

5 323817
24



UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U. N. A. M.

DISEÑO DE UNA ANTENA INDEPENDIENTE DE FRECUENCIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
P R E S E N T A

JUAN CARLOS GONZALEZ ACEVES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	<u>Pag.</u>
OBJETIVO Y JUSTIFICACION.	I
CAPITULO.	
I. PARAMETROS DE LA ANTENA.	1
1.1. RESISTENCIA DE RADIACION.	2
1.2. PATRON DE RADIACION.	10
1.2.1. Radiador Isotrópico.	10
1.2.2. Intensidad de Radiación.	13
1.3. DIRECTIVIDAD.	16
1.4. GANANCIA.	17
1.5. AREAS DE ANTENA.	19
1.5.1. Area Efectiva.	21
1.6. LONGITUD EFECTIVA.	26
1.7. TIERRAS.	28
1.7.1. Teoría Imagen.	29
1.8. ALTURAS.	31
II. ARREGLOS DE ANTENAS.	33
2.1. ARREGLOS ACTIVOS.	35
2.1.1. Lineal.	35
2.1.2. Lados Amplios.	36
2.1.3. Lados Vivos.	36
2.2. ARREGLOS PARASITOS (YAGI).	38
2.2.1. Area de Dispersión.	38
III. ANTENAS INDEPENDIENTES DE FRECUENCIA.	42
3.1.1. Antena Sencilla de Dos Bandas.	43
3.1.2. Arreglo de Dos Bandas Yagi con Stub de Sintonía.	44
3.1.3. Antenas Logarítmicas Periódicas.	45

CAFITULO.	<u>Pag.</u>
IV. DISEÑO.	49
4.1. ACOPLAMIENTO.	50
4.2. NUMERO DE ELEMENTOS.	54
4.3. RELACION DE LONGITUD A DIAMETRO.	58
4.4. LINEA DE ALIMENTACION DE ELEMENTOS.	59
4.5. PROGRAMA DE CALCULO.	61
4.6. PATRON DE RADIACION.	71
V. CONSTRUCCION Y MEDICIONES.	81
5.1. SELECCION DEL MATERIAL.	82
5.2. CONSTRUCCION.	86
5.3. MEDICIONES.	90
5.3.1. Patrón de Radiación.	90
5.3.2. Impedancia.	94
5.3.3. Relación de Onda Estacionaria.	95
VI. ASPECTO ECONOMICO.	98
VII. CONCLUSIONES.	101
APENDICE A.	103
APENDICE B.	105
BIBLIOGRAFIA.	109

OBJETIVO Y JUSTIFICACION

El ser humano se ha comunicado siempre con sus semejantes a través del espacio libre existente; al principio lo hizo por medio de las ondas sonoras que son audibles, luego pasó a las ondas electromagnéticas del espectro visible y en su incesante afán por comunicarse ha llegado a la región del espectro electromagnético; lo cual ha llevado a la fundamentación teórica de las antenas que se basa en lo hecho por un gran hombre, James Clerk Maxwell (1831 - 1879) que en 1864 presentó ante la Real Sociedad sus resultados que mostraban que la luz y las ondas electromagnéticas son un sólo fenómeno físico. En el año 1886 Heinrich - Hertz, verificó experimentalmente el hecho de acciones electromagnéticas son propagadas a través del medio ambiente.

Esto nos lleva a estudiar el por qué de la antena y no sólo como funciona, además desarrollaremos un arreglo con sus consideraciones de diseño que es la independencia de la frecuencia; y se harán las mediciones del diseño para justificar su eficiencia.

Con este diseño se pretende colaborar al desarrollo y motivación de futuros proyectos que podrán ser utilizados en los sistemas de radiación usados en el país, presentando la teoría y su aplicación para la selección y el diseño práctico de antenas más eficientes.

Para este trabajo se plantea una antena independiente de frecuencia, aunque en la realidad se aceptará esta independencia en una anchura de banda.

Se pretende sacar el máximo provecho de la antena por lo que debido a que la mayoría de los transmisores no trabajan en todas las frecuencias si se pueden utilizar en estaciones con equipo multibanda o en receptores muy alejados de las estaciones transmisoras.

Lo más importante es tratar de desarrollar nuestra tecnología a partir de la teoría existente, por lo que se hará una exposición de ésta para lograr una mejor comprensión del funcionamiento de una antena, de qué depende éste, como radia y su comportamiento real.

Siguiendo estos lineamientos se pretende establecer las bases y criterios que sean útiles para futuros diseños.

CAPITULO I
PARAMETROS
DE LA
ANTENA

C A P I T U L O I

Antena es el dispositivo de acoplamiento entre una onda electromagnética guiada a la onda electromagnética en el medio ambiente.

Para conocer el funcionamiento de la antena, es necesario conocer sus parámetros.

Los parámetros de la antena indican como se va a comportar ésta en el medio ambiente, siendo esto de la mayor importancia, ya que el conocer el comportamiento de la antena es muy significativo para comprenderla, estudiarla, analizarla e inclusive construirla.

Los parámetros nos describen el funcionamiento de la antena por lo cual es importante analizarlos, ya que al conocer los parámetros de un modo descriptivo se forma un criterio para la comprensión del comportamiento de la antena, siendo éstos:

1. Resistencia de radiación.
2. Patrón de Radiación.
3. Directividad.
4. Ganancia.
5. Areas de antena.
6. Longitud efectiva.

1.1. RESISTENCIA DE RADIACION.

Es necesario conocer la resistencia de radiación debido a que ésta nos indica que la antena puede emitir o recibir energía de la onda electromagnética del medio ambiente que la rodea.

La onda electromagnética está constituida por una intensidad de campo eléctrico y una intensidad de campo magnético \vec{E} y \vec{H} respectivamente, siendo estos función del tiempo.

Por medio del siguiente desarrollo se verificará la existencia de la resistencia de radiación en una antena. La existencia de una antena se basa en los siguientes principios:

Al ser la antena un conductor rodeado de un medio dieléctrico y utilizando la segunda condición de frontera para los campos eléctrico y magnético, nos dice que:

El componente tangencial de la intensidad de campo magnético \vec{H} es discontinua, pues en un medio conductor aparece una densidad de corriente superficial \vec{J}_s .

La segunda condición de frontera es de gran utilidad práctica, debido a que nos sirve para comprender la existencia de las antenas, tanto en transmisión como en recepción.

En las antenas receptoras, el componente de la intensidad de campo magnético \vec{H} de la onda electromagnética que se encuentra viajando en el medio dieléctrico (aire), incide en la antena receptora que es un

medio conductor, rodeándola, puesto que el campo magnético es una trayectoria cerrada, siendo en consecuencia tangente al medio conductor, como se muestra en la figura Núm. 1, originando así una densidad de corriente superficial \vec{J}_s .

La corriente superficial \vec{J}_s , al circular en el circuito receptor origina a su vez la señal en forma de potencial eléctrico, que se amplifica al nivel necesario para su procesamiento.

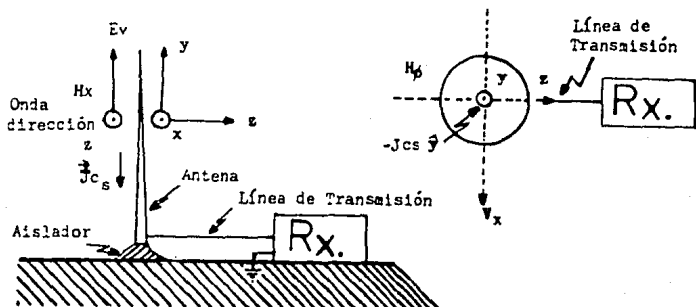


FIG. 1. Segunda condición de frontera aplicada a una antena receptora.

En las antenas transmisoras, la corriente de alta frecuencia enviada por el transmisor a través de la línea de transmisión al elemento radiador de la onda electromagnética (la antena transmisora), es como se muestra en la figura Núm 2.

Debido al efecto Piel (efecto Skin), la densidad de corriente J_c se transforma, en el medio conductor, debido a la alta frecuencia y a la alta conductividad del medio en una densidad de corriente superficial

\vec{J}_c , que es tangente al medio dieléctrico, originando en este una intensidad de campo magnético \vec{H} tangencial, que a su vez originará una intensidad de campo eléctrico \vec{E} , y la \vec{E} otra \vec{H} y así sucesivamente, formando en el dieléctrico una onda electromagnética.

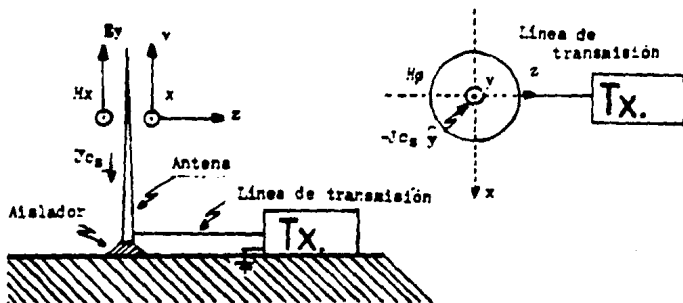


FIG. 2. Segunda condición de frontera aplicada a una antena transmisora.

Es muy importante conocer la distribución de carga y la distribución de corriente, ya que las cargas y las corrientes, producen potenciales eléctricos y magnéticos en el dieléctrico, que a su vez serán los causantes de los campos electromagnéticos, que siendo función del tiempo originarán la onda electromagnética. Las ecuaciones de los potenciales son:

$$V(\mathbf{r}', t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \oint_{V'} \frac{\rho(\mathbf{r}', t)}{R} dV' \quad V \quad 1.1.1$$

Ecuación que relaciona la distribución de carga eléctrica, originando un potencial eléctrico en el medio dieléctrico.

$$\vec{A}(\vec{r}, t) = \frac{1}{4\pi} \oint_{\text{vol}} \frac{\vec{J}(\vec{r}', t)}{R} dV' \quad T \quad 1.1.2$$

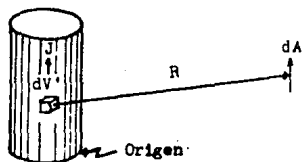


FIG. 3. Elemento constitutivo de los campos Eléctrico y Magnético.

El concepto del dipolo electrostático es extremadamente útil en la teoría del campo electromagnético y en la relación de las antenas, - en el cual dos cargas iguales y de magnitud opuesta " q " separadas por una distancia infinitesimal " dl " constituyen el dipolo electrostático, las componentes del dipolo electrostático quedan determinadas en coordenadas esféricas por las siguientes ecuaciones:

$$E_r = \frac{2 q l \cos \theta}{4 \pi \epsilon r^3} \quad 1.1.2$$

$$E_\theta = \frac{q l \sin \theta}{4 \pi \epsilon r^3} \quad 1.1.3$$

$$E_\phi = 0 \quad 1.1.4$$

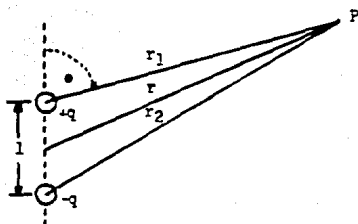


FIG. 4. Un dipolo electrostático

Las fuentes del campo electrostático son las distribuciones de carga y corriente que varían con el tiempo y así llegamos al dipolo oscilante o radiante. Utilizando la ecuación de la intensidad de campo radiante:

$$\vec{E} = -\text{Grad } V - \frac{d\vec{A}}{dt} \quad \text{V/M} \quad 1.1.5$$

y la definición del vector de potencial magnético.

