,JY ,I92,J92,9,E,INDO)
WRITE(3,370) IX ,JY
C SE CALCULA EL CAMPO ELECTRICO, DENSIDAD DE CORRIENTE Y PERDIDAS EN
C EL AREA CONTAMINADA
CALL CONTAM(E,UAB,UPV,UCT,9,ALFA,INDO,DELL,CONDC,VOLT,CONV,NMIT,FP
1)
CALL AMPLY(U,4,4,6,6,9,D,INDO)
WRITE(3,380)
DELO =DELL / 3
CALL CONTAM(D,UAB,UPV,UCT,9,ALFA,INDO,DELO,CONDC,VOLT,CONV,NMIT,FP
1)
CALL EXIT
180 FORMAT(I10,F10.4,F10.6,I10,F10.0)
190 FORMAT(I3)
200 FORMAT(F10.3,2F12.8,F10.4)
210 FORMAT(F10.4)
220 FORMAT(3F10.4,2I10,F12.8,I3)
230 FORMAT(17F4.1)
240 FORMAT(8(2I3,F4.1))
250 FORMAT(8A2)
260 FORMAT(/,T23,76(1H*),/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,
11H*,T47,*D A T O S D E E N T R A D A*,T98,1H*,/,T23,1H*,T98
2,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T26,*MAX =*,I3,T40,*VOLT =*,
3F8.2,T59,*ALFA =*,F8.3,T78,*DELL =*,F12.8,T98,1H*,/,T23,1H*,
4T98,1H*,/,T23,1H*,T26,*INDI =*,I3,T40,*Z =*,F8.2,T59,*UAB =*
5,F8.3,T78,*COND =*,F12.8,T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T26
6,*INDO =*,I3,T40,*CONDC =*,F8.5,T59,*UPV =*,F8.4,T78,*UCT =*,
7F12.4,T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T26,*IX =*,I3,T40,
8*JY =*,I3,T59,*CONV =*,F8.4,T78,*NMIT =*,I4,

```



```

9T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T26,*FN =*,I3,T40,*FP =*,I7,
1T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,1H*,T98,1H*,/,T23,76(1H*),//)
270  FORMAT(///,28X,*DATOS INICIALES DE LA MATRIZ DE POTENCIAL*,/,
128X,41(1H=),///)
280  FORMAT(/T10,103(1H*),/,33(9X,2H* ,33I3,2H *,/,T10,1H*,101X,1H*,/),
1T10,103(1H*))
290  FORMAT( /,28X,*CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA PELIGROSA*,/,28X
1,42(*+*),/)
300  FORMAT(/,28X,*NUMERO DE ITERACIONES=*,I3,/,28X,25(*=*),/)
310  FORMAT(/T25,31(1H*),/,9(24X,2H* ,9I3,2H *,/),T25,31(1H*))
320  FORMAT(/T25,31(1H*),/,9(24X,2H* ,9A3,2H *,/),T25,31(1H*))
330  FORMAT(1H1,28X, *CAMPO DE DISTRIBUCION DEL POTENCIAL EN PORCENTAJE
1*,/,29X,49(*+*),/)
340  FORMAT(/,28X,*NUMERO DE ITERACIONES=*,I3,/,28X,25(*=*),/)
350  FORMAJ(/T10,103(1H*),/,33(9X,2H* ,33A3,2H *,/,T10,1H*,101X,1H*,/),
1T10,103(1H*))
360  FORMAT(1H1,28X, *EXISTE UNA AREA PELIGROSA EN I= *,I3,* Y EN J = *
1 ,I3,/)
370  FORMAT(1H1,28X,*SE ANALIZA CONTAMINACION DEL AISLADOR*,/,
1 29X,*COORDENADAS (X,Y) = (*,I3,1H,I3,*)*,/)
380  FORMAT(1H1,28X, *SE ANALIZA LA CONTAMINACION DEL AISLADOR AMPLIADA
1 9 VECES*,//)
END

```

C -----
FUNCTION PRO (I,J,ICA,IPA)

```

C -----
C ESTE SUBPROGRAMA CALCULA EL POTENCIAL EN UN PUNTO DE LA MATRIZ A
COMMON /T1/ A(9,9)
PRO =0.25*(A(I-IPA,J-ICA*IPA)+A(I-IPA*ICA,J+IPA)+
1A(I+IPA,J+IPA*ICA)+A(I+IPA*ICA,J-IPA))
RETURN
END

```

C -----
FUNCTION PROM(I,J,ICA,IPA)

```

C -----
C ESTE SUBPROGRAMA CALCULA EL POTENCIAL EN UN PUNTO DE LA MATRIZ U
COMMON /T2/ U(033,033)
PROM=0.25*(U(I-IPA,J-ICA*IPA)+U(I-IPA*ICA,J+IPA)+
1U(I+IPA,J+IPA*ICA)+U(I+IPA*ICA,J-IPA))
RETURN
END

```

C -----
SUBROUTINE AMPLY(V,I,J,I1,J1,N9,R,MSO)

C -----
DESCRIPCION DE VARIABLES
=====

C	V	---->	ARREGLO QUE CONTINE EL AREA A AMPLIFICARSE
C	I	---->	COORDENADA X DE INICIO DEL AREA A AMPLIFICARSE
C	J	---->	COORDENADA Y DE INICIO DEL AREA A AMPLIFICARSE
C	I1	---->	COORDENADA X DE FIN DEL AREA A AMPLIFICARSE
C	J1	---->	COORDENADA Y DE FIN DEL AREA A AMPLIFICARSE
C	N9	---->	DIMENSION DEL ARREGLO AMPLIFICADO
C	R	---->	ARREGLO QUE CONTIENE EL AREA AMPLIFICADA
C	MSO	---->	INDICE QUE DETERMINA LA FORMA DEL AREA CONTAMINADA
C		---->	ESTA SUBROUTINA QUE DETERMINA LA FORMA DEL AREA

C
C
C
C
C
CONTAMINADA.
----> EN UNA MATRIZ DE 9 X 9 FIJANDO LOS VALORES EN EL
LIMITE.
----> POR INTERPOLACION LINEAL

DIMENSION V(033,033), R(033,033)

DIMENSION IU (033,033)

COMMON /T1/ A(033,033)

SE LLENA DE CEROS LA MATRIZ A

DO 10 K=1, N9

DO 10 L=1, N9

A(K,L)= 0.

CONTINUE

SE DAN LOS VALORES A LA MATRIZ A EN BASE DE LA MATRIZ V

A(1,1)=V(I,J)

A(1,5)=V(I,J+1)

A(1,9)= V(I,J1)

A(5,1)=V(I+1,J)

A(5,5)=V(I+1,J+1)

A(5,9)=V(I+1,J1)

A(9,1)=V(I1,J)

A(9,5)=V(I1,J+1)

A(9,9)=V(I1,J1)

GO TO (30,30,40,40,50,60,50,60,70),MSO

WRITE(3,20) MSO

FORMAT(/T20,'ERROR EN INDICE MSO(REVISE SUS DATOS)')

CONTINUE

A(4,5) = V(I,J+1)

A(6,5) = V(I1,J+1)

A(1,5) = (V(I,J) + V(I,J1)) / 2

A(9,5) = (V(I1,J) + V(I1,J1)) / 2

GO TO 70

CONTINUE

A(5,4) = V(I+1,J)

A(5,6) = V(I+1,J)

A(5,1) = (V(I,J) + V(I1,J)) / 2

A(5,9) = (V(I,J1) + V(I1,J1)) / 2

GO TO 70

CONTINUE

A(4,4) = V(I,J)

A(6,6) = V(I1,J1)

A(1,1) = (V(I+1,J) + V(I,J+1)) / 2

A(9,9) = (V(I1,J1) + V(I1,J+1)) / 2

CONTINUE

A(4,6) = V(I,J1)

A(6,4) = V(I1,J)

A(9,1) = (V(I+1,J) + V(I1,J+1)) / 2

A(1,9) = (V(I,J+1) + V(I+1,J1)) / 2

CONTINUE

SE LLENA LOS VALORES LIMITES DE LA MATRIZ A POR INTERPOLACION
LINEAL.

A(1,3)=(A(1,1)+A(1,5))/2.

A(1,7)=(A(1,5)+A(1,9))/2.

A(1,2)=(A(1,1)+A(1,3))/2.

A(1,4)=(A(1,3)+A(1,5))/2.

A(1,6)=(A(1,5)+A(1,7))/2.

```

A(1,8)=(A(1,7)+A(1,9))/2.
A(9,3)=(A(9,1)+A(9,5))/2.
A(9,7)=(A(9,5)+A(9,9))/2.
A(9,2)=(A(9,1)+A(9,3))/2.
A(9,4)=(A(9,3)+A(9,5))/2.
A(9,6)=(A(9,5)+A(9,7))/2.
A(9,8)=(A(9,7)+A(9,9))/2.
A(3,1)=(A(1,1)+A(5,1))/2.
A(7,1)=(A(5,1)+A(9,1))/2.
A(2,1)=(A(1,1)+A(3,1))/2.
A(4,1)=(A(3,1)+A(5,1))/2.
A(6,1)=(A(5,1)+A(7,1))/2.
A(8,1)=(A(7,1)+A(9,1))/2.
A(3,9)=(A(1,9)+A(5,9))/2.
A(7,9)=(A(5,9)+A(9,9))/2.
A(2,9)=(A(1,9)+A(3,9))/2.
A(4,9)=(A(3,9)+A(5,9))/2.
A(6,9)=(A(5,9)+A(7,9))/2.
A(8,9)=(A(7,9)+A(9,9))/2.

```

SE CALCULA CON EL S/P PRO LOS VALORES INTERMEDIOS DE LA MATRIZ A

```

A(3,3)=PRO (3,3,1,2)
A(3,7)=PRO (3,7,1,2)
A(7,3)=PRO (7,3,1,2)
A(7,7)=PRO (7,7,1,2)
A(3,5)=PRO (3,5,0,2)
A(5,3)=PRO (5,3,0,2)
A(5,7)=PRO (5,7,0,2)
A(7,5) = PRO (7,5,0,2)

```

```

DO 80 IP=1, N9
DO 80 JP=1, N9
80 R(IP,JP)=A(IP,JP)
RETURN
END

```

SUBROUTINE EQPOTE(MAX,P,DIB)

DESCRIPCION DE VARIABLES
=====

MAX	---->	DIMENSION DEL ARREGLO PARA DIBUJAR LAS LINEAS EQUIPOTENCIALES
P	---->	ESTE ARREGLO CONTIENE LOS VALORES A DIBUJARSE CON CARACTER REPRESENTATIVOS.
DIB	---->	ARREGLO QUE CONTIENE EL DIBUJO DE LAS LINEAS EQUIPOTENCIALES.
VOX	---->	VECTOR QUE PASA A CONTENER LOS VALORES NUMERICOS A DIBUJAR
XXX	---->	VALOR QUE CONTIENE LOS SEGMENTOS REPRESENTATIVOS EN DESORDEN.
FOX	---->	VECTOR QUE CONTIENE LOS SEGMENTOS REPRESENTATIVOS ORDENADO.
A	---->	CARACTERES PARA EL DIBUJO QUE REPRESENTAN UN PROMEDIO VALORES REPRESENTADOS.

ESTA SUBROUTINA ANALIZA LOS VALORES DE POTENCIAL QUE EXISTEN EN EL AISLADOR, LOS ORDENA Y LOS DIVIDE EN SEGMENTOS REPRESENTATIVOS PARA

