

PROGRAMA DIGITAL PARA DETERMINAR LA RADIO INTERFERENCIA  
DE LINEAS DE TRANSMISION

J.M. Cabrera  
Escuela Politécnica Nacional

Orbe, Patricio  
Prof. Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN. -

La Radio Interferencia (RI) producida por una línea de transmisión se caracteriza por ser esencialmente inestable. La principal causa de esta inestabilidad es el estado superficial de los conductores por lo que la predicción exacta de los campos de interferencia, es ideal.

En este trabajo se toma al nivel de RI en condiciones de lluvia fuertes, como un nivel característico, ya que en estas condiciones, además de ser estable y reproducible, este nivel es el valor máximo que se puede generar.

Se introduce luego el concepto de la "Función de Excitación", un parámetro que hace posible caracterizar al nivel intrínseco de interferencia de un conductor o de haces de conductores, independientemente de la geometría de la línea.

Aprovechando la propiedad de reproducibilidad en condiciones de lluvia fuerte se ha determinado experimentalmente Funciones de Excitación básicas de un gran número de conductores o haces de conductores de varias geometrías en función del gradiente superficial, lográndose obtener un gráfico universal, aplicable a cualquier línea de transmisión.

Establecida la Función de Excitación, se procede al cálculo del rango de RI, determinándose su perfil lateral. El método de cálculo respecto a este último punto presenta algunas innovaciones con relación a otras publicaciones<sup>3</sup>, como es el análisis complejo de valores y vectores característicos, incluyendo el efecto de conductividad de tierra, y el uso de un nuevo método para tratar la relación de fases entre los campos modales de interferencia<sup>5</sup>.

1. INTRODUCCION. -

El campo electromagnético de interferencia de una línea de alto voltaje depende de muchos parámetros. Algunos están relacionados con las características geométricas como son las dimensiones de la línea, su posición en el espacio y el gradiente eléctrico en la superficie de los conductores. Estos parámetros pueden ser determinados con precisión y se los puede usar para desarrollar métodos de cálculo del nivel de interferencia. Sin embargo, otro tipo de parámetros, tales como es estado de la superficie de los conductores y las condiciones climáticas, dependen básicamente del medio ambiente. La influencia de este tipo de parámetros es difícil de estimar. En efecto, el estado superficial de los conductores es prácticamente imposible de medir.

Debido a la existencia de este segundo tipo de parámetros el nivel de interferencia en tiempo seco es esencialmente inestable y fluctuante. La polución atmosférica, partículas vegetales y aún insectos que se adhieren a los conductores, incrementan el número de pequeñas descargas y consecuentemente el nivel de interferencia, el que entonces se vuelve inestable.

Por otro lado, se ha encontrado<sup>2</sup> que en condiciones de lluvia fuerte el nivel de interferencia se vuelve estable y definido, por lo que a este nivel se lo considera como un valor característico de una línea de transmisión ya que además constituye el máximo nivel que puede ser generado.

## 2. LISTA DE SÍMBOLOS

C	Matriz de capacitancia de la línea por unidad de longitud (F/m).
$e_k$	densidad generada de campo del modo k ( $v \cdot m^{-3/2}$ ).
F	Matriz diagonal de la función de excitación ( $A/m^{1/2}$ )
FCM	Factor de campo modal del modo M (1/m)
i	Matriz de densidad de corriente de radio interferencia inyectada ( $A \times m^{-1/2}$ )
Le	Matriz de matriz de transformación para voltajes
Y	Matriz de matriz cuadrada de admitancias ( $\Omega$ )
Z	Matriz de matriz cuadrada de impedancias ( $\Omega$ )
Zc	Matriz de impedancia característica ( $\Omega$ )
$\alpha_k$	Constante de atenuación del modo k (1/m)
$\epsilon$	Constante dieléctrica del aire (F/m)

## 3. BOSQUEJO GENERAL DE LA DETERMINACION DE LA RADIO INTERFERENCIA

Una vista general de los pasos a seguirse para determinar la RI de una línea de transmisión se muestra en la Fig. 1. Los rectángulos superiores contienen los datos de entrada necesarios y los siguientes, las operaciones matemáticas correspondientes. En verdad, el establecer la generación de interferencia constituye el paso central, el cual está basado en experimentos. Sin embargo, como muestra el diagrama, la aplicación de conceptos teóricos y métodos analíticos proporcionan un aprovechamiento económico de los experimentos básicos realizados.