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{Rot } \vec{A} \quad \text{A/M} \quad 1.1.6$$

Combinandolas se encuentran ecuaciones, que para resolverlas - hay que emplear el Teorema de Helmholtz y usando la Medida de Lorentz.

$$\text{Div } \vec{A} = -\mu \epsilon \frac{\partial V}{\partial t} \quad \text{T} \quad 1.1.7$$

se encuentran las ecuaciones de onda con su fuente incluídas, para

$\vec{A}(\vec{r}', t')$ y para $V(\vec{r}', t')$, que son:

$$\nabla^2 \vec{A} - \Delta \vec{A} = -\mu \vec{J}_c \quad 1.1.8$$

$$\nabla^2 V - \Delta V = -\frac{\rho}{\epsilon} \quad 1.1.9$$

La solución de estas ecuaciones será por medio de:

$$H_{\phi} = -\mu \operatorname{sen} \theta \frac{\partial \Delta Z}{\partial r} \text{ obteniéndose:}$$

$$E_{\theta} = \frac{I dl \operatorname{sen} \theta}{4 \pi \epsilon} \left\{ \frac{-\omega \operatorname{sen} \omega t'}{r v^2} + \frac{\cos \omega t'}{r^2 v} + \frac{\operatorname{sen} \omega t'}{\omega r^3} \right\} \quad 1.1.10$$

$$E_r = \frac{2 I dl \cos \theta}{4 \pi \epsilon} \left\{ \frac{\cos \omega t'}{r^2 v} + \frac{\operatorname{sen} \omega t'}{\omega r^3} \right\} \quad 1.1.11$$

$$E_{\phi} = \frac{I dl \operatorname{sen} \theta}{4 \pi} \left\{ \frac{-\operatorname{sen} \omega t'}{r v} + \frac{\cos \omega t'}{r^2} \right\} \quad 1.1.12$$

Es de algún modo sorprendente encontrar que algo aparentemente simple como un elemento de corriente nos guiará a un campo electromagnético complicado como se muestra en las ecuaciones anteriores, en ellas aparecen los siguientes elementos: $1/r^3$, $1/r^2$, $1/r$. que son parte de los divisores de los términos.

Siendo:

$1/r^3$ Indica el dipolo electrostático

$1/r^2$ Presenta el campo inductivo

$1/r$ Presenta el campo distante o radiación

Utilizando el vector de Poynting para encontrar el flujo total - por unidad de área en una superficie esférica se encontró que la potencia radiada en términos de corriente efectiva I_{ef} y sólo para los campos radiantes es la siguiente:

$$W_{\text{rad}} = 80 \pi^2 \left(\frac{1}{\lambda} \right) I_{ef}^2 \quad W \quad 1.1.13$$

El coeficiente de la corriente efectiva tiene dimensión de resistencia, ya que de la ley de Joule $W = I^2 R$ tendremos:

$$R_{\text{rad}} = 80\pi^2 \left(\frac{dl}{\lambda} \right)^2 \quad 1.1.14$$

se conoce con el nombre de resistencia de radiación del elemento de corriente.

Una vez conocida la relación entre resistencia de radiación y antena podemos definirla de la siguiente manera:

Es la resistencia equivalente que disiparía la misma potencia que radía la antena, cuando circula por ella, la misma corriente que circula por la antena..

Se ha notado, que es de interés máximo la corriente que tiene la antena. Al ser mayor la longitud de la antena en la práctica, aparecen los dipolos de media longitud de onda ($\lambda/2$), así como los monopolos de un cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$), en los que se supone una distribución de corriente exponencial.

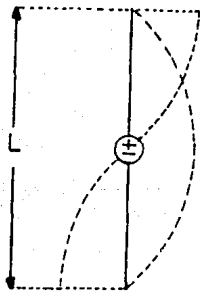


FIG. 5. Dipolo eléctrico oscilante.

Cabe mencionar que la resistencia de radiación de un dipolo de

de $\lambda/2$ es de 75Ω y la de un dipolo de $\lambda/4$ es de 37.5Ω .

1.2. PATRON DE RADIACION.

El patrón de radiación es una representación gráfica de la forma en que recibe ó radía una antena la onda electromagnética, pudiendo ser de potencia ó de intensidad de campo eléctrico.

1.2.1. RADIADOR ISOTROPICO.

En la práctica, la radiación de la antena nunca tiene la misma intensidad en todas las direcciones, ya que la intensidad de radiación puede ser cero en algunas direcciones (nodos) y en otras direcciones puede tener valores máximos.

Es conveniente tener en referencia una antena patrón, con una radiación uniforme en todas las direcciones, la cual no existe en la práctica y se le conoce con el nombre de "Radiador Isotrópico", siendo el patrón sólido de un radiador isotrópico una esfera, ya que su intensidad de campo eléctrico \vec{E} , en magnitud es igual en todas las direcciones, siendo el patrón de la antena isotrópica, desde cualquier plano, un círculo con una fuente puntual en el centro.

La antena isotrópica tiene el patrón de radiación más simple, esto es, no tiene directividad como se muestra en la siguiente figura.

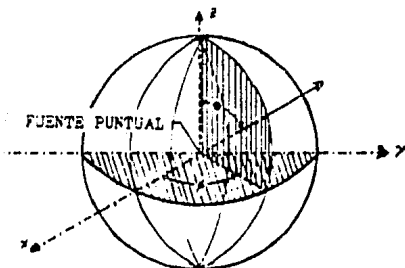


FIG. 6. Patrón de radiación de una fuente Puntual.

Para una antena en la práctica, en patrón de radiación (intensidad de campo o potencia radiada), se puede medir moviendo una sonda al rededor de la antena, a una distancia constante y se van tomando las lecturas como funciones de coordenadas angulares. La sonda se debe mantener en orientación de máxima recepción. Al moverse la sonda en una superficie esférica, la lectura de la tensión varía, por lo que se utilizan planos polares en los que la distancia al origen es proporcional a la intensidad de campo.

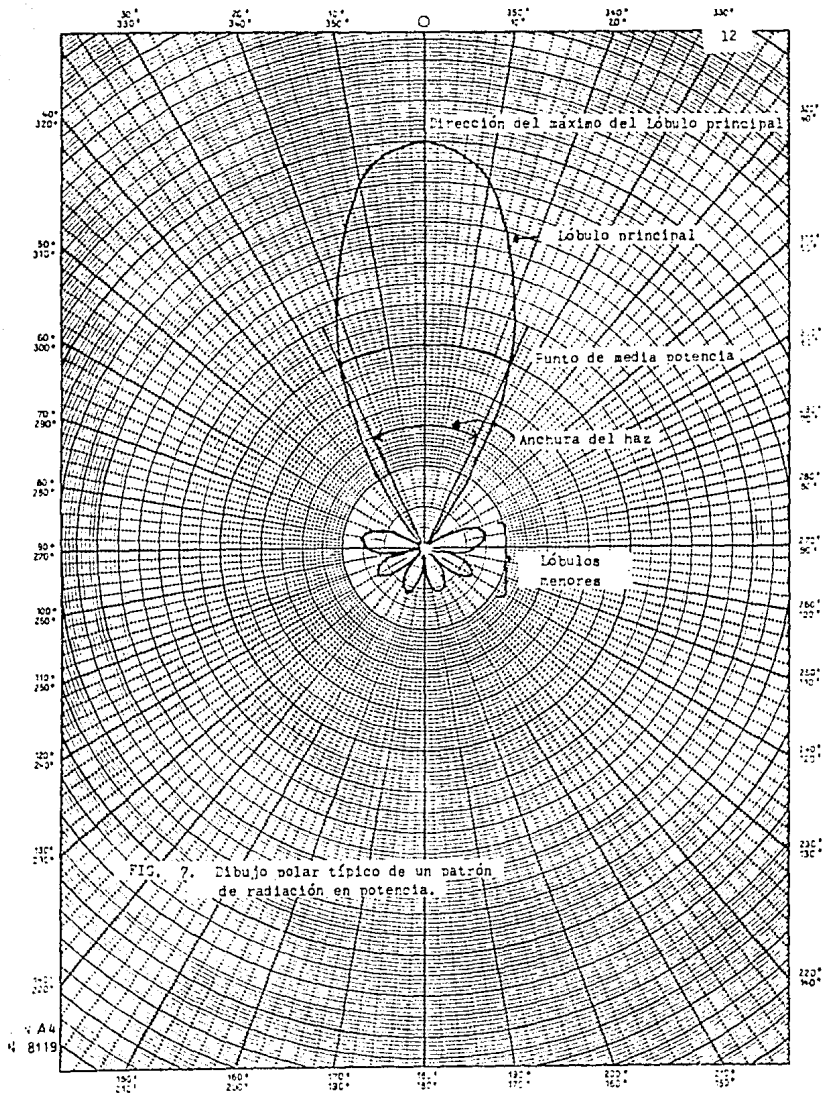
Los patrones de radiación se pueden calcular a partir del vector de potencial magnético si la distribución de corriente en la antena es conocida, con la condición de que no haya fuentes reflectoras.

El patrón de radiación de una antena es por lo general su requisito básico, debido a que determina la distribución espacial de la energía radiada.

Las características importantes del patrón de radiación se pueden especificar en los planos \vec{E} y \vec{H} . El plano \vec{E} es paralelo al vector de campo eléctrico y pasa a través de la antena en dirección del máximo del haz; el plano \vec{H} es perpendicular al plano \vec{E} y también pasa a través de la antena, en dirección del máximo del haz.

El ancho del haz en el plano principal del patrón de radiación, se define por: el ancho angular del patrón en un nivel que esté 3 dB por debajo del máximo del haz, ver figura Núm. 7.

El nivel del lóbulo lateral, se especifica en referencia al máximo del haz principal y se expresa por lo general en dB por debajo del haz principal. Como los lóbulos laterales no contribuyen a la principal dirección de interés, se desea que el nivel de los lóbulos laterales permanezcan razonablemente bajo.



1.2.2. INTENSIDAD DE RADIACION.

Para conocer los demas parámetros es necesario conocer la intensidad de radiación que se define como; la potencia radiada sobre unidad de ángulo sólido se expresa en watts radiados sobre unidad de ángulo sólido ya que la intensidad de radiación se obtiene multiplicando la densidad de potencia por la superficie de radio " r " en la cual se mide, dado por la siguiente ecuación.

$$U = \frac{Pr}{r^2} \quad 1.2.1$$

Siendo $\Omega = \int_{SUP} \sin \theta \, d\phi$ y utilizando el teorema de la potencia toma la siguiente forma.

$$W = \iiint U \sin \theta \, d\phi = \iiint U \, d\Omega \quad W \quad 1.2.2$$

siendo $d\Omega$ elemento del ángulo sólido igual a $\sin \theta \, d\phi$.

Se establece el teorema de potencia de la siguiente manera;

La potencia total radiada está dada por la integral de la intensidad de radiación U sobre un ángulo sólido Ω .

Como se muestra en la siguiente figura, la máxima intensidad de radiación está dada en dirección de $\theta = 0$. Un patrón de intensidad de radiación relativa está dada por U/U_m y tiene un valor máximo de la unidad; los patrones de intensidad de radiación y potencia relativos son iguales.



FIG. 8. Patrones de intensidad de radiación y potencia relativos.

Aplicando la ecuación 1.2.2. a una fuente isotrópica nos da:

$$W_0 = 4\pi U_0 \quad W \quad 1.2.3$$

Donde W_0 es la potencia por radián cuadrado.

Para cualquier tipo de antena se puede poner de la siguiente manera:

$$W_r = U \Omega \quad W \quad 1.2.4$$

La ecuación anterior, está indicando la intensidad de radiación para cualquier antena, siendo independiente del radio, indicándonos la densidad de potencia del ángulo sólido y medido con respecto al ángulo sólido de la esfera completa, que es donde radía una fuente isotrópica.

Siendo el ángulo sólido del haz de la antena a través del cual toda la potencia será radiada, si la potencia por unidad de ángulo sólido (intensidad de radiación) es igualada al valor máximo sobre el área del haz.

La expresión del teorema de potencia se puede apreciar en la siguiente figura:

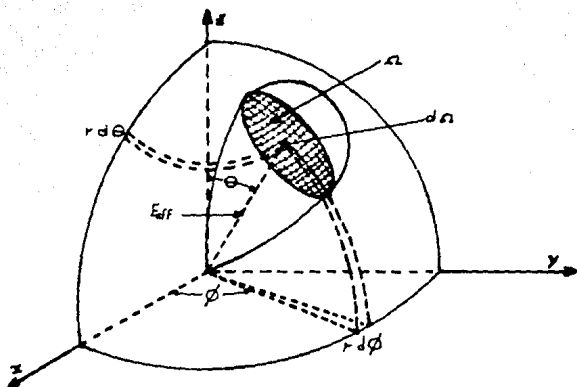


FIG. 9. Representación del ángulo sólido de un lóbulo de radiación. El corte del lóbulo de radiación a la esfera es en E_{eff} (valor eficaz).