```
C
C LUEGO UNA PARTE DE ELLOS DIBUJARLOS ASIGNANADO A LETRAS PARA EL
C DIBUJO.
  DIMENSION P(033,033),DIB(033,033),VOX(1200),XXX(11),FOX(11)
  DIMENSION IU (033,033)
C SE REASIGNAN LOS CARACTERES A GRAFICARSE
  DATA DA,DB,DC,DD,DE,DF,DG,DH,DQ,DS,DR,BLANCO /'A','B',
1 'C','D','E','F','G','H','Q','S','R',' '/
  K=0
  L = MAX * MAX
C SE BLANQUEA LA MATRIZ DIB
  DO 10 I=1,MAX
  DO10 J=1,MAX
  DIB(I,J)=BLANCO
  K=K+1
C LOS VALORES DE LA MATRIZ P SE CAMBIAN AL VECTOR VOX
10 VOX(K)=P(I,J)
  PEQ=VOX(1)
  GRAN = VOX(1)
C SE BUSCA EL MAYOR Y EL MENOR VALOR DENTRO DEL VECTOR VOX
  DO 30 K=2,L
  X1=VOX(K)
  IF(X1.LT.GRAN) GO TO 20
  GRAN=X1
20 IF(X1.GT.PEQ) GO TO 30
  PEQ=X1
30 CONTINUE
C SE ENCUENTRA EL DELTA X QUE CLASIFICA LOS VALORES DEL VECTOR EN
C SEGMENTOS
  DX=(GRAN-PEQ)/11.
  XXX(1)=PEQ+DX
  FOX(1) = PEQ+DX
  DO 40 L1=2,11
  L2=L1-1
  FOX(L1) = FOX(L2)+DX
40 XXX(L1)= FOX(L2)+DX
C LOS VALORES DE POTENCIAL DE LA MATRIZ P SE PROMEDIAN DENTRO DE
C CADA SEGMENTO
  DO 150 I=1,MAX
  DO 150 J=1,MAX
  AX=P(I,J)
  IF(AX.LE.FOX(1)) GO TO 50
  IF(AX.LE.FOX(2)) GO TO 60
  IF(AX.LE.FOX(3)) GO TO 70
  IF(AX.LE.FOX(4)) GO TO 80
  IF(AX.LE.FOX(5)) GO TO 90
  IF(AX.LE.FOX(6)) GO TO 100
  IF(AX.LE.FOX(7)) GO TO 110
  IF(AX.LE.FOX(8)) GO TO 120
  IF(AX.LE.FOX(9)) GO TO 130
  IF(AX.LE.FOX(10)) GO TO 140
  XXX(11)=XXX(11)/2.+AX/2.
  GO TO 150
50 XXX(1) =XXX(1)/2. +AX/2.
  GO TO 150
60 XXX(2) =XXX(2)/2. +AX/2.
  GO TO 150
```

```

70   XXX(3) =XXX(3)/2. +AX/2.
    GO TO 150
80   XXX(4) =XXX(4)/2. +AX/2.
    GO TO 150
90   XXX(5) =XXX(5)/2. +AX/2.
    GO TO 150
100  XXX(6) =XXX(6)/2. +AX/2.
    GO TO 150
110  XXX(7) =XXX(7)/2. +AX/2.
    GO TO 150
120  XXX(8) =XXX(8)/2. +AX/2.
    GO TO 150
130  XXX(9) =XXX(9)/2. +AX/2.
    GO TO 150
140  XXX(10)=XXX(10)/2.+AX/2.
150  CONTINUE

```

C SE ASIGNAN CARACTERES REPRESENTATIVOS PARA LA MATRIZ DIB DE LOS
C VALORES DE POTENCIAL DE LA MATRIZ P

```

DO 160 I=1,MAX
DO 160 J=1,MAX
X4=P(I,J)
RANGOS=0.4*DX
IF(X4.GT.(XXX(1)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(1)+RANGOS)) DIB(I,J)=DA
IF(X4.GT.(XXX(2)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(2)+RANGOS)) DIB(I,J)=DB
IF(X4.GT.(XXX(3)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(3)+RANGOS)) DIB(I,J)=DC
IF(X4.GT.(XXX(4)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(4)+RANGOS)) DIB(I,J)=DD
IF(X4.GT.(XXX(5)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(5)+RANGOS)) DIB(I,J)=DE
IF(X4.GT.(XXX(6)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(6)+RANGOS)) DIB(I,J)=DF
IF(X4.GT.(XXX(7)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(7)+RANGOS)) DIB(I,J)=DG
IF(X4.GT.(XXX(8)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(8)+RANGOS)) DIB(I,J)=DH
IF(X4.GT.(XXX(9)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(9)+RANGOS)) DIB(I,J)=DG
IF(X4.GT.(XXX(10)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(10)+RANGOS)) DIB(I,J)=DS
IF(X4.GT.(XXX(11)-RANGOS).AND.X4.LT.(XXX(11)+RANGOS)) DIB(I,J)=DR

```

```

160 CONTINUE
IF(MAX.EQ.33) WRITE(3,170)
IF(MAX.EQ.9) WRITE(3,180)

```

C SE IMPRIMEN LOS VALORES QUE REPRESENTAN CADA CARACTER DE LA MATRIZ
C DIB

```

WRITE(3,190)(XXX(I),I=1,11)
RETURN
170 FORMAT(1H1,28X,'GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION',
1/,29X,37(' '),/)
180 FORMAT(29X,'GRAFICACION DEL CAMPO DE DISTRIBUCION',/29X,37(1H=),/)
190 FORMAT(/,25X,'A = ',F6.2,5X,'B = ',F6.2,5X,'C = ',F6.2,5X,'D = ',
1,F6.2,/,25X,'E = ',F6.2,5X,'F = ',F6.2,5X,'G = ',F6.2,5X,'H = ',
2F6.2,/,25X,'Q = ',F6.2,5X,'S = ',F6.2,5X,'R = ',F6.2,/)
END

```

C -----
C SUBROUTINE CALC(UAB,T,MAX,D,ITERAT,ALFA,INDI,CONV,VMIT)
C -----

C DESCRIPCION DE VARIABLES
C =====

C	UAB	---->	PERMITIVIDAD DEL MATERIAL AISLANTE
C	T	---->	ARREGLO EN EL QUE SE RECIBE LOS VALORES ESTIMADOS DE C POTENCIAL.

C MAX -----> ES LA DIMENSION DE LA MATRIZ DONDE SE SIMULA EL
C AISLADOR.
C D -----> ARREGLO EN EL QUE SALEN LOS VALORES DEFINITIVOS DE
C POTENCIAL CALCULADO.
C ITERAT -----> NUMERO DE ITERACIONES HASTA LLEGAR A LA SOLUCION
C ALFA -----> FACTOR DE ACELERACION
C INDI -----> INDICE QUE DETERMINA EL TIPO DE AISLADOR
C CONV -----> FACTOR DE CONVERGENCIA
C NMIT -----> NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES
C

DIMENSION T(033,033),D(033,033)
DIMENSION IU (033,033)
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON/T3/ AR(033,033)

RA = 0.001
RE= 1./UAB
N11 = MAX - 1
N12 = MAX - 2
ITERAT=0

C LOS VALORES DEL ARREGLO T SE PASAN A LOS ARRGLOS AR Y U

DO 10 I=1,MAX
DO 10 J=1,MAX
AR(I,J)=T(I,J)

10 U(I,J)=T(I,J)

C EN LOS LAZOS 20,30 Y 40 SE LLENAN TODOS LOS VALORES DE LA MATRIZ J

DO 20 IR=2,N11,2
DO 20 IC=2,N11,2
IF(U(IC,IR).GE. 98.) GO TO 20
U(IC,IR)=PROM(IC,IR,1,1)

20 CONTINUE

DO 30 IR=2,N11,2
DO 30 IC=3,N12,2
IF(U(IC,IR).GE. 98.) GO TO 30
U(IC,IR)=PROM(IC,IR,0,1)

30 CONTINUE

DO 40 IR=3,N12,2
DO 40 IC=2,N11,2
IF(U(IC,IR).GE. 98.) GO TO 40
U(IC,IR)=PROM(IC,IR,0,1)

40 CONTINUE

C ES UN LAZO ITERATIVO DONDE SEGUN EL MODELO DE AISLADOR SE
C ALCANSA LA SOLUCION DE LA DISTRIBUCION DE POTENCIAL.

50 DO 160 I=2,N11
DO 160 J=2,N11

C SI EL POTENCIAL INICIAL ES MAYOR QUE EL 98% SE TRATA DEL CONDUCTOR
C IF(U(I,J).GE. 98.) GO TO 150

C CUANDO SE ESTA AMPLIANDO UNA MATRIZ INTERESA CONSERVAR EL VALOR
C DEL CENTRO

IF(MAX.EQ.9.AND.I.EQ.5.AND.J.EQ.5) GO TO 150
AR(I,J) = CIEN(I,J,ALFA)
IF(MAX.EQ.9) GO TO 160

C CON ESTE GO TO CALCULADO SE SELECCIONA EL TIPO DE AISLADOR
GO TO (70,80,90,100,110,120,130,140),INDI

WRITE(3,60)

60 FORMAT(T20,'ERROR EN INDICE INDI (REVISE SUS DATOS)')
CALL EXIT

70 CONTINUE

C =====

C PASAMUROS CONSTRUIDO EN LA E. P. N.

C =====

```

IF(I.EQ.2.AND.J.GT.22) AR(I,J)= PTRON(I,J,RA)
IF(I.EQ.3.AND.(J.LT.21.AND.J.GT.9))AR(I,J)=PTRON(I,J,RA)
IF(I.EQ.4.AND.(J.LT.7))AR(I,J)=PTRON(I,J,RA)
IF(I.EQ.13.AND.J.LT.5)AR(I,J)=DDOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.14.AND.(J.LT.12.AND.J.GT.9))AR(I,J)=DDOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.19.AND.J.GT.27)AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.22.AND.J.GT.27)AR(I,J)=DDOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.22)AR(I,J)=SIETE(I,J,RE)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.8)AR(I,J)=PUEVE(I,J,RE)
IF(I.EQ.3.AND.J.EQ.9)AR(I,J)=DSIETE(I,J,RE)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.7)AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.17)AR(I,J)=QUINCE(I,J,RE)
IF((I.EQ.5.AND.J.EQ.16).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.15).OR.(I.EQ.7.AND.
1J.EQ.14))AR(I,J) = ONCE(I,J,RE)
IF((I.EQ.8.AND.J.EQ.13).OR.(I.EQ.9.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ.10.AND.
1J.EQ.11))AR(I,J)=ONCE(I,J,RE)
IF(I.EQ.11.AND.J.EQ.10)AR(I,J)=DOCE(I,J,RE)
IF(I.EQ.14.AND.J.EQ.5)AR(I,J)=QUINCE(I,J,RE)
IF(I.EQ.15.AND.J.EQ.6)AR(I,J)=DDOS(I,J,RE)
IF((I.EQ.14.AND.J.EQ.9).OR.(I.EQ.14.AND.J.EQ.12))AR(I,J)=QUINCE(I,
1J,RE)
IF((I.EQ.15.AND.J.EQ.14).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.16))AR(I,J)=DIEZ(I,J
1,RE)
IF((I.EQ.17.AND.J.EQ.18).OR.(I.EQ.18.AND.J.EQ.20))AR(I,J)=DIEZ(I,J
1,RE)
IF((I.EQ.19.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.20.AND.J.EQ.23))AR(I,J)=DIEZ(I,J
1,RE)
IF(I.EQ.21.AND.J.EQ.25)AR(I,J)=DIEZ(I,J,RE)
IF(I.EQ.22.AND.J.EQ.32)AR(I,J)=SIETE(I,J,RE)
IF(I.EQ.19.AND.J.EQ.32)AR(I,J)=CUATRO(I,J,RE)
IF(I.EQ.19.AND.J.EQ.27)AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF(I.EQ.22.AND.J.EQ.27)AR(I,J)=DDOS(I,J,RE)
IF((I.EQ.19.AND.J.EQ.26).OR.(I.EQ.18.AND.J.EQ.24))AR(I,J)=OCHO(I,J
1,RE)
IF((I.EQ.16.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.14.AND.J.EQ.18))AR(I,J)=OCHO(I,J
1,RE)
IF((I.EQ.13.AND.J.EQ.15).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.12))AR(I,J)=OCHO(I,J
1,RE)
GO TO 160

```

80 CONTINUE

C =====

C AISLADOR TIPO ESPIGA CLASE 55-4

C =====

```

IF((I.EQ.5.AND.((J.LT.15.AND.J.GT.9).OR.(J.LT.25.AND.J.GT.19))).
1OR.(I.EQ.6.AND.(J.EQ.8.OR.J.EQ.26)).OR.(I.EQ.13.AND.(J.EQ.7.OR.J
2.EQ.8.OR.J.EQ.26.OR.J.EQ.27)).OR.(I.EQ.8.AND.J.EQ.17))
3AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF((J.EQ.7.AND.(I.EQ.6.OR.I.EQ.7)).OR.(I.EQ.10.AND.J.EQ.10).OR.(
1J.EQ.2.AND.(I.LT.23.AND.I.GT.19)).OR.(J.EQ.10.AND.(I.LT.22.AND.I
2.GT.18)).OR.(J.EQ.26.AND.(I.LT.22.AND.I.GT.18)))
3AR(I,J)=TRES(I,J,RE)
IF((J.EQ.27.AND.(I.EQ.6.OR.I.EQ.7)).OR.(I.EQ.10.AND.J.EQ.24).OR.

```