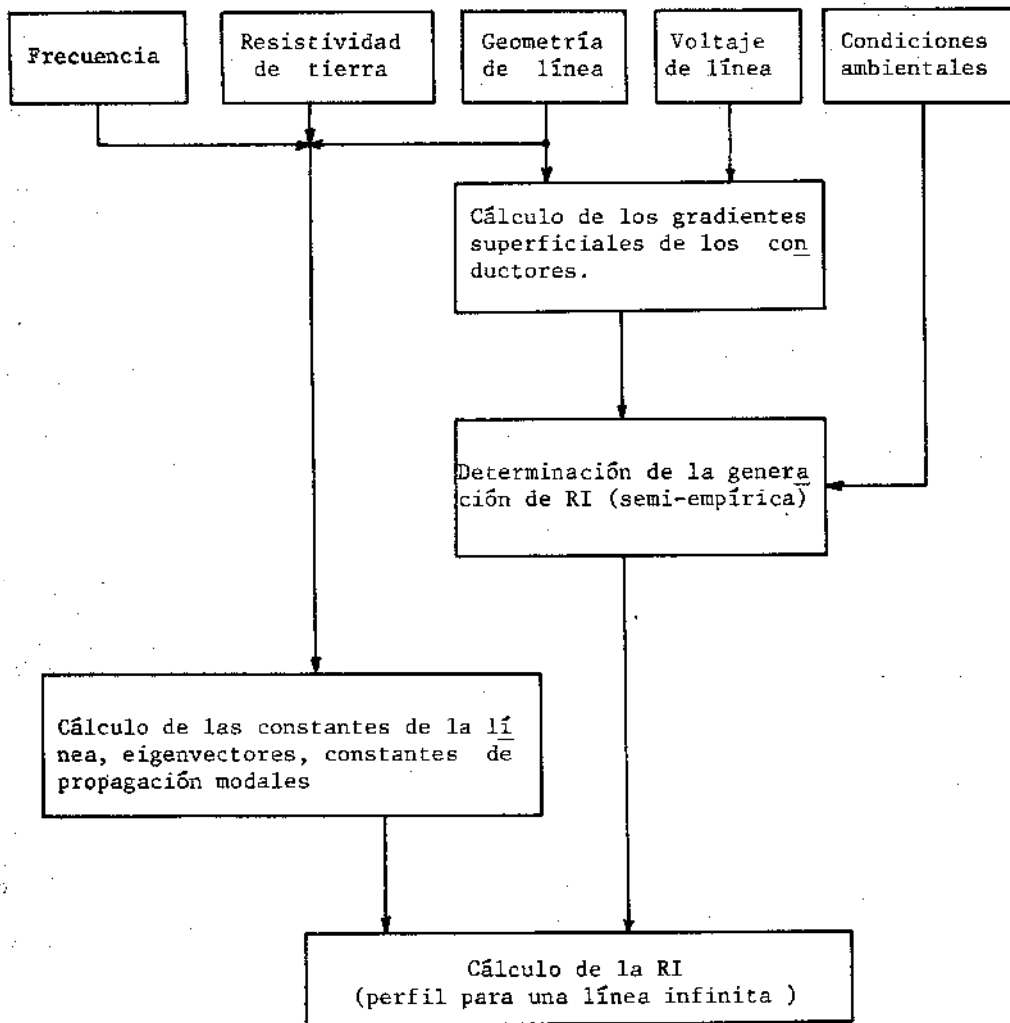


Fig. 1. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL CALCULO DE LA RADIO INTERFERENCIA

#### 4. GENERACION DE LA RADIO INTERFERENCIA

Las descargas eléctricas que originan la interferencia están limitadas a la vecindad de los conductores por lo que es lógico asumir una generación de RI que depende solamente del campo eléctrico a su alrededor, o más prácticamente de su gradiente superficial.