1.3. DIRECTIVIDAD.

Se define a la directividad como la dirección en que se tiene la máxima intensidad de radiación referida a la fuente isotrópica y está dada por la siguiente expresión:

$$D = \frac{U_m}{U_0} = \frac{\text{Intensidad de radiación de antena observada}}{\text{Intensidad de radiación isotrópica}} \quad 1.3.1$$

El numerador de la expresión anterior nos indica, a la antena en medición y el denominador, a la antena isotrópica, siendo ambos valores de la misma denominación eficaces, medios o máximos.

Multiplicando el numerador de la expresión anterior por 4π obtendremos lo siguiente:

$$D = \frac{4\pi U_m}{4\pi U_0} = \frac{4\pi U_m}{W_0} \quad 1.3.2$$

La cual es una expresión más general para la directividad.

1.4. GANANCIA

La definición de directividad de la sección anterior está basada en la forma del patrón de potencia radiada; La potencia en el punto de entrada y la eficiencia de la antena no están involucradas. Una cantidad llamada ganancia es la que ahora se introduce y esta involucra la eficiencia de la antena y se define como el cociente de la máxima intensidad de radiación entre la máxima intensidad de radiación de una antena de referencia con la misma potencia de entrada.

Cualquier tipo de antena se puede usar de referencia, comunmente es una antena de media longitud de onda. La ganancia incluye el efecto por pérdidas en la antena bajo consideración así como en la antena de referencia

Si se asume que la fuente de referencia es una fuente isotrópica, por lo que la ganancia definida para la antena bajo consideración se llama ganancia con respecto a una fuente isotrópica y se le designa G_0 .

Si asumimos que la máxima intensidad de radiación de la antena bajo consideración, esta relacionada con la máxima intensidad que podría tener con una eficiencia del cien por ciento involucramos un factor de eficiencia, por lo que nos queda la siguiente expresión.

$$G_0 = e D$$

1.4.1

El valor de la eficiencia sera de 1 si la ganancia igual a la directividad sin embargo al presentarse pérdidas por la antena y sus sopores la eficiencia queda definida de la siguiente manera.

$$\epsilon = \frac{W_r}{W_{in}}$$

Donde:

W_r Potencia radiada

W_{in} Potencia de entrada

ϵ Eficiencia

El valor de la eficiencia será entre cero y la unidad, $0 \leq \epsilon \leq 1$.

1.5. AREAS DE ANTENA.

Las "áreas" de antena definen gran parte del comportamiento de una antena.- Para comprender este concepto se considerará que la antena tiene el área equivalente al área que extrae energía de una onda de radio que se encuentra incidiendo en ese momento por ella.

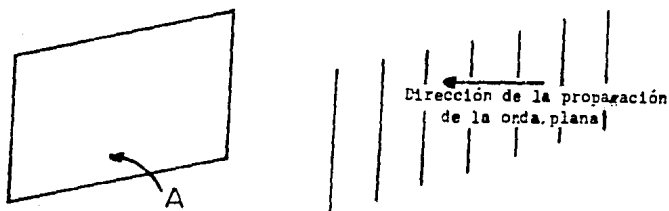


FIG. 10. Onda plana que incide en una área A.

Siendo que el vector de Poynting, o densidad de potencia de la onda plana esta dada por \vec{P} Watts/m², y la potencia que incide en la superficie A dada en m², pudiera ser extraída en su totalidad por esta superficie, entonces la potencia absorbida esta dada por:

$$W = \vec{P} \cdot \vec{A} \quad W \quad 1.5.1$$

Al tomar valores absolutos, tenemos:

$$A = W / P \quad m^2 \quad 1.5.2$$

El área que presenta la antena es proporcional a la potencia total extraída de la onda que se encuentra incidiendo en esta.

El área de la antena esta dividida en las siguientes partes.-

Area efectiva.- Es la medida de la capacidad de la antena para recoger la potencia de una onda incidente y entregarla a sus terminales o impedancia de carga.

Area de dispersión.- Es la razón de potencia reradiada a la densidad de potencia incidente.

Area de pérdidas .- Es la potencia que se disipa en forma de calor en la antena o su estructura de soporte.

La suma de las áreas presenta un total que se denomina área de colección que se define como:

Area de colección.- Es la suma de las áreas definidas anteriormente. Estas tres áreas están relacionadas con las tres formas en que la potencia recogida o colectada por la antena se puede convertir.

Area efectiva - en energía en las terminales

Area de pérdidas - en calor en la antena

Area de dispersión - en potencia reradiada

Las áreas de antena nos dan una idea de comportamiento de las antenas en las ondas incidentes.

1.5.1. AREA EFECTIVA.

Para conocer el área efectiva vamos a considerar una antena receptora que se encuentra situada en el campo de una onda electromagnética que está pasando como se muestra en la siguiente figura.

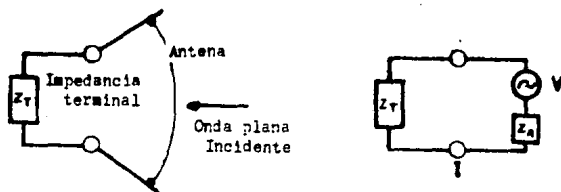


FIG. 11. a) Diagrama esquemático de una antena, que termina en una impedancia Z_T con una onda plana incidente.
 b) Su circuito equivalente de Thévenin.

La antena recoge energía de la onda y la entrega a su impedancia de carga Z_T que se encuentra conectada a sus terminales. El vector de Poynting, o densidad de potencia de la onda está dado en watta sobre metro cuadrado. Como se muestra anteriormente la antena se puede reemplazar por un circuito equivalente con un generador de Thévenin de una tensión equivalente y una impedancia interna o equivalente. La tensión inducida por la onda a través de la impedancia terminal está dada por:

$$I = \frac{V}{Z_T + Z_A} \quad 1.5.3$$

Donde I y V son valores efectivos.

Las impedancias de la antena y la terminal son complejas.

$$Z_T = R_T \pm j X_T \quad 1.5.4$$

$$Z_A = R_A \pm j X_A \quad 1.5.5$$

La resistencia de la antena R_A tiene las siguientes componentes:

$$R_A = R_r + R_L \quad 1.5.6$$

Siendo R_L la resistencia de pérdidas, R_r la resistencia de radiación.

La potencia entregada por la antena a la impedancia terminal es:

$$W = I^2 R_T \quad 1.5.7$$

Siendo la corriente

$$I = \frac{V}{\sqrt{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2}} \left[\frac{1}{\cos^{-1} \frac{X_A + X_T}{R_r + R_L + R_T}} \right] \quad 1.5.8$$

Tomando sólo la magnitud de la corriente y substituyendo 1.5.6 en 1.5.7 se obtiene;

$$W = \frac{V^2 R_T}{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2} \quad 1.5.9$$

Se define el área efectiva A_e como la razón de la potencia W en la impedancia terminal, a la densidad de potencia de la onda incidente $|\vec{P}|$.

$$\text{Área efectiva} = \frac{W}{|\vec{P}|} = A_e \quad 1.5.10$$

El área efectiva puede estar en metros cuadrados o en longitudes de onda cuadradas. Al substituir 1.5.9 en 1.5.10 nos da el área efectiva en términos de densidad de potencia incidente, la tensión inducida y las impedancias terminal y de la antena.

$$A_e = \frac{V^2 P_m}{P((R_r + R_L + R_m)^2 + (X_A + X_T)^2)} \quad 1.5.11$$

Si no se especifica otra cosa, se asume que V es la tensión inducida cuando la antena esta orientada para respuesta máxima y la onda incidente tiene la misma polarización de la antena. Como muestra la ecuación 1.5.11 el área efectiva toma en cuenta las pérdidas de la antena dadas por R_L y cualquier desacoplamiento entre la antena y su impedancia terminal.

Para efectuar un mejor análisis, se considera el caso especial donde la impedancia terminal es el conjugado complejo de la impedancia de la antena, tal que se efectúe la máxima transferencia de potencia. Se asume también que las pérdidas de la antena son cero ($R_r = 0$ por lo tanto $R_A = R_T$). Entonces;

$$X_T = -X_A \quad 1.5.12$$

$$R_T = R_r \quad 1.5.13$$

Introduciendo las condiciones para máxima transferencia de potencia dada por (1.5.12) y (1.5.13) dentro de (1.5.9) resulta en la potencia más grande posible W' en la impedancia terminal.

$$W' = V^2 / (4 R_T) \quad 1.5.14$$

La potencia W' es entregada en la impedancia terminal bajo condiciones de máxima transferencia de potencia y cero pérdidas en la antena.

La razón de esta potencia a la densidad de potencia de la onda incidente, es la máxima área efectiva A_{em} . Esto es:

$$\text{Máxima área efectiva} = W' / P = A_{em} \quad 1.5.15$$

Substituyendo la ec (1.5.14) en la (1.5.15) nos da una expresión para máxima área efectiva en términos de densidad de potencia incidente, de la tensión inducida y de la resistencia de radiación de la antena, de la siguiente manera:

$$A_{em} = V^2 / (4 P R_r) \quad 1.5.16$$

La razón del área efectiva a la máxima área efectiva se llama razón de efectividad α . esto es:

$$\text{Razón de efectividad} = \alpha = A_e / A_{em} \quad (\text{adimensional}) \quad 1.5.17$$

La razón de efectividad puede asumir valores entre cero y uno. Una antena perfectamente acoplada, con una eficiencia de 100% tiene una razón de efectividad de la unidad.

Normalmente la impedancia terminal no se encuentra localizada físicamente en las terminales de la antena como lo sugiere la figura Num 11, se encuentra en el receptor que está conectado a la antena a una longitud por medio de una línea de transmisión. Caso en el cual la Z_T es la impedancia equivalente que aparece en las terminales de la antena. Si la línea de transmisión es sin pérdidas, la potencia entregada al receptor es la misma que la entregada a la impedancia terminal equivalente Z_T .

Si la línea de transmisión tiene atenuación, la potencia entregada al receptor es menor que la entregada a la impedancia terminal e-
qui valente por una cantidad de pérdida en la línea.

1.6 LONGITUD EFECTIVA.

La longitud efectiva es la longitud a la cual se presenta la mayor recepción o transmisión de la onda electromagnética, por lo que es necesario considerarla, debido al hecho que esta presenta diferente impedancia de radiación al variar su longitud, con lo cual varía el aprovechamiento de la antena.

Es muy importante tener esto en consideración debido a que puede significar un desacoplamiento de la antena con la impedancia terminal.

Una antena está constituida de un medio conductor cuya velocidad de fase de las cargas dentro del medio conductor es menor que la velocidad de fase en vacío. Los dieléctricos que se utilizan una constante de permitividad relativa mayor que uno, originando a su vez que su velocidad de fase es menor que la velocidad de fase en el vacío. La distribución de potencial hace que el potencial máximo se encuentre en los extremos de la antena, lo cual provoca que el aire se ionice aumentando en consecuencia la longitud del conductor. Todo esto nos indica que la antena debe tener una longitud física menor que la longitud eléctrica a que debe trabajar.

La longitud eléctrica que debe tener una antena para operar correctamente es la longitud efectiva que se encuentra relacionada con el área efectiva.