```
1(J.EQ.32.AND.(I.LT.23.AND.I.GT.19)).OR.(J.EQ.24.AND.(I.LT.22.AND
2.I.GT.18.)).OR.(J.EQ.8.AND.(I.LT.22.AND.I.GT.18)))
3AR(I,J)=UNO(I,J,RE)
  IF((I.EQ.5.AND.(J.EQ.15.OR.J.EQ.25)))AR(I,J)=CUATRO(I,J,RE)
  IF(I.EQ.5.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.19)) AR(I,J)=CINCO (I,J,RE)
  IF((I.EQ.23.AND.(J.EQ.2.OR.J.EQ.30)).OR.(I.EQ.27.AND.(J.EQ.11.OR
1.J.EQ.22))) AR(I,J) = SEIS(I,J,RE)
  IF((I.EQ.23.AND.(J.EQ.4.OR.J.EQ.32)).OR.(I.EQ.27.AND.(J.EQ.12.OR
1.J.EQ.23))) AR(I,J) = SIETE(I,J,RE)
  IF((J.EQ.15.AND.(I.EQ.5.OR.I.EQ.7)).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.25).OR.
1(I.EQ.14.AND.J.EQ.29).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.30).OR.(J.EQ.31.AND.(I
2.EQ.16.OR.I.EQ.17)).OR.(J.EQ.32.AND.(I.EQ.18.OR.I.EQ.19)))
3AR(I,J)=OCHO(I,J,RE)
  IF((J.EQ.19.AND.(I.EQ.6.OR.I.EQ.7)).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.9).OR.
1(I.EQ.14.AND.J.EQ.5).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.4).OR.(J.EQ.3.AND.(I
2EQ.16.OR.I.EQ.17)).OR.(J.EQ.2.AND.(I.EQ.18.OR.I.EQ.19)))
3AR(I,J) = PUEVE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.8.AND.(J.EQ.8.OR.J.EQ.9)).OR.(J.EQ.6.AND.(I.EQ.20.OR.I
1EQ.21)).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.7).OR.(J.EQ.10.AND.(I.EQ.22.OR.I.EQ
2.23)).OR.(J.EQ.11.AND.(I.LT.27.AND.I.GT.23)).OR.(J.EQ.21.AND.(I
3EQ.22.OR.I.EQ.23)).OR.(J.EQ.22.AND.(I.LT.27.AND.I.GT.23)).OR.(J
4EQ.26.AND.(I.EQ.18.OR.I.EQ.22.OR.I.EQ.23)).OR.(J.EQ.29.AND.(I.LT
5.22.AND.I.GT.18)).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.30))
6AR(I,J)=DIEZ(I,J,RE)
  IF((I.EQ.8.AND.(J.EQ.25.OR.J.EQ.26)).OR.(J.EQ.28.AND.(I.EQ.20.OR
1.I.EQ.21)).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.27).OR.(J.EQ.24.AND.(I.EQ.22.OR
2I.EQ.23)).OR.(J.EQ.23.AND.(I.LT.27.AND.I.GT.23)).OR.(J.EQ.13.AND
3.(I.EQ.22.OR.I.EQ.23)).OR.(J.EQ.12.AND.(I.LT.27.AND.I.GT.23)).OR
4.(J.EQ.8.AND.(I.EQ.18.OR.I.EQ.22.OR.I.EQ.23)).OR.(J.EQ.5.AND.(I
5LT.22.AND.I.GT.19)).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.4))
6AR(I,J) = ONCE(I,J,RE)
  IF(I.EQ.17.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.25))AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
  IF((I.EQ.21.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.9.AND.J.EQ.10))
1 AR(I,J) = CATOR(I,J,RE)
  IF((I.EQ.21.AND.J.EQ.13).OR.(I.EQ.9.AND.J.EQ.24))
1 AR(I,J) = QUINCE(I,J,RE)
  IF(I.EQ.11.AND.J.EQ.10) AR(I,J)=DOCEP(I,J,RE)
  IF(I.EQ.11.AND.J.EQ.24)AR(I,J)=DOCE(I,J,RE)
  IF(I.EQ.8.AND.(J.EQ.16.OR.J.EQ.18))AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
  IF(((I.LT.21.AND.I.GT.10).AND.(J.EQ.14.OR.J.EQ.20)).OR.(I.EQ.11
1.AND.(J.LT.20.AND.J.GT.14))) AR(I,J) = 0.
  GO TO 160
```

90 CONTINUE

C =====

C AISLADOR CLASE 53-1 MITAD

C =====

```
  IF(I.EQ.4.AND.J.LT.20) AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
  IF(I.EQ.16.AND.J.GT.28)AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
  IF(I.EQ.4.AND.J.EQ.20) AR(I,J)=CUATRO(I,J,RE)
  IF(I.EQ.16.AND.J.EQ.28)AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
  IF(J.EQ.20.AND.(I.EQ.5.OR.I.EQ.6.OR.I.EQ.7))AR(I,J)=UNO(I,J,RE)
  IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.20) AR(I,J)=DOCE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.9.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.10.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.11.AND
1.J.EQ.23).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.24).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.25).OR.
2(I.EQ.14.AND.J.EQ.26).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.27))AR(I,J)=OCHO(I,J,RE
3)
```


GO TO 160

100 CONTINUE

C =====

C AISLADOR CLASE 53-1 MITAD RECORRIDO

C =====

```

IF((I.EQ.4.AND.(J.LT.5.OR.J.GT.30))AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF((I.EQ.17.AND.(J.LT.20.AND.J.GT.14))AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF((I.EQ.4.AND.J.EQ.4).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.5))AR(I,J)=DSEIS(I,J,RE
1)
IF((I.EQ.4.AND.J.EQ.30).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.29))AR(I,J)=DSIETE(I,J
1,RE)
IF((I.GT.5.AND.I.LT.8).AND.J.EQ.5)AR(I,J)=UNO(I,J,RE)
IF((I.GT.5.AND.I.LT.8).AND.J.EQ.29)AR(I,J)=TRES(I,J,RE)
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.5)AR(I,J)=DOCE(I,J,RE)
IF(I.EQ.8.AND.J.EQ.29)AR(I,J)=DOCEP(I,J,RE)
IF(I.EQ.17.AND.(J.EQ.14.OR.J.EQ.20))AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF((I-9).EQ.(J-5).AND.(I.LT.16.AND.I.GT.10))AR(I,J)=OCHO(I,J,RE)
IF((28-I).EQ.(J-10).AND.(I.LT.16.AND.I.GT.10))
1AR(I,J)=PUEVE(I,J,RE)
IF((I.EQ.10.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.12))
1AR(I,J) = DSEIS (I,J,RE)
IF((I.EQ.10.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.22))
1AR(I,J) = DSIETE(I,J,RE)
GO TO 160

```

110 CONTINUE

C =====

C AISLADOR ESPIGA CLASE 56-1 ENTERO

C =====

```

IF(I.EQ.5.AND.(J.EQ.11.OR.J.EQ.12.OR.J.EQ.22.OR.J.EQ.23))
1AR(I,J) = DOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.16.AND.(J.LT.21.AND.J.GT.13))AR(I,J) = 0.
IF((I.EQ.5.AND.J.EQ.10).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.8).OR.(I.EQ.5.AND.J.
1EQ.21).OR.(I.EQ.11.AND.J.EQ.8).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.2).OR.(I.EQ.
226.AND.J.EQ.4))AR(I,J) = CINCO(I,J,RE)
IF((I.EQ.5.AND.J.EQ.13).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.24).OR.(I.EQ.6.AND.
1J.EQ.26).OR.(I.EQ.11.AND.J.EQ.26).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.32).OR.
2(I.EQ.26.AND.J.EQ.30))AR(I,J) = CUATRO(I,J,RE)
IF((I.EQ.6.AND.J.EQ.14).OR.(I.EQ.7.AND.J.EQ.15).OR.(I.EQ.12.AND.
1J.EQ.28).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.29).OR.(I.EQ.14.AND.J.EQ.31).OR.
2(I.EQ.15.AND.J.EQ.32).OR.(I.EQ.19.AND.J.EQ.26).OR.(I.EQ.20.AND.
3J.EQ.26).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.27).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.28).OR.
4(I.EQ.23.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.29).OR.(I.EQ.11.AND.
5J.EQ.25))AR(I,J) = OCHO(I,J,RE)
IF((I.EQ.6.AND.J.EQ.20).OR.(I.EQ.7.AND.J.EQ.19).OR.(I.EQ.11.AND.
1J.EQ.9).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.5).OR.
2(I.EQ.14.AND.J.EQ.3).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.2).OR.(I.EQ.19.AND.
3J.EQ.8).OR.(I.EQ.20.AND.J.EQ.8).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.7).OR.
4(I.EQ.22.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.23.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.24.AND.
5J.EQ.5))AR(I,J) = PUEVE(I,J,RE)
IF((I.EQ.7.AND.J.EQ.9).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.29).OR.(I.EQ.16.AND.
1J.EQ.30).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.27).OR.(I.EQ.25.AND.J.EQ.27).OR.
2(I.EQ.25.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.26.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.24.AND.
3J.EQ.23).OR.(I.EQ.25.AND.J.EQ.23).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.24).OR.
4(I.EQ.23.AND.J.EQ.21))AR(I,J) = DIEZ(I,J,RE)
IF((I.EQ.7.AND.J.EQ.25).OR.(I.EQ.15.AND.J.EQ.5).OR.(I.EQ.16.AND.
1J.EQ.4).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.7).OR.(I.EQ.25.AND.J.EQ.7).OR.

```

```

2(I.EQ.25.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.26.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.23.AND.
3J.EQ.13).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.11).OR.(I.EQ.25.AND.J.EQ.11).OR.
4(I.EQ.27.AND.J.EQ.10)) AR(I,J) = ONCE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.9.AND.J.EQ.24).OR.(J.EQ.27.AND.(I.LT.18.AND.I.GT.14)).OR.
1(J.EQ.25.AND.(I.LT.28.AND.I.GT.23)))AR(I,J) = UNO(I,J,RE)
  IF((I.EQ.9.AND.J.EQ.10).OR.(J.EQ.7.AND.(I.LT.18.AND.I.GT.14)).OR.
1(J.EQ.9.AND.(I.LT.28.AND.I.GT.23))) AR(I,J) = TRES(I,J,RE)
  IF((I.GT.16.AND.I.LT.23).AND.(J.EQ.14.OR.J.EQ.20)) AR(I,J) = 0.
  IF((I.EQ.28.AND.(J.EQ.10.OR.J.EQ.25)).OR.(J.EQ.26.AND.(I.EQ.18
1.OR.I.EQ.7))).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.3).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.5))
2 AR(I,J) = SIETE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.28.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.24)).OR.(J.EQ.8.AND.(I.EQ.18.OR.
1 I.EQ.7))).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.31).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.29))
2 AR(I,J) = SEIS (I,J,RE)
  IF((I.EQ.8.AND.J.EQ.17).OR.(I.EQ.6.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.25)))
1 AR(I,J) = DOS(I,J,RE)
  IF(I.EQ.8.AND.(J.EQ.16.OR.J.EQ.18))AR(I,J) = TRECE (I,J,RE)
  IF(J.EQ.24.AND.(I.EQ.8.OR.I.EQ.10)) AR(I,J) = DOCE(I,J,RE)
  IF((J.EQ.10.AND.(I.EQ.8.OR.I.EQ.10)).OR.(I.EQ.18.AND.(J.EQ.9.OR.
1J.EQ.25))) AR(I,J) = CATOR(I,J,RE)
  IF((I.EQ.14.AND.(J.EQ.6.OR.J.EQ.28)).OR.
1(I.EQ.23.AND.(J.EQ.8.OR.J.EQ.26.OR.J.EQ.12.OR.J.EQ.22
2.OR.J.EQ.9.OR.J.EQ.25))) AR(I,J) = QUINCE(I,J,RE)
GO TO 160

```

120 CONTINUE

C =====

C AISLADOR DE SUSPENSION CLASE 52-4 ENTERO

C =====