En la radio, solamente es efectiva una pequeña parte del espectro de frecuencias, por lo que las medidas de radio interferencia son limitadas a un pequeño ancho de banda. Para muchos propósitos analíticos, basta con considerar una determinada frecuencia (0.5 MHz por ejemplo).

Con estos antecedentes se definió la generación de R.I. en términos de la "Función de Excitación" F. El circuito de admitancias que determina el flujo de corriente de R.I. está formado básicamente de las capacitancias entre conductores y la superficie de tierra. Para un conductor cilíndrico con una distribución uniforme de corona, la corriente de RI  $|i|$  originada por una Función de Excitación dada, se expresa mediante la ecuación (1).

$$|i| = \frac{|C|}{2\pi\epsilon} \times F \quad (1)$$

La notación matricial tiene por objeto considerar líneas con varios conductores. Con líneas infinitas, la mitad de la corriente inyectada fluye en cada dirección y no es necesario considerar reflexiones. Esta condición se tiene si la sección considerada está alejada al menos 10 millas de un punto terminal.

#### 5. PRINCIPIO DE CALCULO DE LA R.I.-

Se asume que el nivel de R.I. a nivel de tierra es originado por la corriente de R.I. total de los conductores considerados en la sección transversal. Esta corriente está compuesta por contribuciones de un gran número de fuentes localizadas a distintas distancias. Por esta razón, una parte importante en el cálculo RI es el análisis de la propagación de señales de alta frecuencia a lo largo de una línea.

Para el análisis polifásico es necesario el uso de componentes. Las componentes simétricas no son prácticas por las altas frecuencias consideradas donde no se puede despreñar la asimetría, pero las "componentes modales" son las adecuadas para este caso.

##### 5.1. ECUACIONES BASICAS.-

El primer paso para el análisis de propagación a lo largo de líneas de transmisión, es establecer las matrices de impedancia longitudinal y admitancia shunt, incluyendo el efecto de conductividad de tierra y la resistencia de los conductores para altas frecuencias. Posteriormente se determinan las matrices que transforman corrientes y voltajes en componentes de fase, a componentes modales, o viceversa<sup>b</sup>. Estas matrices son llamadas "modales" y están constituidos por los vectores característicos del producto  $|Y||Z|$  o  $|Z||Y|$ , respectivamente.

Paralelamente se puede determinar las constantes de propagación modales, de los valores característicos<sup>6</sup> del producto  $|Z||Y|$ , obteniéndose así las herramientas necesarias para el calculo de la R.I.

Por último se define al término "Factor de campo modal"  $F_C$  como un campo electrostático originado por un voltaje unitario de un modo en consideración con el resto de voltajes modales iguales a cero al mismo tiempo<sup>1</sup>, y si se integra conjuntamente con la impedancia característica de la línea y la matriz modal  $|Le|$  del producto  $|Z||Y|$ , de la ecuación (1) se obtiene la densidad de campo modal generada<sup>1</sup>:

$$|e_M| = \frac{1}{2} F_{CM} |Le|^{-1} |Z_c| |A|^{-1} \quad (2)$$

$$\text{con } A_{ii} = \ln\left(\frac{2h_i}{R_{eq}}\right) \quad A_{ij} = \ln\left(\frac{D_{ij}}{d_{ij}}\right)$$

donde:  $h_i$  = altura sobre tierra del conductor  $i$

$R_{eq}$  = radio equivalente del conductor  $i$

$D_{ij}$  = espaciamiento entre el conductor  $i$  y la imagen del conductor  $j$ .