El potencial recibido en la antena cuando la polarización del vector de Poynting es igual a la de antena, es:

$$V = L E$$

1.6.1

donde V está en volts, L en metros y E en volts sobre metro (o L puede estar en longitudes de onda y E en volts sobre longitudes de onda). La longitud efectiva y el área efectiva están relacionadas como se muestra a continuación. En la ecuación 1.5.11 $|\vec{P}| = E^2/\eta$, donde η es la impedancia intrínseca del medio ($\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$). Entonces transformando la ecuación 1.5.11 para V , tenemos:

$$V = \sqrt{\frac{A_e((R_r + R_l + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2)}{R_T Z}} E \quad 1.6.2$$

Entonces la longitud efectiva está dada por

$$L = \sqrt{\frac{A_e((R_r + R_l + R_T)^2 + (X_A + X_m)^2)}{R_T Z}} \quad 1.6.3$$

Bajo las condiciones descritas anteriormente para máxima transferencia de potencia, la expresión para longitud efectiva se reduce a:

$$L = 2 \sqrt{\frac{A_{em} R_T}{\eta}} \quad 1.6.7$$

1.7. TIERRAS.

El funcionamiento de una antena es afectado considerablemente, - con respecto a sus propiedades directivas debido a la presencia de tierra, ya que esta actúa como un reflector para las ondas radiadas. Las ondas que inciden en la superficie y son reflejadas por un proceso similar al de las ondas luminosas que son reflejadas por un espejo. Siendo el ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión.

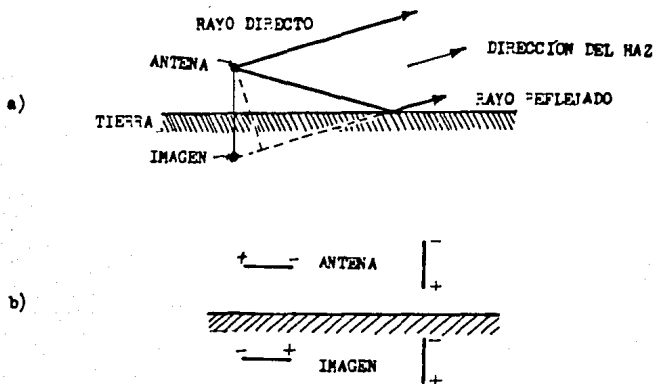


FIG. 12. a) Efecto de reflexión.

b) Antenas horizontales y verticales de media onda
v su imagen.

A una distancia considerable los rayos se toman como paralelos, sin embargo los rayos reflejados viajan una distancia mayor para llegar

al mismo punto, esta diferencia provoca que los valores de intensidad de campo sean máximos y otras veces intermedios. El efecto es de incrementar la intensidad de radiación en algunos ángulos verticales y disminuirla en otros.

1.7.1. TEORIA IMAGEN.

Es conveniente usar el concepto de una antena imagen para mostrar el efecto de la reflexión como en la figura Núm. 13., el rayo reflejado sigue la misma dirección como si fuera originado por la segunda antena, con las características de la antena real, pero está situada bajo la tierra a la misma distancia que está la real sobre la tierra, pero en el espejo como en la realidad la antena imagen esta al revés (invertida), como se muestra en la figura Núm. 12 b).

Como muestra el efecto de reflexión las antenas horizontales y verticales se polarizan de forma diferente, en la antena vertical se completa el dipolo, ahorrándose la construcción de media antena.

Cuando se requiere una polarización vertical (patrón de radiación circular) y sobre todo a bajas frecuencias, la altura de la antena dificulta su construcción por lo que se utiliza un monopolo vertical sobre la tierra.

Al encontrarse la parte inferior de la antena hacia tierra sólo se necesita un cuarto de onda de longitud para resonar a la misma frecuencia, su funcionamiento se puede comprender al recordar que la tierra con muy buena conductividad actúa como un espejo eléctrico y la mitad faltante de la antena es suministrada por la imagen en el espejo.

Las antenas de un cuarto de onda pueden funcionar con una tierra simulada por radiales de un cuarto de longitud de onda, saliendo del - centro de la base de la antena y que se llama plano de tierra, la cantidad de radiales disminuye en función de la frecuencia; en frecuencias - muy altas no se utilizan radiales.

1.8. ALTURAS.

Cuando se trata el tema de las alturas que tienen las antenas sobre la tierra, el efecto de la reflexión es muy importante ya que puede ser expresado como un factor, el cual al ser multiplicado por los valores de la figura de la relativa intensidad de radiación en el espacio libre para un ángulo dado de la antena, produce la intensidad de radiación resultante para el mismo ángulo.

Las condiciones limitantes son representadas por el rayo directo y por el rayo reflejado, cuando están exactamente en fase o fuera de fase, cuando tienen la misma amplitud, no habiendo pérdidas de tierra la fuerza resultante en algunos puntos será del doble y en otros será cero.

Las ondas radiadas directamente hacia abajo reflejadas verticalmente de la tierra y que pasan por la antena en su camino hacia arriba, inducen corriente en ella. La magnitud y fase de esta corriente depende de la altura a la que se encuentre la antena sobre la superficie reflectora.

Simplemente al cambiar la altura de la antena sobre la tierra, - cambiará la cantidad de flujo de corriente, asumiendo que la potencia de entrada a la antena se mantiene constante. En otras palabras la resistencia de radiación de la antena es afectada por la altura de ésta sobre la tierra.

El efecto de una tierra perfecta se puede simular instalando una pantalla o malla de metal en la superficie de la tierra. Se recomienda que esta se extienda media longitud de onda en todas las direcciones. - Tal pantalla establecerá efectivamente la altura de la antena. Las pantal

llas afectan solamente ángulos muy altos de antenas horizontales.

Para los monopolos verticales la resistencia de radiación va a variar en función de la altura como se muestra en la figura Núm. 14, ya que al variar la resistencia de radiación de la antena puede variar su eficiencia, ya que la resistencia de la tierra no es despreciable.

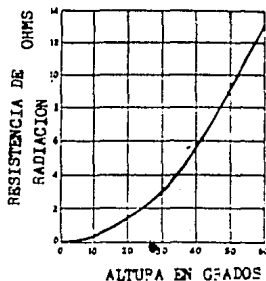
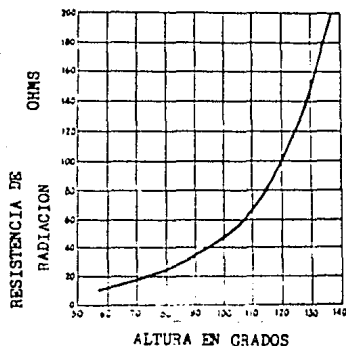


FIG. 14. Resistencia de Radiación contra Altura de la antena en el espacio libre, para antenas verticales sobre tierra perfecta conductora.

a) Figura para 60 a 140 grados.

b) Figura para 0 a 60 grados.

CAPITULO II
ARREGLOS DE
ANTENAS

C A P I T U L O I I

Las antenas son dispositivos con dos funciones primordiales para su correcto aprovechamiento. Deberá funcionar como un transformador de impedancias cuyo objeto es el de acoplar la impedancia que presenta la línea de transmisión con la del medio en que se encuentra la antena. Además deberá de funcionar de tal manera de que sea capaz de recibir o transmitir en una dirección dada, siendo una característica importante el poder suprimir la radiación en las direcciones donde esta no es necesaria, con el fin de aumentar el aprovechamiento de energía y evitar ruidos e interferencias provenientes de otras emisoras.

Por ejemplo un monopolo vertical esta bien para radiodifusión, ya que el área horizontal que cubre, no discrimina ningún sector dentro de su patrón de radiación, como se muestra en la figura Núm 14.

Sin embargo cuando las necesidades nos exigen radiar a un sector determinado, hay que modificar el patrón de radiación según las necesidades. Por lo que se puede incrementar la intensidad de campo eléctrico \vec{E} , en una dirección predeterminada, excitando o colocando simultáneamente varias antenas con el objeto de lograr un Arreglo de Antenas,

Hay ocasiones en que es necesario concentrar toda la capacidad de la antena para rastrear una señal o para tener la máxima ganancia hacia un punto, por lo que el patrón de radiación debe de ser lo más parecido a un haz por lo que hay que manejar el cambio de ganancia de la antena para modificar su patrón de radiación.

La introducción de equipos de onda corta en los años veintes hizo posible el uso de arreglos de buen tamaño, aunque no tenían la directividad que hubieran deseado. Durante la segunda guerra mundial la frecuencia ultra alta (UHF) y las microondas dieron como resultado que los arreglos fueran introducidos en aplicaciones tales como los sistemas de radar y aviones. Ahora hay antenas de frecuencias de microondas de gran confianza y seguridad, que se usan extensamente en sistemas de comunicación satélite.

Muchas pequeñas antenas se pueden utilizar en un arreglo para obtener un nivel de desarrollo similar o mejor que en una antena grande, la cual tiene problemas mecánicos que se cambian por problemas eléctricos en las pequeñas. No hay que olvidar que actualmente el tamaño y calidad de los componentes reduce los costos y los problemas de la red de alimentación aumentando su calidad.

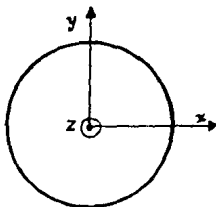


FIG. 14. Patrón horizontal de radiación de un monopolo vertical.

2.1. ARREGLOS ACTIVOS.

Como se muestra en la figura Num 15. y utilizando el principio de superposición de campos, con dos antenas puntuales separadas a una distancia " d " y con un defase de 180° y con la misma magnitud de corriente, se origina un campo sobre el plano YZ. Efectuando el plano XZ una bisección perpendicular a la línea de unión, siendo en la línea central el campo igual a cero. Si " d " es igual $\lambda/2$, los campos efectuarán una suma casi en fase. Se muestra que el campo radiador dependerá de la amplitud y fase relativa de las corrientes de las antenas, de la separación - entre ellas y el lugar de observación de los elementos.

Cuando se trata de varios elementos, se emplean formulas matemáticas, con el objeto de poder determinar y visualizar los patrones del campo radiado.

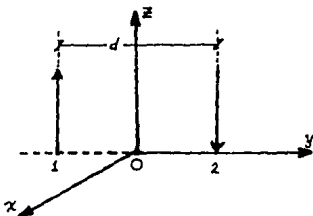


FIG. 15. Dos antenas puntuales defasadas 180° , separadas a una distancia " d " con la misma magnitud de corriente.

2.1.1 LINEAL.

Es el más sencillo de los arreglos, todos los elementos de corriente fluyen en la misma dirección aunque no en el mismo sentido.

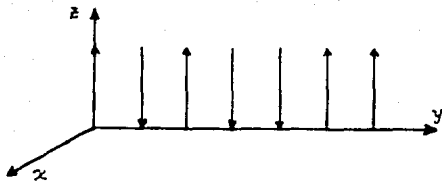


FIG. 16. Disposición de un arreglo lineal.

Pudiendo ser la radiación, de lados amplios o de lados vivos.

2.1.2 LADOS AMPLIOS.

En el arreglo de lados amplios la radiación máxima ocurre perpendicular a la línea del arreglo, como se muestra en la figura Núm. 17.

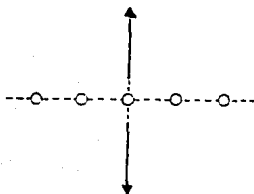


FIG. 17. Dirección de la radiación máxima en un arreglo de lados amplios.

2.1.3 LADOS VIVOS.

La máxima radiación para este tipo de arreglo, ocurre a lo largo de la línea del arreglo, como se muestra en figura Núm. 18.



FIG. 18. Dirección de la radiación máxima en un arreglo de lados vivos.

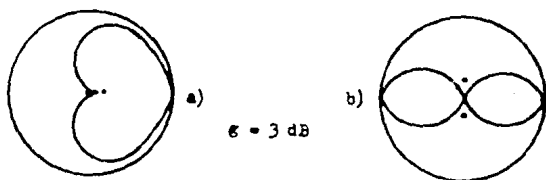


FIG. 19. Patrones representativos de directividad y ganancias que se pueden esperar de antenas excitadas por corrientes de igual amplitud.

- a) Antenas espaciadas $1/4$ de λ , arreglo de lados vivos.
- b) Antenas espaciadas $1/2$ de λ , arreglo de lados amplios.

2.2 ARREGLOS PARASITOS.

Cuando se necesita enviar la señal en una dirección predeterminada, el objetivo es que la antena tenga mayor ganancia en la dirección deseada y así trabaje con menor potencia, por lo que deberá tener una área eficaz que sea casi máxima en la dirección de interés. Lo cual se logra aumentando la cantidad de antenas en forma activa o en forma parásita.