```

  IF((I.EQ.7.AND.(J.GT.15.AND.J.LT.19)).OR.(I.EQ.10.AND.J.EQ.17)
1.OR.I.EQ.19.AND.(J.EQ.11.OR.J.EQ.23)) AR(I,J) = DOS(I,J,RE)
  IF((I.EQ.9.AND.J.EQ.18).OR.(I.EQ.14.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ.23.AND.
1(J.EQ.9.OR.J.EQ.24.OR.J.EQ.29)).OR.(I.EQ.23.AND.J.EQ.26))
2 AR(I,J) = TRES (I,J,RE)
  IF((I.EQ.9.AND.J.EQ.16).OR.(I.EQ.14.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.23.AND.
1(J.EQ.10.OR.J.EQ.25.OR.J.EQ.5)).OR.(I.EQ.23.AND.J.EQ.8))
2 AR(I,J) = UNO (I,J,RE)
  IF((I.EQ.7.AND.J.EQ.19).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.23.AND.
1J.EQ.31)) AR(I,J) = CUATRO(I,J,RE)
  IF((I.EQ.7.AND.J.EQ.15).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ.23.AND.
1J.EQ.3)) AR(I,J) = CINCO(I,J,RE)
  IF((I.EQ.24.AND.(J.EQ.3.OR.J.EQ.7.OR.J.EQ.9.OR.J.EQ.24.OR.J.EQ.29
1)).OR.(I.EQ.22.AND.(J.EQ.12.OR.J.EQ.21)).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.19))
2 AR(I,J) = SEIS(I,J,RE)
  IF((I.EQ.24.AND.(J.EQ.5.OR.J.EQ.10.OR.J.EQ.25.OR.J.EQ.27.OR.J.EQ.
131)).OR.(I.EQ.22.AND.(J.EQ.13.OR.J.EQ.22)).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.15
2)) AR(I,J) = SIETE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.20.AND.(J.EQ.26.OR.J.EQ.27)).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.29).OR.
1(I.EQ.22.AND.J.EQ.30).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.11.AND.
2J.EQ.20).OR.(I.EQ.8.AND.J.EQ.19).OR.(I.EQ.20.AND.J.EQ.28).OR.
3(I.EQ.21.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.19.AND.J.EQ.24).OR.(I.EQ.16.AND.
4J.EQ.22).OR.(I.EQ.17.AND.J.EQ.23))AR(I,J)=OCHO(I,J,RE)
  IF((I.EQ.11.AND.J.EQ.14).OR.(I.EQ.8.AND.J
1.EQ.15).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ.13).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ
2.17.AND.J.EQ.11).OR.(I.EQ.19.AND.J.EQ.10).OR.(I.EQ.20.AND.(J.EQ.6.
3OR.J.EQ.7.OR.J.EQ.8)).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ
4.5).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.4))AR(I,J)=PUEVE(I,J,RE)

```

```

IF((I.EQ.23.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.22.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.24.OR.J.EQ
1.26)).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.23))
2AR(I,J)=DIEZ(I,J,RE)
IF((I.EQ.22.AND.J.EQ.8).OR.(I.EQ.21.AND.(J.EQ.13.OR.J.EQ.11)).OR.(
1I.EQ.22.AND.J.EQ.25).OR.(I.EQ.23.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ
2.10)) AR(I,J)=ONCE(I,J,RE)
IF(I.EQ.10.AND.(J.EQ.16.AND.J.EQ.18))AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF((I.EQ.8.AND.J.EQ.17).OR.(I.EQ.20.AND.(J.LT.21.AND.J.GT.13)))
1AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.8.AND.(J.EQ.16.OR.J.EQ.18)) AR(I,J) = QUINCE(I,J,RE)
IF((J.EQ.12.AND.(I.EQ.17.OR.I.EQ.18)).OR.(J.EQ.13.AND.(I.EQ.14.OR.
1I.EQ.15.OR.I.EQ.16)).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.14).OR.(I.EQ.12.AND.J.EQ
2.15).OR.(I.EQ.11.AND.(J.EQ.16.OR.J.EQ.17.OR.J.EQ.18)).OR.(I.EQ.12
3.AND.J.EQ.19).OR.(I.EQ.13.AND.J.EQ.20).OR.(J.EQ.21.AND.(I.EQ.14
4.OR.I.EQ.15.OR.I.EQ.16)).OR.(J.EQ.22.AND.(I.EQ.17.OR.I.EQ.18)))
5 AR(I,J) = 0.
IF(I.LE.16.AND.(L.LE.13.OR.J.GE.21)) AR(I,J) = 0.
GO TO 160

```

130 CONTINUE

C =====

C AISLADOR CLASE 53-2 TIPO ROLLO

C =====

```

IF(I.EQ.15.AND.(J.LT.9.OR.J.GT.30.OR.J.EQ.26.OR.J.EQ.27))
1AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.15.AND.J.EQ.9) AR(I,J)=CUATRO(I,J,RE)
IF(J.EQ.9.AND.(I.EQ.16.OR.I.EQ.17)) AR(I,J)=UNO(I,J,RE)
IF(I.EQ.18.AND.J.EQ.9) AR(I,J)=DOCE(I,J,RE)
IF((I.EQ.19.AND.J.EQ.19).OR.(I.EQ.20.AND.J.EQ.11).OR.
1(I.EQ.21.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ.22.AND.J.EQ.13))
2AR(I,J)=OCHO(I,J,RE)
IF(I.EQ.23.AND.J.EQ.14) AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF(I.EQ.23.AND.(J.LT.20.AND.J.GT.14)) AR(I,J)=DOS(I,J,RE)
IF(I.EQ.23.AND.J.EQ.20) AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF((I.EQ.22.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.21.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.20.AND.
1J.EQ.23).OR.(I.EQ.19.AND.J.EQ.24))
2AR(I,J)=PUEVE(I,J,RE)
IF(I.EQ.18.AND.J.EQ.25) AR(I,J)=DOCEP(I,J,RE)
IF(J.EQ.25.AND.(I.EQ.16.OR.I.EQ.17))
1AR(I,J)=TRES(I,J,RE)
IF(I.EQ.15.AND.J.EQ.25) AR(I,J)=CINCO(I,J,RE)
IF(I.EQ.15.AND.J.EQ.28) AR(I,J)=DSEIS(I,J,RE)
IF(I.EQ.16.AND.J.EQ.29) AR(I,J)=TRECE(I,J,RE)
IF(I.EQ.15.AND.J.EQ.30) AR(I,J)=DSIETE(I,J,RE)
GO TO 160

```

140 CONTINUE

C =====

C AISLADOR DE SUSPENSION CLASE 52-4 MITAD

C =====

```

IF((I.EQ.2.AND.J.EQ.28).OR.(J.EQ.23.AND.(I.LT.14.AND.I.GT.10)).OR.
1(I.EQ.18.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.30.AND.(J.EQ.5.OR.J.EQ.12.OR.J.EQ.1
28)).OR.(I.EQ.29.AND.J.EQ.18))AR(I,J) = TRES(I,J,RE)
IF((J.EQ.14.AND.(I.LT.31.AND.I.GT.27)).OR.(J.EQ.20.AND.(I.LT.31.AN
1D.I.GT.26)).OR.(I.EQ.30.AND.J.EQ.8))AR(I,J) = UNO(I,J,RE)
IF((I.EQ.32.AND.J.EQ.8).OR.(I.EQ.31.AND.J.EQ.14).OR.(I.EQ.31.AND.J
1.EQ.20).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.25))AR(I,J) = SIETE(I,J,RE)
IF((I.EQ.32.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.31.AND.(J.EQ.13.OR.J.EQ.18)).OR.

```

```
1(I.EQ.27.AND.J.EQ.23).OR.(I.EQ.25.AND.J.EQ.28))
2 AR(I,J) = SEIS(I,J,RE)
  IF((I.EQ.3.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.9.AND.J.EQ.23).OR.(I.EQ.4.AND.
1J.EQ.27).OR.(I.EQ.6.AND.(J.EQ.25.OR.J.EQ.26)).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.
227).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.26).OR.(I.EQ.7.AND.(J.EQ.24.OR.J.EQ.25))
3.OR.(J.EQ.22.AND.(I.EQ.14.OR.J.EQ.15)).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.22)
4.OR.(I.EQ.17.AND.J.EQ.21).OR.(I.EQ.8.AND.J.EQ.24).OR.(I.EQ.19
5.AND.(J.EQ.21.OR.J.EQ.22)).OR.(I.EQ.22.AND.(J.EQ.17.OR.J.EQ.18
6.OR.J.EQ.19.OR.J.EQ.16)).OR.(I.EQ.23.AND.(J.EQ.13.OR.J.EQ.14.OR.
7J.EQ.15)).OR.(I.EQ.24.AND.(J.EQ.10.OR.J.EQ.11.OR.J.EQ.12)).OR.(I
8.EQ.25.AND.J.EQ.9).OR.(I.EQ.26.AND.(J.EQ.7.OR.J.EQ.8)).OR.(I.EQ.27
9.AND.(J.EQ.9.OR.J.EQ.7)).OR.(I.EQ.28.AND.J.EQ.6))
1 AR(I,J) = PUEVE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.29.AND.J.EQ.12).OR.(I.EQ.20.AND.J.EQ.22).OR.(I.EQ.27.AND.
1J.EQ.17).OR.(I.EQ.26.AND.J.EQ.23).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.28).OR.
2(I.EQ.28.AND.J.EQ.18)) AR(I,J) = DIEZ(I,J,RE)
  IF((I.EQ.29.AND.J.EQ.9).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.15).OR.(I.EQ.26.AND.
1J.EQ.15).OR.(I.EQ.26.AND.J.EQ.20).OR.(J.EQ.25.AND.(I.EQ.24.OR.
2I.EQ.25.OR.I.EQ.26)).OR.(I.EQ.24.AND.J.EQ.30))
3 AR(I,J) = ONCE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.28.AND.(J.EQ.10.OR.J.EQ.11)).OR.(I.EQ.26.AND.(J.EQ.16
1.OR.J.EQ.17)).OR.(I.EQ.25.AND.(J.EQ.21.OR.J.EQ.22)).OR.(I.EQ.23
2.AND.J.EQ.27)) AR(I,J) = QUINCE(I,J,RE)
  IF((I.EQ.32.AND.J.EQ.7).OR.(I.EQ.27.AND.J.EQ.24).OR.(I.EQ.24
1.AND.J.EQ.30)) AR(I,J) = DDOS(I,J,RE)
  IF((J.EQ.23.AND.(I.LT.21.AND.I.GT.16)).OR.(I.EQ.16.AND.J.EQ.24)
1.OR.(J.EQ.25.AND.(I.LT.16.AND.I.GT.10)).OR.(I.EQ.10.AND.J.EQ.26)
2.OR.(I.EQ.9.AND.J.EQ.27).OR.(I.EQ.8.AND.J.EQ.28).OR.(I.EQ.7.AND.J
3.EQ.29).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.30).OR.(I.EQ.5.AND.J.EQ.31)) AR(I,J)=0
  IF(I.LT.6) AR(I,J) = 0.
  IF(I.LE.15.AND.J.LE.25) AR(I,J) = 0.
  GO TO 160
150 AR(I,J) = U(I,J)
160 CONTINUE
  DIFF2=0.
  DO 170 I=2,N11
  DO 170 J=2,N11
  DIFF1=AR(I,J)-U(I,J)
  IF(DIFF1.GT.DIFF2) DIFF2=DIFF1
170 U(I,J)=AR(I,J)
  IF(MAX.EQ.33) CALL AUX1( DIFF2,ITERAT)
  ITERAT=ITERAT+1
  DIFF2=ABS(DIFF2)
C SE PREGUNTA SI EL NUMERO DE ITERACIONES HA LLEGADO A SU LIMITE
IF(ITERAT.GT.NMIT) GO TO 180
C AVERIGUA SI LA DIFERENCIA ENTRE EL POTENCIAL CALCULADO EN LAS DOS
C ULTIMAS ITERACIONES ES MENOR QUE UN VALOR DE TOLERANCIA
IF(DIFF2.GT.CONV) GO TO 50
180 DO 190 I=1,MAX
  DO 190 J=1,MAX
190 D(I,J)=ABS(U(I,J))
  IF(MAX.EQ.33) WRITE(3,210)
  RETURN
200 FORMAT(/T10,99(1H*),/,33(9X,2H* ,33I3,2H *,/),T10,99(1H*))
210 FORMAT(123(1H-),1H>,2X,'ERROR',/,)
  END
```

SUBROUTINE ESC(MAX,V)

ESTE SUBPROGRAMA DA LA FORMA DE IMPRESION DE UNA MATRIZ
DIMENSION V(033,033)
DIMENSION IU (033,033)
DO 9 K = 1,MAX
DO 9 L = 1,MAX
IU(K,L) = V(K,L)
WRITE(3,10) ((IU(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
RETURN
10 FORMAT(/T10,103(1H*),/,33(9X,2H* ,33I3,2H *,/,T10,14*,101X,1H*,/),
1T10,103(1H*))
END

SUBROUTINE AUX1 (DIFF2,ITERAT)

S/P PARA GRAFICAR LA CURVA DE ERROR VS NUMERO DE ITERACIONES
DIMENSION IBLK(132)
DATA IBLK/132*1H /,JBLANC,KAST,LRAY/1H ,1H*,1HI/
IBLK(5) = LRAY
I = DIFF2*100 + 5
IF (I.LT.5) I = 5
IF (I.GT.132) I = 132
IBLK(I) = KAST
IF (ITERAT.EQ.0) WRITE(3,20)
ITER = ITERAT + 1
WRITE(3,10) DIFF2,(IBLK(L),L=1,4),ITER,(IBLK(L),L=5,128)
IBLK(I) = JBLANC
RETURN
10 FORMAT(F8.4,4A1,I3,128A1)
20 FORMAT(1H1,28X,'GRAFICACION DEL NUMERO DE ITERACION V.S. ERRO
1R',/,29X,55(1H=),/, 'ERROR/ITERACION',/,15X,'^')
END

FUNCTION UNO (I,J,RE)

CONDICION DE LIMITE VERTICAL CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE
IZQUIERDA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
UNO =.25*(AR(I-1,J)+U(I+1,J)+2./(1.+RE)*(U(I,J+1)+RE*AR(I,J-1)))
RETURN
END

FUNCTION DOS (I,J,RE)

CONDICION DE LIMITE HORIZONTAL CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA
PARTE INFERIOR.
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DOS=.25*(AR(I,J-1)+U(I,J+1)+2./(1.+RE)*(AR(I-1,J)+RE*U(I+1,J)))
RETURN
END

FUNCTION TRES (I,J,RE)

E *

CONDICION DE LIMITE VERTICAL CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE DERECHA

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

TRES=.25*(AR(I-1,J)+U(I+1,J)+2./(1.+RE)*(AR(I,J-1)+RE*U(I,J+1)))

RETURN

END

FUNCTION CUATRO (I,J,RE)

NODO EN LA ESQUINA CON LIMITES PARALELOS A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE INFERIOR IZQUIERDA.

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

CUATRO=1./(3.+RE)*(AR(I-1,J)+U(I,J+1)+0.5*(1.+RE)*(AR(I,J-1)+U(I+1,J)))

RETURN

END

FUNCTION CINCO (I,J,RE)

NODO EN LA ESQUINA CON LIMITES PARALELOS A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE INFERIOR DERECHA

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

CINCO=1/(3.+RE)*(AR(I-1,J)+AR(I,J-1)+.5*(1.+RE)*(U(I,J+1)+U(I+1,J)))

RETURN

END

FUNCTION SEIS (I,J,RE)

NODO EN LA ESQUINA CON LIMITES PARALELOS A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE SUPERIOR DERECHA.

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

SEIS=1./(3.+RE)*(AR(I-1,J)+U(I,J+1)+.5*(1.+RE)*(AR(I,J-1)+U(I+1,J)))

RETURN

END

FUNCTION SIETE (I,J,RE)

NODO EN LA ESQUINA CON LIMITES PARALELOS A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE SUPERIOR IZQUIERDA.

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

SIETE=1./(3.+RE)*(AR(I-1,J)+AR(I,J-1)+.5*(1.+RE)*(U(I+1,J)+U(I,J+1)))

RETURN

END

FUNCTION OCHO (I,J,RE)

LIMITE DIAGONAL A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA IZQUIERDA