$d_{ij}$  = espaciamiento entre el conductor  $i$  y el conductor  $j$ .

Hasta aquí, el análisis no incluye el efecto de la propagación.  $|e_M|$  es el campo electrostático modal de interferencia a una distancia lateral viajando en una dirección, generado por unidad de longitud con una función de excitación unitaria en cada fase. Las contribuciones de las fases están separadas en  $|e_M|$ . La propagación y el sumatorio de las contribuciones de toda la línea en términos de las componentes modales, así como la recombinación de los modos se trata con detalle en la referencia<sup>5</sup>. Se ha tomado la ecuación 26 en esta referencia, obteniéndose  $|E_u^2|^T$  que representa el cuadrado del campo de interferencia en el punto de medida para una función de excitación unitaria en cada fase. Los elementos de la matriz fila  $|E_u^2|^T$  deben ser multiplicados por las correspondientes funciones de excitación a fin de obtener los campos reales (Ecuación (4)).

$$|E_u^2|^T = \sum_{k=1}^M \sum_{\ell=1}^M \left[ \text{Real } |e_k| \cdot \text{Real } |e_\ell| \frac{\alpha_k + \alpha_\ell}{\alpha_k^2 + \alpha_\ell^2} \right]^T \quad (3)$$

$$|E^2|^T = |E_u^2|^T F^2 \quad (4)$$

La manera más adecuada de sumar las contribuciones de cada fase depende de las características del detector del receptor utilizado. Sin tener información específica sobre este punto, es razonable simplemente sumar las fuerzas de R.I. generadas por fase. Esto se lo hace en la ecuación (5).

$$E^2 = |E^2|^T |1| \quad (5)$$

donde  $|1|$  es una matriz columna con tres o seis elementos unitarios, dependiendo si se trata de simples o dobles circuitos.

#### 6. PROGRAMA DEL COMPUTADOR.-

De una manera general, el diagrama de bloques de la fig. 1. fue programado en FORTRAN para el computador IBM 370 de la Escuela Politécnica Nacional. Para el cálculo de las matrices admitancia e impedancia, se eliminan a los cables de guarda atribuyéndolos el potencial de tierra en cualquier punto. Una vez que se calcula la impedancia real de un haz, este es considerado como un solo conductor, con la impedancia del haz. Para el cálculo de la matriz admitancia se utiliza el concepto del radio "equivalente", esto es, el radio de un conductor simple con la misma capacitancia que el haz.

Una mayor información sobre el programa y el algoritmo utilizado, se encuentra en la referencia 7.

#### 7. REFERENCIAS

1. Juette G.W., et. al.: "Calculation of the radio interference statics of transmission lines", IEEE, T-PAS, Vol 91; pp 92 - 98, Jan/Feb 72.
2. Moreau, M.R. Gary C.H.: "Predetermination of the radio interference level of H.V. transmission lines", part. I: "Predetermination of the excitation function"; T - PAS, 72 Jan/Feb, 284 - 291.
3. Moreau M.R., Gary, C.H.: "Predetermination of the radio interference level of H.V. transmission lines", Part. II: "Field calculation method", T - PAS, 72 Jan/Feb 292 - 304.
4. Hedman, D.E.: "Propagation on overhead transmission lines", IEEE, T-PAS, Vol. 84, pp 200 - 211, March 1965.
5. Juette, G.W., Roe, G.M.: "Model components in multiphase transmission - line radio noise analysis". IEEE, T - PAS, Vol 90, No. 2, March/April 1970.
6. De Russo, C.R.: "State variables for Engineers", John Witer & Sons Inc, Troy, N.Y., July 1965.
7. Cabrera J.M.: "Programación digital para determinar la radio interferencia de líneas de transmisión", Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, Abril 1980.