Los arreglos conteniendo elementos parásitos, se les conoce con el nombre de arreglos parásitos, pudiendo estar excitados algunos de ellos de forma activa pero trabajando de forma parásita.

2.2.1. AREA DE DISPERSION.

Los elementos parásitos obtienen potencia por medio de las ondas electromagnéticas que se encuentran acopladas al elemento excitador. Por lo cual es necesario tratar el tema del área de dispersión, con referencia a la figura Núm 11. (pag. 21), la potencia absorbida por la impedancia terminal esta dada por la ecuación (1.5.7), $W = I^2 R_p$. La potencia que aparece en la impedancia de la antena Z_A indicada por la ecuación (1.5.5) la parte real de esta impedancia tiene dos partes, la resistencia de radiación y la resistencia por pérdidas ($R_A = R_r + R_L$). Siendo parte de la potencia recibida transformada en calor y esta dada por:

$$W = I^2 R_L \quad 2.2.1$$

El remanente es disipado en la resistencia de radiación, en otras palabras es reradiado por la antena, esta dada por:

$$W' = I^2 R_r \quad 2.2.2$$

Esta potencia reradiada o dispersada es análoga a aquella que se disipa en el generador para que la potencia sea entregada a la carga. Bajo condiciones de máxima transferencia de potencia, tanta potencia es disipada en el generador como es entregada en la carga.

La potencia reradiada se puede relacionar con el área de dispersión A_s , que se puede definir como la razón de la potencia reradiada a la densidad de potencia de la onda incidente, entonces:

$$A_s = \text{Área de dispersión} = \frac{W''}{P} \quad 2.2.3$$

donde

$$W'' = I^2 R_T = \frac{v^2 R_T}{(R_T + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2} \quad 2.2.4$$

Para el caso de la máxima transferencia de potencia $R_L = 0$,

$R_T = R_T$ y $X_A = -X_T$, entonces

$$A_s = \frac{v^2}{4 P R_T} \quad 2.2.5$$

o dicho de otra manera el área de dispersión A_s es iguala a la máxima área efectiva.

$$A_s = A_{em} \quad 2.2.6$$

Bajo estas condiciones la razón de área de dispersión a área efectiva se llama razón de dispersión β .

$$\text{Razón de dispersión} = \beta = \frac{A_s}{A_e} \quad (\text{adimensional}) \quad 2.2.7$$

puediendo asumir valores entre cero e infinito.

Sin embargo en el caso de que se pretenda que la reradiación sea

máxima, sería el caso que la antena no esté conectada al receptor, trabajando como un elemento parásito.

El campo reradiado por la antena parásita interfiere con el campo de la antena excitada para así producir el patrón direccional deseado.

Para que la potencia reradiada sea máxima la impedancia terminal debe ser cero y la antena debe ser resonante, esto es $R_T = X_T = X_A = 0$ se asume también $R_L = 0$, de 2.2.4 la potencia reradiada es:

$$W'' = \frac{V^2}{R_r} \quad 2.2.8$$

y el área de dispersión se vuelve:

$$A_{GR} = \frac{V^2}{P R_r} = 4 A_{em} \quad 2.2.9$$

El área de sección máxima de una antena como dispersor de energía es cuatro veces tan grande como su valor de máxima área efectiva, como - absorbedor de energía.

El campo reradiado o disperso de una antena se puede considerar como una interferencia con la onda incidente, de tal forma que una sombra se forma después de la antena, la cual no es muy definida aunque se presenta una disminución del campo incidente o una sombra parcial.

La función de un elemento parásito es la de reradiar la potencia recibida por una antena transmisora cercana.

A los elementos se les conoce por su posición con respecto al vector de Poynting incidente, a los que se encuentran antes del elemento excitado se les conoce como directores y los que se encuentran después del elemento excitado se les conoce como reflectores.

El arreglo parásito tendrá un elemento activo y tantos elementos parásitos como sea necesario para incrementar su directividad, hasta cumplir con las necesidades.

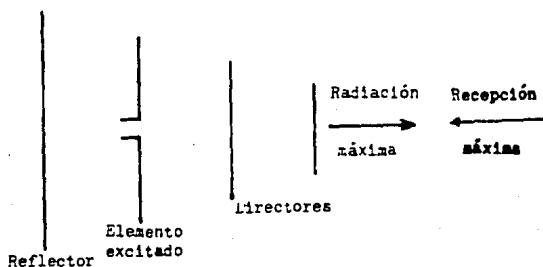


FIG. 20. Arreglo parásito, con reflectores y directores.

Este tipo de construcción es característico de las antenas Yagi que llevan el nombre de Hidetsugu Yagi, quien fue el primero en emplear este tipo de antenas para obtener sistemas direccionales. Trabajo que realizó en colaboración con Shintaro Uda.

Sus antenas se conocen popularmente como Yagi, aunque oficialmente son "Yagi-Uda".

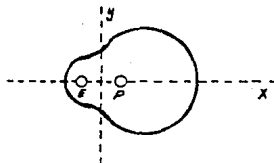


FIG. 21. Patrón representativo de una antena excitada, con un elemento parásito que se encuentra trabajando como un director, se asume que tiene menor tamaño (al tener mayor tamaño trabajaría como director)

CAPITULO III
ANTENAS
INDEPENDIENTES
DE FRECUENCIA

C A P I T U L O I I I

En la práctica existen por lo regular restricciones de espacio y costo en los sistemas de antenas, y por lo regular lo más adecuado es que la antena sea capaz de trabajar a varias frecuencias y con un desempeño casi idéntico.

En la aplicación práctica existen dos tipos de necesidades, una de ellas es cuando las frecuencias a las cuales debe operar una antena no están muy separadas, o dicho de otra manera es muy pequeña la anchura de banda. Para el otro tipo de aplicación las antenas deben cubrir un rango mayor de frecuencias, donde la anchura de banda sea tan grande que plantea el problema de la independencia de frecuencia.

3.1.1. ANTENA SENCILLA DE DOS BANDAS.

Debido a que un dipolo tiene una anchura de banda muy estrecha se pueden usar antenas sencillas de dos bandas con el objeto de introducir una anchura de banda adicional para operar dos frecuencias diferentes y separadas entre sí.

La idea es la de incorporar una impedancia muy alta en parte de la estructura de la antena, por ejemplo al dipolo se le hace un corte un poco menor que media longitud de onda de la frecuencia más alta, la cual se separa de la longitud adicional por medio de un supresor o "choke" (alambre enrollado), la inductancia del supresor se selecciona para que la impedancia sea muy alta en la alta frecuencia y muy baja en la baja frecuencia. Se puede añadir un capacitor para que la alta impedancia se logre por medio de un circuito resonante, este sistema trabaja cuando las frecuencias están bien separadas y sin embargo se vuelve errático cuando las frecuencias son elegidas arbitrariamente para su funcionamiento, lo cual no resuelve el problema de la independencia de frecuencia.

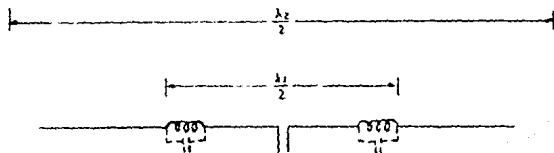


FIG. 22. Antena sencilla de dos bandas.

3.1.2 ARREGLO DE DOS BANDAS YAGI CON STUB DE SINTONIA.

Otra forma de manejar dos frecuencias y que estas no estén muy separadas es por medio de la inclusión de dos elementos radiadores los cuales se conectan por medio de stubs*, los cuales se conectan para que funcionen en las líneas con impedancia casi constante y con un patrón de radiación casi constante, se recomienda que estos tipos de antena se utilicen con radiadores del tipo Yagi-Uda.

Este tipo de antenas resolvió parte de los problemas, sin embargo, aún existía el problema de la anchura de banda.

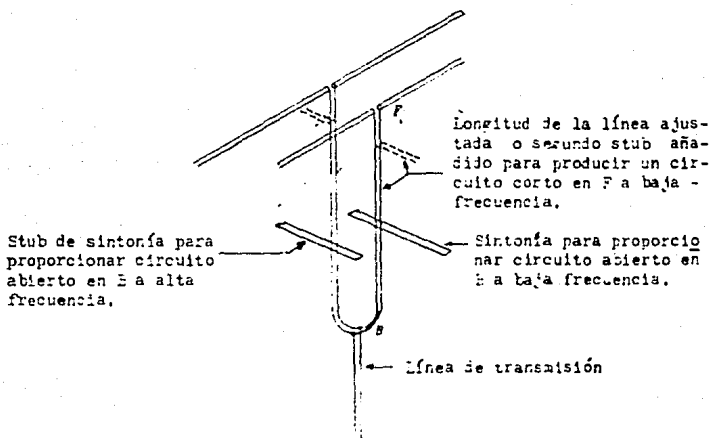


FIG. 2). Arreglo de dos bandas Yagi con stub de sintonía.

* Ver apéndice.

3.1.3 . ANTENAS LOGARITMICAS PERIODICAS

Al persistir el problema de la anchura de banda y después de que este fue estudiado, se llegó a la conclusión de que la antena debía de carecer de distancia características. V.H. Russey introdujo el concepto de ángulo, la antena podría ser autoescala pero al construirse y ser de un tamaño finito no sería independiente de frecuencia.

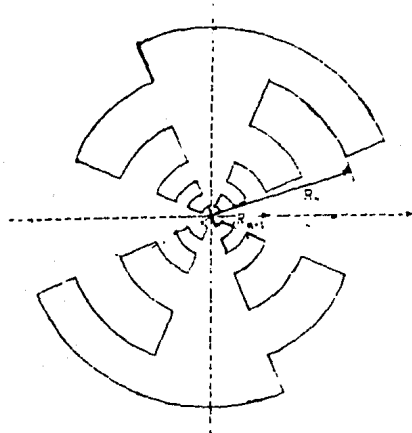


FIG. 24. Estructura Log-periódica dentada
(auto complementaria)

Este tipo de antena tiene la característica de que en la longitud de onda de trabajo los elementos trabajan con la máxima corriente y en los otros elementos la corriente cae muy pronto, lo cual hace que trabaje como un arreglo parásito.

D.E. Isbell llevo a cabo una conexión en la cual las dos mitades de los dipolos estaban encimados y encontrados como en la estructura trapezoidal dentada lo cual introdujo un cambio de fase de 180° entre los elementos, esta estructura evolucionó a una antena Log-periódica unidireccional, como se aprecia en la figura Num 25.

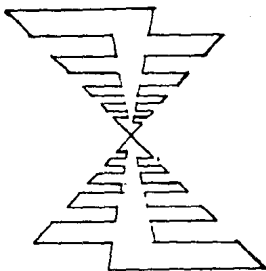


FIG. 25. Antena Log-periódica trapezoidal dentada

Una simplificación de la estructura anterior se muestra en la figura siguiente.

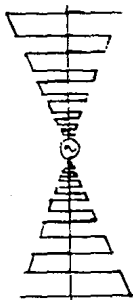


FIG. 26. Antena Log-periódica trapezoidal de alambre

Posteriormente R.L. Carrel efectuó un análisis minucioso y con ayuda de una computadora analizó el tipo de circuito para encontrar la impedancia de entrada, las tensiones y las corrientes en la línea de transmisión.

Algo muy importante cuando se evalúa una de estas antenas es el hecho de que al cambiar la frecuencia de operación, el patrón de tensión y la distribución de corriente permanecen constantes, pero la región activa se mueve a diferentes elementos.

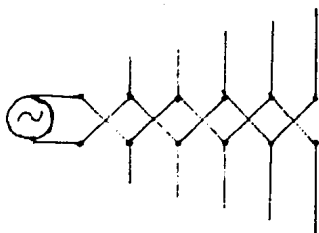


FIG. 27. Antena Logarítmica Periódica
Bipolar.

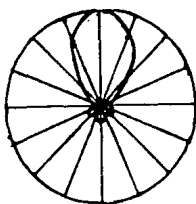
El patrón unidireccional de la antena se logra por la suma de señal radiada por los elementos, ya que estos tienen 180° de defasamiento al encontrarse intercalados y en cada una de las líneas de alimentación.