```
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
OCHO=.5/(1.+RE)*(U(I,J+1)+AR(I-1,J)+RE*(AR(I,J-1)+U(I+1,J)))
RETURN
END
```

```
FUNCTION PUEVE (I,J,RE)
```

```
LIMITE DIAGONAL A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA
PARTE INFERIOR DERECHA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
PUEVE=.5/(1.+RE)*(AR(I-1,J)+AR(I,J-1)+RE*(U(I,J+1)+U(I+1,J)))
RETURN
END
```

```
FUNCTION DIEZ (I,J,RE)
```

```
LIMITE DIAGONAL A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA
PARTE SUPERIOR DERECHA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DIEZ=.5/(1.+RE)*(AR(I,J-1)+U(I+1,J)+RE*(AR(I-1,J)+U(I,J+1)))
RETURN
END
```

```
FUNCTION ONCE (I,J,RE)
```

```
LIMITE DIAGONAL A LA MATRIZ CON EL MATERIAL AISLANTE EN LA
PARTE SUPERIOR IZQUIERDA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
ONCE=(.5/(1.+RE))*(U(I+1,J)+U(I,J+1)+RE*(AR(I-1,J)+AR(I,J-1)))
RETURN
END
```

```
FUNCTION DOCE (I,J,RE)
```

```
LIMITE FORMANDO ANGULO DE 225 GRADOS DE AISLADOR PARTE IZQUIERDA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DOCE=(1./(3.+RE))*(.5*(1.+RE)*(AR(I-1,J)+AR(I,J-1)+U(I+1,J))+U(I,
1J+1))
RETURN
END
```

```
FUNCTION DOCEP (I,J,RE)
```

```
LIMITE FORMANDO ANGULO DE 225 GRADOS DE AISLADOR PARTE DERECHA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DOCEP=(1./(3.+RE))*(.5*(1.+RE)*(AR(I-1,J)+U(I,J+1)+U(I+1,J))+AR(I,
1J-1))
RETURN
END
```

FUNCTION TRECE (I,J,RE)

LIMITE FORMANDO ANGULO DE 225 GRADOS DE AISLADOR PARTE INFERIOR
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
TRECE=(1./(3.+RE))*(.5*(1.+RE)*(AR(I,J-1)+U(I+1,J)+J(I,J+1))+AR(I-1,J))
RETURN
END

FUNCTION CATOR (I,J,RE)

LIMITE FORMANDO ANGULO DE 225 GRADOS DE AISLADOR SUPERIOR PARTE DERECHA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
CATOR=(1./(3.+RE))*(.5*(1+RE)*(U(I+1,J)+U(I,J+1)+AR(I-1,J))+AR(I,J-1))
RETURN
END

FUNCTION QUINCE (I,J,RE)

LIMITE FORMANDO ANGULO DE 225 GRADOS DE AISLADOR SUPERIOR PARTE IZQUIERDA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
QUINCE=(1./(3.+RE))*(.5*(1.+RE)*(U(I,J+1)+AR(I-1,J)+AR(I,J-1))+U(I+1,J))
RETURN
END

FUNCTION CIEN (I,J,ALFA)

FORMULA DE LAPLACE
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
CIEN=U(I,J) +(ALFA/4.) * (U(I+1,J) + U(I,J+1) + AR(I,J-1) + AR(I-1,J)-4.*U(I,J))
RETURN
END

FUNCTION DSEIS (I,J,RE)

LIMITE FORMANDO ANGULO DE 135 GRADOS DE AISLADOR PARTE INFERIOR IZQUIERDA
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DSEIS=(1./(3.+RE))*(.5*(1.+RE)*(AR(I,J-1)+U(I+1,J))+U(I,J+1)+AR(I-1,J))
RETURN
END

FUNCTION DSIETE (I,J,RE)

LIMITE FORMANDO ANGULO DE 135 GRADOS DE AISLADOR PARTE INFERIOR


```

C DERECHA.
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DSIETE=(1./(3.+RE))*(.5*(1+RE)*(U(I+1,J)+U(I,J+1))+
1AR(I,J-1)+AR(I-1,J))
RETURN
END

```

FUNCTION DDOS (I,J,RE)

```

C LIMITE HORIZONTAL CON EL EL MATERIAL AISLANTE EN LA PARTE SUPERIOR
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
DDOS= .25*(AR(I,J-1)+U(I,J+1)+ 2./(1.+RE)*(U(I+1,J)+RE*AR(I-1,J)))
RETURN
END

```

FUNCTION PTRON (I,J,RA)

```

C LIMITE HORIZONTAL PARTE SUPERIOR CONDUCTOR PARTE INFERIOR AISLANTE
COMMON /T2/ U(033,033)
COMMON /T3/ AR(033,033)
PTRON=0.25*(AR(I,J-1)+U(I,J+1)+2./(1.+RA)*(AR(I-1,J)+RA*U(I+1,J)))
RETURN
END

```

SUBROUTINE CAEL(V,MAXUNO,DELL,COND,VOLT,INDI,UAB,FN)

DESCRIPCION DE VARIABLES
=====

- V ----> ARREGLO QUE CONTINE LOS VALORES DE POTENCIAL EN CADA PUNTO DEL AISLADOR.
- MAXUNO ----> TOMA EL VALOR DE MAX DEL PROGRAMA PRINCIPAL
- DELL ----> HACE RELACION CON LA DIMENSION DEL AISLADOR
- COND ----> CONDUCTIVIDAD DEL MATERIAL AISLADOR
- VOLT ----> ES EL VOLTAJE QUE SOPORTA EL AISLADOR
- INDI ----> INDICE QUE DETERMINA LA CLASE DE AISLADOR
- FN ----> FRECUENCIA NOMINAL

ESTA SUBROUTINA CALCULA EL CAMPO ELECTRICO, DENSIDAD DE CORRIENTE Y POTENCIA DE PERDIDAD EN CADA PUNTO DEL AISLADOR.

DIMENSION V(033,033),E(033,033),P(033,033),D(033,033),Q(033,033)
DIMENSION IU (033,033)

```

JOT = MAXUNO -1
EPN = UAB * 8.854E-12
EPI = 6.2832 * FN * EPN
DO 10 I = 1,JOT
DO 10 J = 1,JOT

```

PARTIENDO DE EL POTENCIAL SE BUSCA EL CAMPO ELECTRICO MEDIANTE LA FORMULA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE DOS PUNTOS DIVIDIDO PARA LA DISTANCIA A QUE LOS SEPARA.

```

P12 = ABS(V(I,J)-V(I,J+1))
P13 = ABS(V(I,J)-V(I+1,J))
P14 = ABS(V(I,J)-V(I+1,J+1))
P24 = ABS(V(I,J+1)-V(I+1,J+1))

```

```

P23 = ABS(V(I,J+1)-V(I+1,J))
P34 = ABS(V(I+1,J)-V(I+1,J+1))
DENO = DELL*(4.+2.*SORT(2.))
DNEM = P12+P13+P14+P24+P23+P34
DNUM = DNEM * VOLT
E(I,J) = DNUM/DENO
IF(P12.GT.P13.AND.P12.GT.P24.AND.P12.GT.P34) PM = P12
IF(P13.GT.P12.AND.P13.GT.P24.AND.P13.GT.P34) PM = P13
IF(P24.GT.P12.AND.P24.GT.P13.AND.P24.GT.P34) PM = P24
IF(P34.GT.P12.AND.P34.GT.P24.AND.P34.GT.P13) PM = P34
PMV = PM * VOLT
D(I,J) = PMV / DELL

```

```

10 CONTINUE
WRITE(3,180)
WRITE(3,290)
IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GOTO 30
WRITE(3,190)
DO 20 I = 1,JOT
DO 20 J = 1,JOT
P(I,J) = E(I,J)/1000.

```

```

20 CONTINUE
GOTO 50
30 WRITE(3,200)
DO 40 I=1,JOT
DO 40 J=1,JOT
P(I,J)=E(I,J)/100.

```

```

40 CONTINUE
50 DO 51 K = 1,JOT
DO 51 L = 1,JOT
51 IU(K,L) = P(K,L)
WRITE(3,210) ((IU(I,J),J=1,JOT),I=1,JOT)
WRITE(3,290)
WRITE(3,180)
WRITE(3,290)
IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GO TO 70
WRITE(3,190)

```

```

60 DO 60 I = 1,JOT
DO 60 J = 1,JOT
P(I,J) = D(I,J) / 1000.
GO TO 90

```

```

70 WRITE(3,200)
DO 80 I = MJOT
DO 80 J = 1,JOT
80 P(I,J) = D(I,J) / 100.

```

```

90 DO 91 K = 1,JOT
DO 91 L = 1,JOT
91 IU(K,L) = P(K,L)
WRITE(3,210) ((IU(I,J),J=1,JOT),I=1,JOT)
WRITE(3,290)

```

C SE CALCULA LA DENSIDAD DE CORRIENTE MEDIANTE LA FORMULA DE
C CONDUCTIVIDAD POR EL CAMPO ELECTRICO EN CADA PUNTO DEL AISLADOR

```

DO 110 I = 1,JOT
DO 110 J = 1,JOT
D(I,J) = E(I,J)*(SQRT(COND**2.+EPI**2.))

```

C SE CALCULA LA POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN.
C Q(I,J) = D(I,J)*E(I,J)

```

IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GO TO 100
P(I,J)=D(I,J)*1.E3
GOTO 110
100 P(I,J)=D(I,J)*1.E5
110 CONTINUE
WRITE(3,220)
IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GO TO 120
WRITE(3,230)
GOTO 130
120 WRITE(3,240)
130 DO 132 K = 1,JOT
DO 132 L = 1,JOT
132 IU(K,L) = P(K,L)
WRITE(3,250) ((IU(I,J),J=1,JOT),I=1,JOT)
WRITE(3,290)
IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GO TO 140
WRITE(3,260)
WRITE(3,290)
GOTO 150
140 WRITE(3,270)
150 DO 170 I=1,JOT
DO 160 L=1,JOT
IF(INDI.EQ.3.OR.INDI.EQ.4.OR.INDI.EQ.7) GO TO 160
Q(I,L) = Q(I,L)/100.
160 CONTINUE
DO 161 L = 1,JOT
161 IU(I,L) = P(I,L)
170 WRITE(3,280) (IU(I,J),J=1,JOT)
WRITE(3,290)
RETURN
180 FORMAT(1H1,28X,'VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M',/)
190 FORMAT(//,28X,'ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 1000',/)
200 FORMAT(//,28X,'ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 100',/)
210 FORMAT(/T10,100(1H*),/,32(9X,2H* ,32I3,2H *,/,T10,1H*,98X,1H*,/),
1T10,100(1H*))
220 FORMAT(1H1,28X,'VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2',/)
230 FORMAT(//28X,'ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-3',/)
240 FORMAT(//28X,'ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR E-5',/)
250 FORMAT(/T10,100(1H*),/,32(9X,2H* ,32I3,2H *,/,T10,1H*,98X,1H*,/),
1T10,100(1H*))
260 FORMAT(1H1,28X,'POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN EN W/M3'
1,//,29X,'ESTOS VALORES SE DEBEN MULTIPLICAR POR 100',/)
270 FORMAT(1H1,28X,'POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN EN W/M3'
1,//,T10,100(1H*))
280 FORMAT(T10,2H* ,32I3,2H *,/,T10,1H*,98X,1H*)
290 FORMAT(T10,100(1H*))
END

```

```

C -----
C SUBROUTINE TITULO(INDI)
C -----
C DESCRIPCION DE VARIABLES
C =====
C
C INDI ----> ES UN INDICE QUE NOS DICE QUE TIPO DE AISLADOR ESTAMOS
C ANALIZANDO.
C

```

C

```

C   ESTA SUBROUTINA INDICA CUAL ES EL TITULO QUE DEBE TENER EL LISTADO
C   DEL PROGRAMA DE ACUERDO AL AISLADOR ANALIZADO.
      GOTO (10,20,30,40,50,60,70,80),INDI
      WRITE(3,90)
      RETURN
10   WRITE(3,100)
      RETURN
20   WRITE(3,110)
      RETURN
30   WRITE(3,120)
      RETURN
40   WRITE(3,130)
      RETURN
50   WRITE(3,140)
      RETURN
60   WRITE(3,150)
      RETURN
70   WRITE(3,160)
      RETURN
80   WRITE(3,170)
      RETURN
90   FORMAT('ERROR INDICE')
100  FORMAT(1H1,28X,'P A S A M U R O S   C O N S T R U I D O   E N   L A
1E. P. N.',/29X,'*****
2*****',//)
110  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   T I P O   E S P I G A   C L A S E
1 55-4',/29X,'*****
2***',//)
120  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   T I P O   R O L L O   C L A S E
153-1 MITAD',/29X,'*****
2*****',//)
130  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   T I P O   R O L L O   C L A S E
153-1 MITAD RECORRIDO',/29X,'*****
2*****',//)
140  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   T I P O   O   E S P I G A   C L A S E
156-1 ENTERO',/29X,'*****
2*****',//)
150  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   D E   S U S P E N S I O N   C L A S
1 E 52-4 ENTERO',/29X,'*****
2*****',//)
160  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   T I P O   R O L L O   C L A S E
153-2',/29X,'*****
2***',//)
170  FORMAT(1H1,28X,'A I S L A D O R   D E   S U S P E N S I O N   C L A S
1 E 52-4 MITAD',/29X,'*****
2*****',//)
      END

```

```

C -----
C   SUBROUTINE CONTAM(E,UAB,UPV,UCT,MAX,ALFA,INDO,DELL,COND,VOLT,CONV,
C   INMIT,FP)
C -----

```

DESCRIPCION DE VARIABLES
=====

```

C   UAB   ----> PERMITIVIDAD DEL MATERIAL DEL AISLADOR
C   E     ----> ESTE ARREGLO RECIBE LOS DATOS INICIALES ESTIMADOS

```

C DE POTENCIA.
C UPV ----> PERMITIVIDAD DE LA CAPA DE VIDRIO
C UCT ----> PERMITIVIDAD DE LOS MATERIALES CONTAMINANTES
C MAX ----> DIMENSIONA EL ARREGLO DONDE SE REPRESENTA UNA
C PARTE DEL AISLADOR.
C ALFA ----> FACTOR DE ACELERACION PARA OBTENER LA SOLUCION.
C INDO ----> ESTE NUMERO NOS DICE LA FORMA DE LIMITE ENTRE EL
C AISLADOR.
C VOLT ----> VOLTAJE QUE SOPORTARA EL AISLADOR
C CONV ----> FACTOR DE CONVERGENCIA
C NMIT ----> NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES
C FP ----> FRECUENCIA PARA EL ANALISIS DE CONTAMINACION
C ESTA SUBROUTINA ANALIZA EL COMPORTAMIENTO DE UNA AREA DETERMINADA
C DEL AISLADOR QUE SE A CONTAMINADO CON IMPUREZAS.

DIMENSION D(033,033),Q(033,033),DIB(033,033),E(033,033)

DIMENSION IU (033,033)

COMMON /T2/ U(033,033)

COMMON /T3/ AR(033,033)

UAB1 = (UAB + UPV + UCT) / 3.

EPN = UAB1 * 8.854E-12

EPI = 6.2832 * FP * EPN

DELL = DELL / 3.

RC = 1./UCT

RV = UCT/UPV

RL = UPV / UAB

N11 = MAX -1

N12 = MAX -2

ITERAT=0

DO 10 I = 1,MAX

DO 10 J = 1,MAX

AR(I,J) = E(I,J)

U(I,J) = E(I,J)

10 EN LOS LASOS 40,50,80 SE PROCEDE AL LLENADO DE LOS VALORES DE
C POTENCIAL DEL AREA CONTAMINADA.
C

DO 40 IR = 2,N11,2

DO 40 IC = 2,N11,2

IF(U(IC,IR).GE.98.) GO TO 40

U(IC,IR) = PROM (IC,IR,1,1)

GO TO (40,40,40,40,20,30,20,30), INDO

WRITE(3,50)

CONTINUE

U(4,4) = E(4,4)

U(6,6) = E(6,6)

GO TO 40

CONTINUE

U(4,6) = E(4,6)

U(6,4) = E(6,4)

CONTINUE

DO 70 IR = 2,N11,2

DO 70 IC = 3,N12,2

IF(U(IC,IR).GE.98.) GO TO 70

U(IC,IR) = PROM (IC,IR,0,1)

GO TO (70,70,60,60,70,70,70,70), INDO

WRITE(3,50)

```
C
50  FORMAT(T20,'ERROR EN INDICE INDO (REVISE SUS DATOS')
60  CONTINUE
    U(5,4) = E(5,4)
    U(5,6) = E(5,6)
70  CONTINUE
    DO 90 IR = 3,N12,2
    DO 90 IC = 2,N11,2
    IF(U(IC,IR).GE.98.) GO TO 90
    U(IC,IR) = PROM (IC,IR,0,1)
    GO TO (80,80,90,90,90,90,90,90), INDO
    WRITE(3,50)
80  CONTINUE
    U(4,5) = E(4,5)
    U(6,5) = E(6,5)
90  CONTINUE
C
C  EN EL LAZO 240 SE CALCULA EN FORMA ITERATIVA EL POTENCIAL HASTA
C  LLEGAR A LA SOLUCION.
100 DO 250 I = 2,N11
    DO 250 J = 2,N11
C  EN ESTE GO TO CALCULADO SE SELECCIONA LA FORMA DE LIMITE ENTRE EL
C  AISLADOR, CAPA DE VIDRIO E IMPUREZAS.
    GO TO (110,110,120,120,130,140,130,140), INDO
    WRITE(3,50)
    CALL EXIT
110 IF((I.EQ.4.AND.J.EQ.5).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.5)) GO TO 250
    GO TO 150
120 IF(I.EQ.5.AND.(J.EQ.4.OR.J.EQ.6)) GO TO 250
    GO TO 150
130 IF((I.EQ.4.AND.J.EQ.4).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.6)) GO TO 250
    GO TO 150
140 IF((I.EQ.4.AND.J.EQ.6).OR.(I.EQ.6.AND.J.EQ.4)) GO TO 250
150 IF(U(I,J).GE.98.) GO TO 240
    IF(I.EQ.5.AND.J.EQ.5) GO TO 240
    AR(I,J) = CIEN (I,J,ALFA)
    GO TO (160,170,180,190,200,210,220,230), INDO
    WRITE(3,50)
    CALL EXIT
160 CONTINUE
    IF(J.EQ.4) AR(I,J) = UNO(I,J,RL)
    IF(J.EQ.5) AR(I,J) = UNO(I,J,RV)
    IF(J.EQ.6) AR(I,J) = UNO(I,J,RC)
    GO TO 250
170 CONTINUE
    IF(J.EQ.4) AR(I,J) = TRES(I,J,RC)
    IF(J.EQ.5) AR(I,J) = TRES(I,J,RV)
    IF(J.EQ.6) AR(I,J) = TRES(I,J,RL)
    GO TO 250
180 CONTINUE
    IF(I.EQ.4) AR(I,J) = DOS(I,J,RC)
    IF(I.EQ.5) AR(I,J) = DOS(I,J,RV)
    IF(I.EQ.6) AR(I,J) = DOS(I,J,RL)
    GO TO 250
190 CONTINUE
    IF(I.EQ.4) AR(I,J) = DDOS(I,J,RL)
    IF(I.EQ.5) AR(I,J) = DDOS(I,J,RV)
```