Conforme la frecuencia de operación cambia, el patrón de tensión y distribución de corriente permanece constante en la antena, aunque la región activa (la región de relativa alta amplitud de corriente) cambia de elementos en la antena. Cuando la frecuencia aumenta, la región acti-

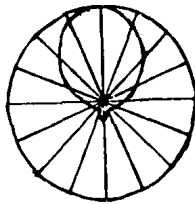
va cambia en dirección de los elementos más pequeños y cuando la frecuencia aumenta, da por resultado un cambio en el funcionamiento de la antena con el cambio de frecuencia.

El límite de la alta frecuencia es en el cual el más pequeño de los elementos, es alrededor de media longitud de onda. Cuando la frecuencia decrece la región activa se va moviendo hacia los elementos más largos de la antena, el funcionamiento es satisfactorio hasta que llega al último elemento, que es donde se encuentra el límite inferior de frecuencia, el elemento de media longitud de onda.

Las siguientes figuras muestran los típicos patrones de radiación de una antena Logarítmica Periódica Dipolar, la dirección de máxima radiación es de la parte más pequeña o de elementos cortos de la antena, que es la dirección opuesta desde donde la onda empieza, de las líneas paralelas de alimentación.



PLANO E



PLANO H

FIG. 28. Patrones de radiación de una antena Logarítmica Periódica Dipolar.

CAPITULO IV
DISEÑO

CAPITULO IV

Al efectuar el diseño de la antena, identificamos a la Antena Logarítmica Periódica Dipolar (ALPD) como la última fase en el cambio de las antenas Logarítmicas Periódicas que tienen la particularidad de la independencia de frecuencia.

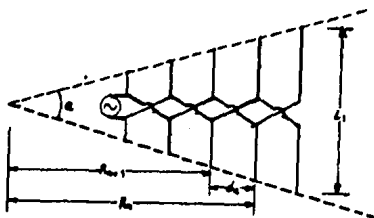


FIG. 29.

La Antena Log-periódica Dipolar (ALPD) es un arreglo de alimentación en serie, de dipolos paralelos de longitudes que se incrementan sucesivamente lejos del punto de alimentación en el vértice. Se aprecia que las líneas de alimentación se interconectan, cruzadas entre los elementos adyacentes.

4.1. ACOPLAMIENTO

Cuando consideramos el problema de acoplamiento en la antena, hay que tomar en cuenta que, existen casos de corrientes balanceadas y de desbalanceadas. En el caso de corrientes balanceadas en la línea de transmisión éstas son iguales en magnitud y de diferente sentido, lo cual produce muy poca radiación en la línea de transmisión, como en el caso de conductores separados muy poco espaciados (paralelos). Cuando las corrientes son desbalanceadas, al ser una mayor que la otra, existe un flujo de corriente neto en la línea de transmisión que produce una radiación descontrolada y desordenada, esto es, no en la dirección deseada o en la polarización deseada.

La corriente desbalanceada cambia el funcionamiento de un caso balanceado, por lo que es claro que la operación balanceada es absolutamente necesaria.

Las líneas de transmisión se clasifican como balanceadas o desbalanceadas. Las líneas de transmisión de conductores paralelos son esencialmente balanceadas (de corrientes balanceadas). Por otro lado están las líneas de transmisión coaxiales que son esencialmente desbalanceadas. Una onda viajando en cable coaxial puede tener una corriente balanceada, esto es, las corrientes del conductor interno y la parte interna del conductor externo pueden ser iguales en magnitud y de sentido contrario. Sin embargo cuando la onda llega después de viajar por un cable coaxial llega a una antena simétrica, una corriente puede fluir por la parte ex-

terior del conductor externo lo cual desbalancea a la antena y a la línea de transmisión como se puede apreciar en la siguiente figura.

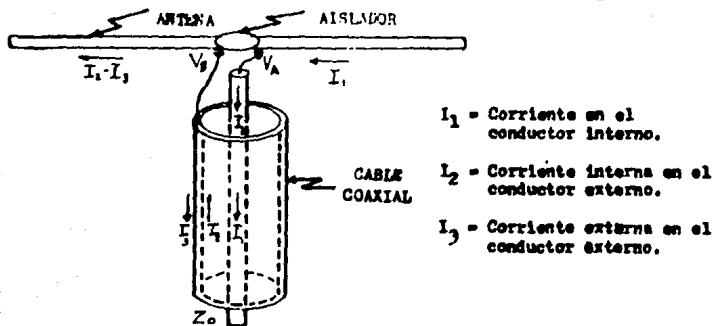


FIG. 30. Área de sección de una línea de transmisión coaxial alimentando en el centro a una antena dipolo.

Las corrientes I_1 y I_2 en el cable coaxial están blindadas del medio ambiente por el grueso del conductor externo, pudiendo de hecho estar desbalanceadas estas corrientes, resultando que no habría radiación en la antena, sin embargo, es la corriente que fluye por la superficie exterior del conductor externo I_3 la que debe de ser suprimida.

Para suprimir la corriente que fluye por el exterior, se utiliza un "BALUN"*(contracción inglesa para " balanced to unbalanced ").

La situación de la figura anterior se puede comprender observando las tensiones que existen en las terminales de la antena, son iguales en magnitud pero de sentido contrario ($V_A = - V_B$). Ambas tensiones causan que fluya una corriente en el exterior del cable coaxial; si la magnitud de las corrientes que fluyen en el conductor externo del cable coaxial -

* Ver apéndice A

producidas por ambas tensiones fueran iguales, la corriente neta en la línea de transmisión tendría un valor de cero. Sin embargo como se puede apreciar en la figura, una de las terminales se encuentra conectada al conductor externo del cable coaxial, la tensión V_B produce una corriente de una magnitud mayor que la que produce la otra tensión V_A en el otro conductor de la línea de transmisión.

Se utiliza un balun para transformar la impedancia de entrada del cable coaxial desbalanceado de tal modo que no haya corriente neta en el exterior del conductor externo de la línea de transmisión.

La mayoría de los balun, no tienen una anchura de banda considerable debido a que tienen involucrado un cuarto de longitud de onda en su construcción, sin embargo, se pueden construir algunos de cierta anchura de banda enrollando cable coaxial de forma simétrica, pudiendo utilizarse un núcleo de ferrita para aumentar la anchura de banda.

En el caso de la antena Log-Periódica Dipolar se va a conectar de la siguiente manera, como se muestra en la siguiente figura.

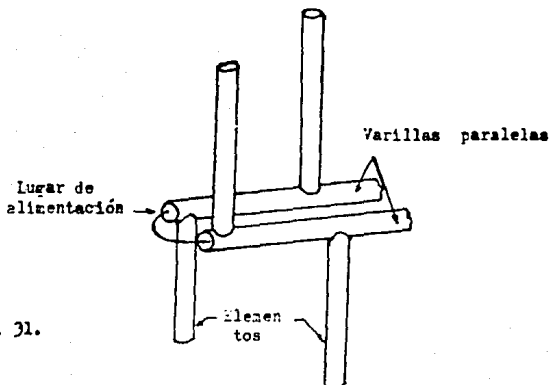


FIG. 31.

Las varillas paralelas van a ser excitadas por un cable coaxial que fue guiado a través de una de las varillas, conjuntando a las varillas paralelas. El conductor central del cable coaxial va hacia la otra varilla que hace el par.

Este método de construcción provee de un balun interconstruido a la antena, el cual tiene una gran anchura de banda.

Para el caso de una línea de transmisión balanceada (de conductores paralelos), no será necesario este tipo de conexión.

Es importante el que haya un acoplamiento de impedancia, por lo que se debe revisar el factor de desacoplamiento de impedancia.

Factor de desacoplamiento de impedancia " q ", que es una fracción de la potencia transmitida a través de la unión de las terminales de la línea de transmisión de la antena, esto es, el coeficiente de transmisión de potencia. De la teoría de la línea de transmisión tenemos Γ que es el coeficiente de reflexión de tensión;

$$q = 1 - |\Gamma|^2 \quad 4.1.1$$

$$q = 1 - \frac{|Z_L - Z_{ant}|^2}{|Z_L + Z_{ant}|^2} = 1 - \frac{|VSWR - 1|^2}{|VSWR + 1|^2} \quad 4.1.2$$

Donde:

Z_L Es la impedancia de carga vista en las terminales de la antena

Z_{ant} Es impedancia de entrada de la antena

VSWR Es la tensión de relación de onda estacionaria en la línea de transmisión

Los posibles valores de q son de 0 a 1, cuando es 1 hay un perfecto acoplamiento de impedancia (VSWR = 1).

4.2. NUMERO DE ELEMENTOS.

El desarrollo para obtener el número de elementos y la separación entre ellos empieza de la manera siguiente.

Como se muestra en la figura anterior el ángulo α limita las longitudes de los dipolos.

El factor τ para el ALPD ES

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} < 1 \quad 4.2.1$$

Los triángulos rectángulos del ángulo $\frac{\alpha}{2}$ nos muestran que

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{L_n/2}{R_n} = \frac{L_{n+1}/2}{R_{n+1}} \quad 4.2.2$$

Entonces

$$\frac{L_1}{R_1} = \dots = \frac{L_n}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{R_{n+1}} = \dots = \frac{L_N}{R_N} \quad 4.2.3$$

Utilizando el resultado en la ec (4.2.1) nos da

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{L_n} \quad 4.2.4$$

Entonces, la razón de posición de elementos sucesivos iguala a la razón de longitudes de dipolos sucesivos.

El factor de espaciamiento para la ALPD se define como

$$\sigma = \frac{d}{2L_n} \quad 4.2.5$$

Donde los espaciamientos de elementos como los mostrados en la figura anterior están dados por

$$d_n = R_n + R_{n+1} \quad 4.2.6$$

pero $R_{n+1} = \tau R_n$

$$d_n = R_n - \tau R_n = (1 - \tau) R_n \quad 4.2.7$$

de la ecuación (4.2.2) $R_n = L_n/2 \tan(\alpha/2)$.

Utilizando la ecuación (4.2.7) nos da

$$d_n = (1 - \tau) \frac{L_n}{2 \tan(\alpha/2)} \quad 4.2.8$$

Sustituyendo en la ecuación (4.2.5) nos da

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} = \frac{1 - \tau}{4 \tan(\alpha/2)} \quad 4.2.9$$

ó

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1 - \tau}{4 \sigma} \right) \quad 4.2.10$$

Combinando la ecuación (4.2.5) con la (4.2.4) notamos que todas las dimensiones están graduadas por:

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} \quad 4.2.11$$

Como se ha visto en otras antenas log-periódicas, también hay una región activa en la ALPD donde unos cuantos dipolos cercanos al que es $1/2$ longitud de onda proveen más corriente que otros elementos radiantes. Es conveniente señalar que la operación de la ALPD como similar a la de la antena Yagi-Uda; El dipolo más grande que el dipolo más activo (con la mayor corriente) se comporta como un reflector y el dipolo adyacente

más corto se comporta como un director.

La radiación es entonces del vértice, la cuña que forma la antena - forma una punta de flecha en dirección del haz principal del patrón de radiación.

Conforme cambia la frecuencia de operación, la región activa pasa a una diferente porción de la antena por lo que los límites de frecuencia difícilmente se determinan por las frecuencias a las cuales el más grande y el más pequeño de los elementos son resonantes a media onda esto es.

$$L_1 \approx \frac{\lambda_L}{2} \quad \text{y} \quad L_U \approx \frac{\lambda_U}{2} \quad 4.2.12$$

Donde:

λ_L Longitud de onda de la frecuencia del límite inferior

λ_U Longitud de onda de la frecuencia del límite superior

Como la región activa no está confinada completamente a un dipolo, algunas veces se añaden dipolos a cada extremo del arreglo para asegurar un funcionamiento adecuado en la banda escogida.

El número de dipolos adicionales requeridos es una función de τ y σ . Para aplicaciones ni críticas no son requeridos aunque la solución más práctica es seleccionar la anchura de la banda un poco más grande.

El patrón, ganancia e impedancia de una ALPD dependen de los parámetros de diseño τ y σ . Los contornos de ganancia fueron graficados como una función de los parámetros por R.L. Carrel. Es notorio que para una alta ganancia, es más grande el valor requerido de τ , lo cual significa una lenta expansión a través de la antena, por consiguiente una ALPD -

más larga, la ganancia es afectada levemente por el grueso del dipolo aumenta 0.2 dB al duplicar el grueso ¹.

La ganancia óptima se muestra en la siguiente figura y nos da el factor de escala más pequeño para una ganancia dada.

Las ALPD se pueden construir de tamaño reducido ó utilizando técnicas de circuito impreso².

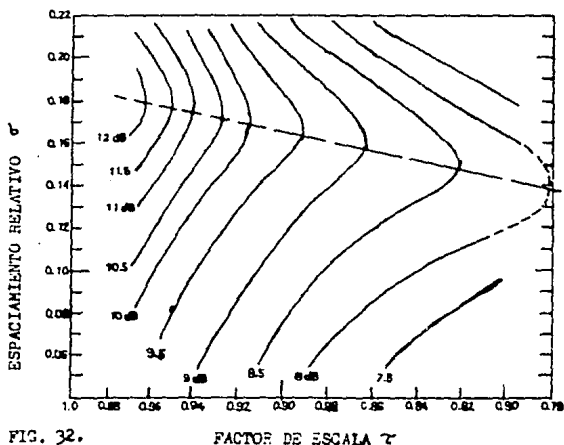


FIG. 32.

FACTOR DE ESCALA γ

- 1 V. Rumsey, "Frequency Independent Antennas", Academic Press, New York, 1966.
- 2 D. F. LiFonzo, "Reduced size log-periodic dipole array antenna", Microwave Journal, vol. 7, pp. 37-42, Dec. 1964.
S. C. Yuo, "Size reduced log-periodic dipole array antenna", Microwave Journal, vol. 15, pp. 27-33, Dec. 1972
C. K. Campbell, et. al., "Design of stripline log-periodic dipole antenna", IEEE Trans. on antennas and propagation, vol. AP-25, pp. 718-721, Sept. 1977

4.3. RELACION DE LONGITUD A DIAMETRO.

La relación de longitud a diámetro es muy importante ya que por medio de esta relación se determina la impedancia de un dipolo.

Por medio de esta relación se pueden determinar parámetros de diseño, como es el valor requerido de impedancia de entrada. Para calcularla es conveniente trabajar en términos de un promedio de la impedancia característica de los elementos.

Una fórmula aproximada para la impedancia característica promedio es la siguiente:

$$Z_a = 120 \left(\ln \frac{h}{a} - 2.25 \right) \quad 4.3.1$$

Donde:

Z_a Impedancia característica promedio de los elementos

h/a Razón de media longitud a radio $h/a = L/D$

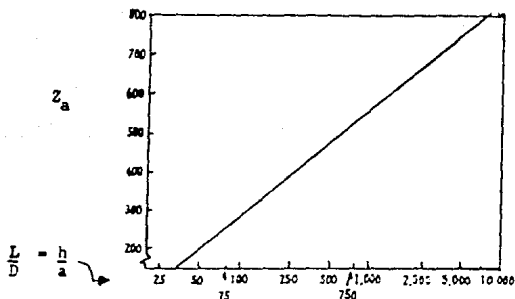


FIG. 33. Gráfica para la impedancia característica promedio.

La carga producida por los elementos depende del espaciamento.

4.4. LINEA DE ALIMENTACION DE ELEMENTOS.

Para determinar la separación de la línea de alimentación se sigue el procedimiento descrito a continuación. A continuación se muestra una gráfica indicando el efecto de carga producido por los elementos.

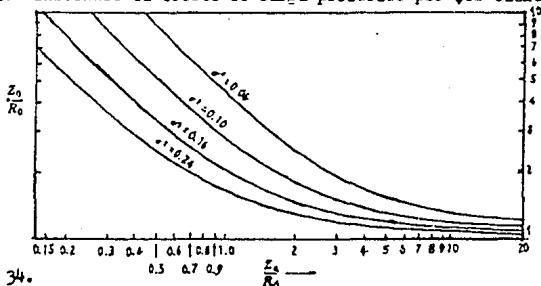


FIG. 34.

Impedancia característica relativa de la línea de alimentación como función de la impedancia característica relativa de los e elementos dipolares que cargan la línea Z_a/R_0

A continuación se calcula el espaciado relativo por medio de la siguiente ecuación.

$$\epsilon' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}$$

4.4.1

dados σ' y Z_a se calcula la siguiente relación Z_a/R_0 donde R_0 es la impedancia de la línea de transmisión.

La impedancia característica de dos varillas paralelas que corresponden a la línea de alimentación, se calcula por la siguiente expresión.

$$\frac{Z_a}{R_0} = \frac{Z_0}{Z_{ent}}$$

4.4.2

Despejando el valor de Z_0 , con los valores β' y de la relación Z_a/R_0 aplicadas en la gráfica anterior.

Esto quiere decir que para que el arreglo tenga R_0 de impedancia de entrada, sebera de existir Z_0 en la línea que alimenta a los dipolos, -- siendo esta una forma entrecruzada.

La separación física que debe de existir entre los dipolos al ser a alimentados se calculará por medio de la siguiente ecuación.

$$S = D \cosh \frac{Z_0}{120}$$

4.4.3

Donde:

- S Es el espaciamiento de centro a centro
- D Es el diámetro de la varilla

Esto completa el diseño, pero aun queda por determinar las varillas de alimentación en cuanto a su diámetro.

Se recomienda utilizar el mismo tipo de varilla que el que se usó en los dipolos. Cuando existe una diferencia considerable en cuanto a la mayor y menor frecuencia, debido a la anchura de banda, Se recoaienda -- disminuir el diámetro en los elementos más pequeños. Lo cual puede ser - superponiendo tubos de material conductor.

4.5. PROGRAMA DE CÁLCULO.

Se realizó el programa de cálculo para efectuar el diseño de una antena independiente de frecuencia conforme al siguiente procedimiento.

Se escoge la anchura de banda en donde existirá la independencia de frecuencia. Se determinan los límites de frecuencia superior e inferior.

$$F_{sup} = 160 \text{ Mhz}$$

$$F_{inf} = 140 \text{ Mhz}$$

Se escoge el valor de ganancia al cual se desea construir el diseño.

$$G = 10.5 \text{ dB}$$

Valor para el cual los valores de factor de escala y espaciamento relativo son los siguientes.

$$\tau = 0.928$$

$$\epsilon = 0.173$$

Entonces de la ecuación (4.2.10) obtenemos:

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{1 - 0.928}{4 (0.173)} = 11.9^\circ$$

La longitud del dipolo más largo se determina a la más baja frecuencia de operación escogida (140 Mhz); de la ecuación (4.2.12) obtenemos que:

$$L_1 = 0.5 (\lambda_L)$$

$$L_1 = 0.5 (2.14)$$

$$L_1 = 1.07 \text{ m}$$

La longitud del dipolo más corto debe ser un poco menor que media longitud de onda de la frecuencia superior; de la ecuación (4.2.12) obtenemos que:

$$L_0 = 0.5 (\lambda_0)$$

$$L_1 = 0.5 (1.875)$$

$$L_0 = 0.94 \text{ m}$$

Las longitudes de los dipolos se determinan dada la ecuación (4.2.4).

$$L_{n+1} = \tau L_n$$

$$L_2 = \tau L_1 = 0.928 (1.07) = 0.99 \text{ m}$$

$$L_3 = \tau L_2 = 0.928 (0.99) = 0.92 \text{ m}$$

$$L_4 = \tau L_3 = 0.928 (0.92) = 0.85 \text{ m}$$

Siendo L_4 , L_0 se completa el proceso que determina la longitud de los elementos obteniendo:

$$L_1 = 1.07 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.99 \text{ m}$$

$$L_3 = 0.92 \text{ m}$$

$$L_4 = 0.85 \text{ m}$$

El valor de L_3 ya era menor que el de L_0 pero con una diferencia muy pequeña, por lo que se escogió un valor menor aún ya que al aumentar elementos en alguno de los extremos mejora el funcionamiento (reflecto-

res o directores).

El espaciamento entre los elementos se determina de la ecuación - (4.2.5).

$$d_n = \sigma^2 L_n$$

$$d_n = (0.173)^2 L_n$$

$$d_n = 0.346 L_n$$

Utilizando las longitudes de los dipolos obtenemos:

$$d_1 = 0.37 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.34 \text{ m}$$

$$d_3 = 0.315 \text{ m}$$

La longitud total del arreglo está dada por la suma de los espaciamentos.

$$d_1 + d_2 + d_3 = 1.025 \text{ m}$$

Lo siguiente es diseñar para la impedancia de entrada R_0 requerida, siendo R_0 el valor de la impedancia de la línea de transmisión desbalanceada que se acopla con la antena. Este valor depende de Z_0 , σ y la relación longitud a diámetro.

Utilizando la ecuación (4.3.1) calculamos la impedancia característica promedio de los elementos.

Dado un diámetro de 0.009 m

$$Z_a = 120 \left(\ln \frac{L}{D} - 2.25 \right)$$

Obteniendo que:

$$Z_{a_1} = 303.5 \text{ ohms}$$

$$Z_{a_2} = 294 \text{ ohms}$$

$$Z_{a_3} = 285 \text{ ohms}$$

$$Z_{a_4} = 275 \text{ ohms}$$

Teniendo el arreglo de dipolos una impedancia en promedio de 289.4 ohms.

Utilizando la relación Z_a/R_0 , donde Z_a es la impedancia característica promedio y R_0 la impedancia de la línea de transmisión.

$$\frac{Z_a}{R_0} = 5.56$$

y determinando el valor de σ' de la ecuación (4.4.1).

$$\sigma' = \frac{0.173}{/ 0.928}$$

$$\sigma' = 0.18$$

Con los valores de Z_a/R_0 y σ' de la gráfica se determina el valor para Z_0/R_0 que es de 1.3 de donde

$$Z_0 = 1.3 R_0$$

$$Z_0 = 1.3 (52)$$

$$Z_0 = 67.6 \text{ ohms}$$

Esto es, se diseña una línea de alimentación de varillas paralelas,

tal que cuando esté descargada tenga una impedancia característica de -
57.6 ohms.

Con el valor de Z_0 se determina el espaciamiento entre los elementos de la ecuación (4.4.3).

$$S = D \cosh \frac{Z_0}{120}$$

$$S = 0.009 \cosh \frac{67.6}{120}$$

$$S = 0.009 (1.16)$$

$$S = 0.011 \text{ m}$$

$$S = 1.1 \text{ cm}$$

Con lo cual se completa el diseño de la antena.