```

IF(I.EQ.6) AR(I,J) = DDOS(I,J,RC)
GO TO 250
200 CONTINUE
IF(I+1.EQ.J) AR(I,J) = OCHO(I,J,RC)
IF(I.EQ.J) AR(I,J) = OCHO(I,J,RV)
IF(J+1.EQ.I) AR(I,J) = OCHO(I,J,RL)
GO TO 250
210 CONTINUE
IF(9-I.EQ.J) AR(I,J) = PUEVE(I,J,RC)
IF(10-I.EQ.J) AR(I,J) = PUEVE(I,J,RV)
IF(11-I.EQ.J) AR(I,J) = PUEVE(I,J,RL)
GO TO 250
220 CONTINUE
IF(I+1.EQ.J) AR(I,J) = DIEZ(I,J,RL)
IF(I.EQ.J) AR(I,J) = DIEZ(I,J,RV)
IF(I.EQ.J+1) AR(I,J) = DIEZ(I,J,RC)
GO TO 250
230 CONTINUE
IF(9-I.EQ.J) AR(I,J) = ONCE(I,J,RL)
IF(10-I.EQ.J) AR(I,J) = ONCE(I,J,RV)
IF(11-I.EQ.J) AR(I,J) = ONCE(I,J,RC)
GO TO 250
240 AR(I,J) = U(I,J)
250 CONTINUE
DIFF2 = 0.
DO 260 I = 2,N11
DO 260 J = 2,N12
DIFF1 = AR(I,J) - U(I,J)
IF(DIFF1.GT.DIFF2) DIFF2 = DIFF1
260 U(I,J) = AR(I,J)
ITERAT = ITERAT + 1
DIFF2 = ABS(DIFF2)
IF(ITERAT.GT.NMIT) GO TO 270
IF(DIFF2.GT.CONV) GO TO 100
C SE HACE IMPRIMIR LA DISTRIBUCION DE POTENCIAL EN EL AREA CONTAMINADA
270 WRITE(3,310)
DO 271 K = 1,MAX
DO 271 L = 1,MAX
271 IU(K,L) = P(K,L)
WRITE(3,320) ((IU(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
C SE CALCULA LAS LINEAS EQUIPOTENCIALES DENTRO DEL AREA CONTAMINADA
CALL EQPOTE (MAX,U,DIB)
C SE HACE IMPRIMIR LAS LINEAS EQUIPOTENCIALES EN EL AREA CONTAMINADA
WRITE(3,330) ((DIB(I,J),J=1,MAX),I=1,MAX)
DO 280 I = 1,N11
DO 280 J = 1,N11
P12 = ABS(U(I,J)-U(I,J+1))
P13 = ABS(U(I,J)-U(I+1,J))
P14 = ABS(U(I,J) - U(I+1,J+1))
P24 = ABS(U(I,J+1) - U(I+1,J+1))
P23 = ABS(U(I,J+1) - U(I+1,J))
P34 = ABS(U(I+1,J) - U(I+1,J+1))
DENOM = DELL * (4.+2.*SQRT(2.))
DNEM = P12+P13+P14+P24+P23+P34
DNUM = DNEM * VOLT
C SE CALCULA LA DISTRIBUCION DEL CAMPO ELECTRICO EN EL AREA CONTAMINADA

```

```

E(I,J) = DNUM / DENO
280 CONTINUE
WRITE(3,340)
C SE IMPRIME EL CAMPO ELECTRICO EN CADA PUNTO DEL AREA
WRITE(3,350) ((E(I,J),J=1,N11),I=1,N11)
DO 290 I = 1,N11
C SE CALCULA LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN EL AREA CONTAMINADA
DO 290 J = 1,N11
C SE CALCULA LAS PERDIDAS POR UNIDAD DE VOLUMEN EN EL AREA CONTAMINADA
D(I,J) = E(I,J) * (SQRT( COND **2. + EPI **2.))
Q(I,J) = D(I,J) * E(I,J)
290 CONTINUE
WRITE(3,360)
WRITE(3,370) ((D(I,J),J=1,N11),I=1,N11)
DO 300 N = 1,8
DO 300 M = 1,8
300 Q (N,M) = Q (N,M)
WRITE(3,380)
C SE ESCRIBE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN CADA PUNTO DEL AREA
C CONTAMINADA.
WRITE(3,390) ((Q(I,J),J=1,N11),I=1,N11)
C SE IMPRIME LA PERDIDAS POR UNIDAD DE VOLUMEN EN EL AREA CONTAMINADA
RETURN
310 FORMAT(////,28X,'CAMPO DE DISTRIBUCION DE AREA CONTAMINADA',/,28X,
141(1H=),//)
320 FORMAT(/T4,121(1H*),/,9(3X,2H* ,9F13.1,2H *,/,T4,1H*,119X,1H*,/),
1T4,121(1H*))
330 FORMAT(/T25,31(1H*),/,9(24X,2H* ,9A3,2H *,/,T25,1H*,224X,1H*,/),T2
15,31(1H*))
340 FORMAT(1H1,/,28X,'VALORES DE CAMPO ELECTRICO EN V/M',/,
1 29X,'=====')
350 FORMAT(/T4,108(1H*),/,8(3X,2H* ,8F13.1,2H *,/,T4,1H*,106X,1H*,/),
1T4,108(1H*))
360 FORMAT(////,28X,'VALORES DE DENSIDAD DE CORRIENTE EN AMP/M2',
1/, 28X,'=====')
370 FORMAT(/T4,108(1H*),/,8(3X,2H* ,8F13.1,2H *,/,T4,1H*,106X,1H*,/),
1T4,108(1H*))
380 FORMAT(///28X,'POTENCIA DE PERDIDA POR UNIDAD DE VOLUMEN W/M3'
1,/, 28X,'=====')
390 FORMAT(/T4,108(1H*),/,8(3X,2H* ,8F13.1,2H *,/,T4,1H*,106X,1H*,/),
1T4,108(1H*))
END

```

```

C -----
C SUBROUTINE INICIO
C -----
WRITE(3,10 )
10 FORMAT(1H1,T20,101(1H*)
1T20,1H*,T120,1H*
2T20,1H*,T120,1H*
3T20,1H*, T40,'E S C U E L A P O L I T E C N I C A N A C I O N A
4L',T120,1H*,/,T20,1H*,T40,53(1H:),T120,1H*,/,T20,1H*,T120,1H*,/,T2
50,1H*,T120,1H*,T20,1H*,T24,'FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA',T120
6,1H*/T20,1H*,3X'DEPARTAMENTO DE POTENCIA ',T120,1H*)
WRITE(3,20)
20 FORMAT(T20,1H*,3X'QUITO - ECUADOR ',T120,1H*,/
1T20,1H*,3X'TESIS DE GRADO ',T120,1H*,/

```



```

2T20,1H*,3X*REALIZADO POR: RENE CORREA *,T120,1H* ,/
3T20,1H*,3X*DIRIGIDO POR: ING. PAUL AYDRA G. *,T120,1H*,/
4T20,1H*,3X,*PROGRAMA DIGITAL PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO ELECT
5RICO DE LOS AISLADORES *,T120,1H* )
WRITE(3,30)
30 FORMAT(T20,1H*,3X*SE RESUELVE LA ECUACION DE LAPLACE POR EL METODO
1 DE DIFERENCIAS FINITAS *,T120,1H*,/
2T20,101(1H*),/,T20,1H*,T120,1H* ,/
3T20,1H*,20X*DESCRIPCION DE VARIABLES *,T120,1H*,/
4T20,1H*,20X*===== *,T120,1H*,/
5T20,1H*,T120,1H* )
WRITE(3,40)
40 FORMAT(T20,1H*,3X,*MAX*,T32,7H----> ,*DIMENSIONA LA MATRIZ DONDE
1SE SIMULA EL AISLADOR A ANALIZARSE *,T120,1H*,/
2T20,1H*,3X,*VOLT*,T32,7H----> ,*ES EL VOLTAJE PARA QUE FUE DISEÑA
3DO EL AISLADOR *,T120,1H*,/
4T20,1H*,3X*INDI*,T32,7H----> ,*TIPO DE AISLADOR ANALIZADO*,T120,
51H*,/T20,1H*,3X*INDO*,T32,7H----> ,*FORMA DEL AREA CONTAMINA ANAL
6IZADA*,T120,1H* )
WRITE(3,50)
50 FORMAT( T20,1H*,3X,*UAB*,T32,7H----> ,*PERMITIVIDAD DEL M
1ATERIAL DEL AISLADOR*,T120,1H*,/,
2T20,1H*,3X*UPV*,T32,7H----> ,*PERMITIVIDAD DE CAPA DE VIDRIO*,T12
30,1H*/T20,1H*,3X*UCT*,T32,7H----> ,*PERMITIVIDAD DE LOS MATERIALE
4S CONTAMINANTES*,T120,1H* )
WRITE(3,60)
60 FORMAT( T20,1H*,3X*COND*,T32,7H----> ,*CONDUCTIVIDAD DEL
1 AISLADOR*,T120,1H*/T20,1H*,3X*CONDC*,T32,7H----> ,*CONDUCTIVIDAD
2 DEL CONTAMINANTE*,T120,1H*,/T20,1H*,3X*DELL*,T32,7H----> ,*RELAC
3ION DE DIMENSION DEL AISLADOR*,T120,1H*,/
4T20,1H*,3X*ALFA*,T32,7H----> ,*FACTOR DE ACELERACION*,T120,1H*,/
5T20,1H*,3X*IX *,T32,7H----> ,*COORDENADA X DE INICIO DE AREA CONT
6AMINADA ANALIZADA*,T120,1H* )
WRITE(3,70)
70 FORMAT(T20,1H*,3X*JY *,T32,7H----> ,*COORDENADA Y DE INICIO DE AR
1EA CONTAMINADA ANALIZADA*,T120,1H*,/,
2T20,1H*,3X*I92*,T32,7H----> ,*COORDENADA X DE FIN DE AREA CONTAMI
3NADA ANALIZADA*,T120,1H*,/,
4T20,1H*,3X*J92*,T32,7H----> ,*COORDENADA Y DE FIN DE AREA CONTAMI
5NADA ANALIZADA*,T120,1H* )
WRITE(3,80)
80 FORMAT(T20,1H*,3X*IZ,JZ*,T32,7H----> ,*BARREN LA MATRIZ BUSCANDO
1AREAS PELIGROSAS(INDICES)*,T120,1H*,/,
2T20,1H*,3X*NPV*,T32,7H----> ,*INDICA SI SE ESTA EL AISLADOR COMPL
3ETO O UN AREA PELIGROSA *,T120,1H*,/
4T20,1H*,3X*U*,T32,7H----> ,*ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS INICIA
5LES DE POTENCIALES DEL AISLADOR *,T120,1H* )
WRITE(3,90)
90 FORMAT(T20,1H*,3X*V*,T32,7H----> ,*ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS
1 FINALES DE POTENCIALES DEL AISLADOR *,T120,1H*,/
2T20,1H*,3X,*Z*,T32,7H----> ,*VALOR DE DIFERENCIA DE POTENCIAL COV
3SIDERADO PELIGROSO*,T120,1H*,/,
4T20,1H*,3X*DIB*,T32,7H----> ,*ARREGLO QUE ALMACENA LOS CARACTERES
5 EQUIPOTENCIALES DEL AISLADOR *,T120,1H* )
WRITE(3,100)
100 FORMAT(T20,1H*,3X*E*,T32,7H----> ,*ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS

```

```

1 DE CAMPO ELECTRICO DEL AISLADOR                                ',T120,1H*,/
2T20,1H*,3X'D',T32,7H---->  ',ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS DE DEV
3SIDAD DE CORRIENTE DEL AISLADOR                                ',T120,1H*,/
4T20,1H*,3X'P',T32,7H---->  ',ARREGLO QUE ALMACENA LOS DATOS DE PER
5DIDAS POR UNIDAD DE VOLUMEN                                    ',T120,1H* )
WRITE(3,110)

```

```

110 FORMAT(T20,1H*,T39,'EN EL AISLADOR                            ',T120,1H*,/
1T20,1H*,3X,'ITERAT',T32,7H---->  ',INDICA EL NUMERO DE ITERACIONES
2 QUE SE EMPLEARON HASTA LLEGAR A LA SOLUCION                    ',T120,1H*,/
3T20,1H*,3X'CONV',T32,7H---->  ',FACTOR DE CONVERGENCIA',T120,1H*,/
4T20,1H*,3X'NMIT',T32,7H---->  ',NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES',T120
5,1H*,/T20,1H*,3X,'FN',T32,7H---->  ',FRECUENCIA NOMINAL',T120,1H*,
6/T20,1H*,3X,'FP',T32,7H---->  ',FRECUENCIA PARA EL ANALISIS DEL AR
7EA CONTAMINADA',T120,1H*,/T20,101(1H*))
RETURN
END

```

```

C -----
SUBROUTINE VALCON(MAX,IX ,JY ,CONV,ALFA,INDI,INDO,Z)

```

```

C -----
COMMON /T2/ U(033,033)
DIMENSION IU (033,033)
NUM = 0
DO 10 I=1,MAX
DO 10 J=1,MAX
IF(U(I,J).LT.0.OR.U(I,J).GT.100.) WRITE(3,30) I,J,U(I,J)
IF(U(I,J).LT.0.OR.U(I,J).GT.100.) NUM = NUM + 1
10 CONTINUE
IF(MAX.GT.33.OR.IX .GT.33.OR.JY .GT.33) WRITE(3,40)
IF(MAX.GT.33.OR.IX .GT.33.OR.JY .GT.33) NUM = NUM + 1
IF((INDO.GT.8.AND.INDO.LE.1).OR.(INDI.GT.8.AND.INDI.LE.0))
1 CALL ERROR1 (NUM,INDO,INDI)
IF(ALFA.LT.1..OR.ALFA.GT.2.) WRITE(3,60)
IF(ALFA.LT.1..OR.ALFA.GT.2.) NUM = NUM + 1
IF(Z.LE.0..OR.Z.GT.100.) WRITE(3,70)
IF(Z.LE.0..OR.Z.GT.100.) NUM = NUM + 1
IF(CONV.GT.0.01.AND.CONV.LE.0.0001) WRITE(3,80)
IF(CONV.GT.0.01.AND.CONV.LE.0.0001) NUM = NUM + 1
WRITE(3,20) NUM
IF(NUM.GT.0) CALL EXIT
RETURN
20 FORMAT(//120(1H=),/,T20,'ESTE PROGRAMA TIENE [',I4,'] ERRORES EN S
1US DATOS',/,120(1H=),/)
30 FORMAT(/T20,'ERROR EN MATRIZ POTENCIAL(DATOS), FUERA DE LIMITE',
1/T20,'COORDENADAS (',2I4,') Y SU VALOR ES =',F13.1)
40 FORMAT(/'DATOS DE MAX,IX ,JY FUERA DE LIMITES')
50 FORMAT(/T20,'VALORES DE INDO Y INDI (FUERA DE LIMITES)')
60 FORMAT(/T20,'EL FACTOR DE ACELERACION ESTA FUERA DEL INTERVALO GAR
1ANTIZADO')
70 FORMAT(/T20,'VALOR DE "Z" NO PUEDE SER MAYOR DE 100')
80 FORMAT(/T20,'VALOR QUE TIENE CONV NO GARANTIZA SOLUCION EXACTA')
END

```

```

C -----
SUBROUTINE ERROR1 (NUM,INDO,INDI)

```

```

C -----
NUM = NUM + 1
WRITE(3,10) INDO,INDI

```

```
10 RETURN  
FORMAT(/T20,'VALORES DE INDO Y INDI (FUERA DE LIMITES)',218)  
END
```

A N E X O B

MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DIGITAL

B.1. TITULO: "ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ELECTRICO DE LOS AISLADORES"

B.2. OBJETIVO: El programa tiene por objetivo determinar las matrices de: potencial, líneas equipotenciales, campo eléctrico, densidad de corriente, potencia de pérdida por unidad de volumen. Además analiza la existencia de áreas peligrosas en el aislador y simula una área contaminada.

B.3. VARIABLES UTILIZADAS: A continuación se detallan las variables de entrada y salida, características, forma de proporcionar los datos (esquemas de datos) del programa digital.

B.3.1. VARIABLES DE ENTRADA

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
MAX	I10	Número que dimensiona la matriz cuadrada donde se representa al aislador. Puede ser: 9, 17, 33, ... Aquí en todos los ejemplos se utiliza 33.
ALFA	F10.4	Es el factor de aceleración que se utiliza en el método de solución de Diferencias finitas

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
EPSI CONV	F10.6	tas. Este valor debe estar dentro los siguientes límites: $1 < \text{ALFA} < 2$ para asegurar convergencia del método. Para la tesis se utilizó el valor de 1.532, experimentalmente, el más óptimo, pero varía según el problema. Criterio de convergencia para el cálculo del potencial. Se recomienda $0.0001 < \text{CONV} < 0.1$ dependiendo del valor de MAX. <i>de la convergencia de la matriz</i>
MAX NMIT	I10	Es el número máximo de iteraciones a utilizarse en la solución de la matriz de potencial.
FN	I10	Frecuencia en Hz a la que normalmente trabaja el aislador.
INDI	I3	Indice con el cual se selecciona el tipo de aislador a analizarse, según sea: 1 → Pasamuros construido en la EPN. 2 → Aislador tipo espiga clase 55-4 3 → Aislador tipo rollo clase 53-1 (mitad) 4 → Aislador tipo rollo clase 53-1 (mitad recorrida) 5 → Aislador tipo espiga clase 56-1 (mitad) 6 → Aislador tipo suspensión clase 52-4 7 → Aislador tipo rollo 53-2 8 → Aislador tipo suspensión clase 52-4 (mitad)
VOLT	I10	Es el voltaje nominal para el cual es diseñado el aislador. Este valor debe proporcio-

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
		narse en voltios dividido para 100.
COND	F12.8	Conductividad del material aislador en ν/m .
DELL x	F12.8	Es el valor en metros que representa cada <u>es</u> pacio de la matriz.
E UAB	F10.4	Permitividad relativa del aislador, este va- lor es adimensional.
Z x	F10.4	Diferencia de potencial considerado peligr- oso en porcentaje.
INDO x	I3	Indice con el cual se selecciona la forma del área contaminada, según sea: 1 → Perfil vertical izquierdo 2 → Perfil vertical derecho 3 → Perfil horizontal inferior 4 → Perfil horizontal superior 5 → Perfil diagonal izquierdo inferior 6 → Perfil diagonal derecho inferior 7 → Perfil diagonal izquierdo superior 8 → Perfil diagonal derecho superior
UCT x	F10.4	Permitividad relativa del material contami- nante.
UPV x	F10.4	Permitividad relativa de la película de vi- drio que está revistiendo al material aisla- dor.
FP y	I10	Frecuencia en Hz a la que se analiza el efec- to del contaminante en el aislador.
IX y	I10	Coordenada X de inicio del área contaminada analizada.

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
JY X	I10	Coordenada Y de inicio del área contaminada.
U ✓	F4.1	Son los datos iniciales de la matriz de potencial. Si la matriz tiene dimensión 33x33 se necesitan 179 datos, de los cuales 130 son de contorno y 49 interiores para iniciar el cálculo iterativo de potencial (para reducir el número de iteraciones).

lata

DELX

relacion de dimension

B.3.2. VARIABLES DE SALIDA

Para la salida del programa que comprende: potencial, líneas equipotenciales, campo eléctrico, densidad de corriente, potencia de pérdida por unidad de volumen; en el aislador, en áreas peligrosas y áreas contaminadas. Se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
ITERAT IT	I3	Número de iteraciones en las cuales converge el potencial final del aislador.
V(I,J) U(I,J)	I3	Cada valor de la matriz de potencial final, estos valores están en porcentaje. Solo para la impresión por falta de espacio se despreja la parte decimal de cada valor.
XXX(I) X M(I,J)	F6.2	Valor que representa cada carácter alfanumérico en el dibujo de las líneas equipotenciales que contiene el vector XXX.
DIB(I,J) X	A3	Cada valor de la matriz de equipotenciales representado por un carácter alfanumérico.

SIMBOLO	FORMATO	DESCRIPCION
E(I,J) ✓	I3	Los valores de la matriz de campo eléctrico en V/m.
D(I,J) ✗	I3	Los valores de la densidad de corriente en Amp/m ² .
P(I,J) ✗	I3	Los valores de la potencia de pérdida por unidad de volumen en W/m ³ .
V(I,S)		Valores del potencial eléctrico en V.

B.4. FORMA DE PROPORCIONAR LOS DATOS

Para el cálculo de cualquier problema, se debe introducir todos los datos indicados en las variables de entrada.

10 No requiere de ninguna información extra ni de tarjetas en blanco, ya que el título pone el programa solo.

Los datos generales para el análisis, se introducen en una sola tarjeta: MAX, ALFA, CONV, NMIT, FN.

✗ El dato que corresponde a la variable INDI, se introduce en una sola tarjeta.

Y Los datos característicos del aislador analizado, se introducen en una sola tarjeta: VOLT, COND, DELL, UAB.

✗ El dato que corresponde a la variable Z, se introduce en una sola tarjeta.

Los datos característicos para el análisis del área contaminada, se introducen en una sola tarjeta: INDO, CONDC, UPV, UCT, FP, IX, JY.

Los datos iniciales de la matriz de potencial en once tarjetas, repartidos de la siguiente manera:

Las dos primeras tarjetas contienen 33 valores de potencial correspondientes a $I = 1$ y la variación de J desde 1 hasta 33.

Las dos siguientes tarjetas contienen 33 valores de potencial correspondientes a $I = 33$ y la variación de J desde 1 hasta 33.

Las dos siguientes tarjetas contienen 31 valores de potencial correspondientes a $J = 1$ y la variación de I desde 2 hasta 32.

Las dos siguientes tarjetas contienen 31 valores de potencial correspondientes a $J = 33$ y la variación de I desde 2 hasta 32.

Las tres siguientes tarjetas contienen 49 valores de potencial correspondientes a las variaciones de I y J desde 5 hasta 29 saltando 4, primero varía J y luego I . Estos datos se requieren para comenzar el cálculo iterativo del potencial.

Los datos que dan la forma al conductor que soportará el aislador, se introducen los que se sean necesarios haciendo leer las variables I , J y U que direccionan y modelan al conductor.

A continuación se presenta el esquema de entrada de datos y los esquemas que indican la forma de utilizar el programa grabado en disco y en cinta.

Esquema N° 1.- Forma de proporcionar los datos.

Esquema N° 2.- Forma de utilizar el programa grabado en disco.

Esquema N° 3.- Forma de utilizar el programa grabado en cinta.

NOMBRE DEL PROGRAMA ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ELECTRICO DE LOS AISLADORES

Programador: RENE A. CORREA PROAÑO Fecha: MARZO 1984 Hoja No. 1 de 1

	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1	2345678901	2345678901	2345678901	2345678901	2345678901	2345678901	2345678901	2345678901
				ESQUEMA	No. 2			
-	TARJETAS DE CONTROL PARA UTILIZAR EL PROGRAMA CON DISCO							
//	JOB	nombre	cuenta					
//	DLBL	1JSYSL	PROGRAMAS	DE	ELECTRICA'			
	ASSGN	SYSL	X'160'					
//	EXEC	ELEA	ISL					
	} Datos							
/ *								
/ 8								
		ASSGN	SYSLB,UA					
x		\$\$	EOJ					

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Jackson, J. D., "CLASSICAL ELECTRODINAMICS", John Wiley and Sons, New York, 1962.
- 2.- Binns y Lawrenson, "ANALISIS AND COMPUTATION OF ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD PROBLEMS", Pergamon Press, New York, 1973 2nd Ed.
- 3.- Hayt, W. H. Jr, "ENGINEERING ELECTROMAGNETICS", McGraw-Hill Book Company, New York, 1967.
- 4.- Seely, "ELECTROMAGNETICS FIELDS", McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.
- 5.- Ayora Paul, "NOTAS SOBRE ALTO VOLTAJE I", E.P.N., Quito, 1982
- 6.- Clark, Frank M., "INSULATING MATERIALS FOR DESIGN AND ENGINEERING PRACTICE", John Wiley and Sons, New York, 1962.
- 7.- Singer Félix y Singer Sonja S., "CERAMICA INDUSTRIAL", Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo 9, Vol. I, Urmo S. A., Bilbao, 1976.
- 8.- Granja A.M., "ESTUDIO DEL METODO DE MOLDEO PARA LA FABRICA-

CIÓN DE AISLADORES ELECTRICOS, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Químico, E.P.N., Quito, 1979.

- 9.- Norton F. H., "CERAMICA PARA EL ARTISTA ALFARERO", Cecsca, México, 1976.
- 10.- American National Standard, "WET-PROCESS PORCELAIN INSULATORS (SPOOL TYPE)", ANSI C29.3, New York, 1980.
- 11.- American National Standard, "WET-PROCESS PORCELAIN AND TOUGHENED GLASS INSULATORS (SUSPENSION TYPE)", ANSI C29-2, New York, 1977.
- 12.- Singer Félix y Singer Sonja S., "CERAMICA INDUSTRIAL", Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo 11, Vol. III, Urno S.A., Bilbao, 1976.
- 13.- American National Standard, "WET-PROCESS PORCELAIN INSULATORS (LOW-AND MEDIUM-VOLTAGE TYPES)", ANSI C29.5, New York, 1977.
- 14.- Torres M., "PROTOTIPO DE UNA CAMARA DE NIEBLA", Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, E.P.N. Quito, 1980.
- 15.- Norton F.H., "CERAMICA FINA, TECNOLOGIA Y APLICACIONES", Ediciones Omega S.A., Barcelona-España, 1975.