LIST 1.

```

5  REM
10 REM  PROGRAMA DE CALCULO PARA
11 REM  ANTENAS LOG-PERIODICAS
12 REM
13 REM  HECHO POR:
14 REM      JUAN CARLOS
15 REM      GONZALEZ ACEVES
16 REM
18 HOME
20 PRINT
25 PRINT *  PROGRAMA DE CALCULO PARA *
26 PRINT *  ANTENAS LOG-PERIODICAS *
27 PRINT
28 PRINT *ANOTAR LOS DECIBELES DE GANANCIA*
29 PRINT *QUE SE REQUIEREN DE 0.5 EN 0.5 DE 8 A 12*
30 PRINT
31 INPUT *VALOR EN dB = *;DB
35 HOME
36 IF DB < 12.1 AND DB > 7.9 THEN GOTO 40
38 HOME : PRINT * ANOTE EL VALOR CORRECTO*
39 GOTO 30
40 REM ASIGNACION DE VALORES
45 IF DB = 8 THEN SIG = 0.14;TAO = 0.78
46 IF DB = 8.5 THEN SIG = 0.148;TAO = 0.822
47 IF DB = 9 THEN SIG = 0.158;TAO = 0.866
48 IF DB = 9.5 THEN SIG = 0.164;TAO = 0.8915
49 IF DB = 10 THEN SIG = 0.169;TAO = 0.917
50 IF DB = 10.5 THEN SIG = 0.172;TAO = 0.93
51 IF DB = 11 THEN SIG = 0.175;TAO = 0.941
52 IF DB = 11.5 THEN SIG = 0.177;TAO = 0.951
53 IF DB = 12 THEN SIG = 0.18;TAO = 0.964
55 IF SIG = 0 AND TAO = 0 THEN GOTO 38
56 HOME : PRINT
57 PRINT *EL VALOR DE SIGMA ES : *;SIG
58 PRINT
59 PRINT *EL VALOR DE TAO ES : *;TAO
60 PRINT * INSERTE LA FRECUENCIA EN MHZ * : PRINT
61 INPUT *FRECUENCIA SUPERIOR = *;F1
62 PRINT * INPUT *FRECUENCIA INFERIOR = *;F2 : PRINT
63 IF F1 < F2 THEN GOTO 65
64 IF F1 < F2 THEN PRINT *ANOTE LOS VALORES CORRECTAMENTE* : GOTO 60
65 LET L1 = 300 / F1 : LET L2 = 300 / F2
66 PRINT * PRINT *LAS LONGITUDES DE ONDA EN METROS SON:* : PRINT
67 PRINT *LAMBDA 1 = *;L1;"m"
68 PRINT
70 PRINT *LAMBDA 2 = *;L2;"m"
71 PRINT
74 ALF1 = ATN (1 - TAO) / (4 * SIG)
75 ALFA = 160 / 3.141592654 * ALF1
76 PRINT * EL ANGULO DE ABERTURA DE LA ANTENA ES : *;ALFA : PRINT
78 PRINT *PRESIONE UNA TECLA PARA CONTINUAR* : PRINT
79 GET G#

```

```

80 MD = L2 / 2
81 NOME
82 DIM LG(99),D(99)
84 LG(1) = MD
85 FOR I = 1 TO 100
86 D(I) = 2 * SIG * LG(I)
87 PRINT "L =";LG(I),
88 IF LG(I) < 0.95 * (L1 / 2) THEN GOTO 99
89 PRINT " D = ";D(I)
90 LG(I) = TAO * LG(I)
94 GOTO 85
98 REM CALCULO DE ZS Y D
99 PRINT : PRINT
100 INPUT "ANOTE EL DIAMETRO EN METROS =";DIA: IF DIA = 0 THEN GOTO 10
102 IF DIA = 0 THEN GOTO 100
106 PRINT : PRINT " DE EL VALOR DE IMPEDANCIA DE LA "
107 INPUT "LINEA DE TRANSMISION EN OHMS =";RO: PRINT
108 IF RO = 0 THEN GOTO 107
109 DIM FR(99)
110 FR(I) = L2 / 2
111 FOR I = 1 TO N
112 P = 1 + P
113 FUN = FR(I) / DIA
114 ZX = 120 * ( LOG (FUN) - 2.25)
116 ZS = ZS + ZX
117 PRINT " Z DE ELEMENTO Z";P;" =";ZX
118 IF FR(I) < .95 * (L1 / 2) THEN GOTO 122
119 FR(I) = TAO * FR(I)
120 GOTO 111
122 ZA = ZS / P
124 SIP = SIG / SQR (TAO)
126 PRINT : PRINT "SIGMAPRIMA =";SIP
127 PRINT : PRINT " Za/Ro = ";ZA / RO: PRINT
128 PRINT "IMPEDANCIA PROMEDIO = ";ZA
129 PRINT
134 PRINT " SUSTITUYA EL VALOR DE LA LINEA DE TRANSMISION EN LA FIG. 17
136 PRINT : PRINT " OBTENGA EL VALOR NUMERICO Y ANOTELO A CONTINUACION
138 PRINT : INPUT "VALOR NUMERICO = ";ZEN: IF ZEN = 0 OR ZEN > 10 THEN
GOTO 138
140 ZF = (ZEN * ZA) / RO
142 INPUT " DE EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS DE ALIMENTACION EN m =";DF
143 IF DF = 0 THEN GOTO 142
144 CANTF = ZF / 120
146 SEP = LF * (( EXP (CANTF) + EXP ( - CANTF)) / 2)
150 PRINT
152 PRINT " EL VALOR DE LA SEPARACION "
154 PRINT " EN m ES : ";SEP
156 PRINT : PRINT " DESEA CALCULAR CON OTRA GANANCIA ? "
158 GET Y$
160 IF Y$ = "S" THEN GOTO 28
999 END

```

LRUN

PROGRAMA DE CALCULO PARA
ANTENAS LOG-PERIODICAS

ANOTAR LOS DECIBELES DE GANANCIA
QUE SE REQUIEREN DE 0.5 EN 0.3 DE 8 A 12

VALOR EN dB = 10.5

EL VALOR DE SIGMA ES: .172

EL VALOR DE TAO ES : .93

INSERTE LA FRECUENCIA EN MHZ

FRECUENCIA SUPERIOR = 160

FRECUENCIA INFERIOR = 140

LAS LONGITUDES DE ONDA EN METROS SON:

LAMDA 1 = 1.875m

LAMDA 2 = 2.14285714m

EL ANGULO DE APERTURA DE LA ANTENA ES : 11.6400376

PRESIONE UNA TECLA PARA CONTINUAR

L = 1.07142857	D = .368571429
L = .796428572	D = .342771429
L = .926678572	D = .318777429
L = .861811072	

NOTE EL DIAMETRO EN METROS = .009

DE EL VALOR DE IMPEDANCIA DE LA LINEA DE TRANSMISION EN OHMS = 52

Z DE ELEMENTO 21 = 303.542829
 Z DE ELEMENTO 22 = 294.834346
 Z DE ELEMENTO 23 = 286.125863
 Z DE ELEMENTO 24 = 277.41738

SIGMAPRIMA = .178355691

$Z_a/R_0 = 5.58615585$

IMPEDANCIA PROMEDIO = 290.480104

SUSTITUYA EL VALOR DE LA LINEA DE TRANSMISION EN LA FIG. 17

OBTENGA EL VALOR NUMERICO Y ANOTELO A CONTINUACION

VALOR NUMERICO = 1.3

DE EL DIAMETRO DE LAS VARILLAS DE ALIMENTACION EN μ = .009

EL VALOR DE LA SEPARACION
 EN μ ES : 9.01648524E-03

DESEA CALCULAR CON OTRA GANANCIA ?

Como se aprecia en los cálculos efectuados con calculadora y con computadora, la diferencia entre los primeros valores obtenidos no es muy significativa sin embargo cuando se llega al último cálculo que es el valor correspondiente a la separación entre las varillas de alimentación nos encontramos con una pequeña diferencia atribuible a errores decimales.

Cuando se utilizó la calculadora se hizo uso de menos valores a la derecha del punto decimal sin embargo la diferencia entre ambos cálculos nos da una idea, de que la separación entre centros deberá ser la más reducido posible, para así acercarse a la teoría en su construcción, ya que afecta el diámetro de los elementos escogidos.

4.6. PATRON DE RADIACION.

Después de efectuado el diseño de la antena es importante conocer el comportamiento de la antena y una forma de conocerlo es determinar el patrón de radiación, que se puede separar del arreglo en el espacio.

Para determinar su patrón de radiación podemos utilizar el factor de arreglo por el método de inspección.

$$F = \sum_{n=0}^{n-1} A^n e^{jn\psi} \quad 4.6.1$$

El factor de arreglo es una función de ψ y se le puede reconocer como una serie de Fourier. Esto es conveniente para efectos de cálculo, pero usualmente se desean dibujos del campo en términos de del ángulo polar θ .

Si $\psi = \beta d \cos \theta + \alpha$ y el número de elementos es cuatro, $n - 1 = 3$.

$$F = 1 + e^{j(\beta d_1 \cos \theta + \alpha)} + e^{j2(\beta d_2 \cos \theta + \alpha)} + e^{j3(\beta d_3 \cos \theta + \alpha)} \quad 4.6.2$$

Si $\alpha = 180^\circ$ de defasamiento entre los elementos.

$$F = 1 - e^{j\beta d_1 \cos \theta} + e^{j2\beta d_2 \cos \theta} - e^{j3\beta d_3 \cos \theta} \quad 4.6.3$$

Dadas las distancias entre los elementos y suponiendo que no es considerable la diferencia entre los elementos para una frecuencia dada ya que cuando se trabaja en una frecuencia unos trabajan como reflectores y otros como directores.

Se toma la frecuencia a la cual se va a calcular para determinar

la constante de fase.

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{y} \quad \lambda = \frac{300}{\text{Frec. en Mhz}} \quad 4.6.4$$

Entonces

$$F = 1 - e^{j\beta d_1 \cos \theta} + e^{j2\beta d_2 \cos \theta} - e^{j3\beta d_3 \cos \theta} \quad 4.6.5$$

Al variar el ángulo θ obtendremos la magnitud del factor de arreglo, como muestra de forma más explícita la siguiente figura.

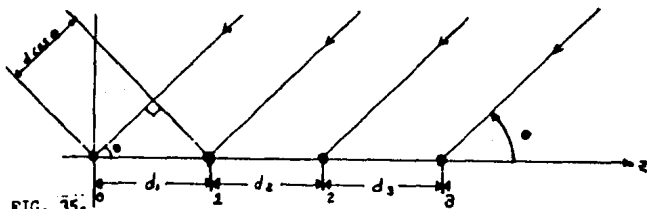


FIG. 35.

Por lo cual se efectúa un programa para obtener el factor de arreglo en magnitud $|F|$ al obtenerse los valores en función del ángulo θ se normalizan para facilitar su graficación. Posteriormente se toman los valores obtenidos, el mayor entre el promedio para obtener la ganancia.

$$G = \left(20 \log_{10} \frac{F_{\max}}{F_{\text{prom}}} \right) \quad 4.6.6$$

En el caso de tener más elementos se deberán considerar en cuanto al número de elementos y las distancias que los separan.

* Ver apéndice B

```

1 REM ~~~~~
2 REM
3 REM   PROGRAMA PARA EL CALCULO
4 REM
5 REM   DEL PATRON DE RADIACION.
6 REM
7 REM ~~~~~
8 REM
9 REM   REALIZADO POR JUAN CARLOS
10 REM      GONZALEZ ACEVES
12 HOME : PRINT " DE LOS VALORES DE LAS DISTANCIAS " : PRINT " EN METROS
"
15 PRINT
20 INPUT " VALOR DE D1 = ";D1
21 PRINT
22 INPUT " VALOR DE D2 = ";D2
23 PRINT
24 INPUT " VALOR DE D3 = ";D3
26 PRINT
28 DIM TE(179),F(300)
30 LET E = 2.71828
31 INPUT " DE EL VALOR DE LA FRECUENCIA EN Mhz = ";BET
32 PI = (BET * 6.2131853) / 300
45 PRINT : PRINT "DE 0 A 180 GRADOS"
50 INPUT " DE EL INTERVALO ?";N
55 PRINT : PRINT "ANGULO           VALOR NORMALIZADO": PRINT
60 FOR I = 0 TO 180 STEP N
65 TE = (I * 3.141592) / 180
70 F1 = (PI * D1 * COS (TE))
72 A = EXP (F1)
75 F2 = (PI * 2 * D2 * COS (TE))
77 B = EXP (F2)
80 F3 = (PI * 3 * D3 * COS (TE))
82 C = EXP (F3)
85 F(I) = 1 - A + B - C
86 IF I > 1 THEN GOTO 88
87 LET FF = F(I)
88 F = ABS (F(I) / FF)
90 PRINT "TETA ";I," FA ";F
91 RE = RE + 1
92 SUM = F(I) + SUM
93 PROM = SUM / RE
100 NEXT I
102 GAN = FF / PROM
104 FIN = LOG (GAN) / 2.30258509
106 PRINT : PRINT "EL VALOR DE LA GANANCIA ES DE : ";20 * FIN;" dB"
108 PRINT " DESEA CALCULAR OTRA FRECUENCIA SI O NO " : GET R$
110 IF R$ = "S" THEN GOTO 31
115 PRINT : PRINT " FINAL DEL PROGRAMA."
120 END

```

CRUN

DE LOS VALORES DE LAS DISTANCIAS
EN METROS

VALOR DE D1 = .3685

VALOR DE D2 = .3427

VALOR DE D3 = .3187

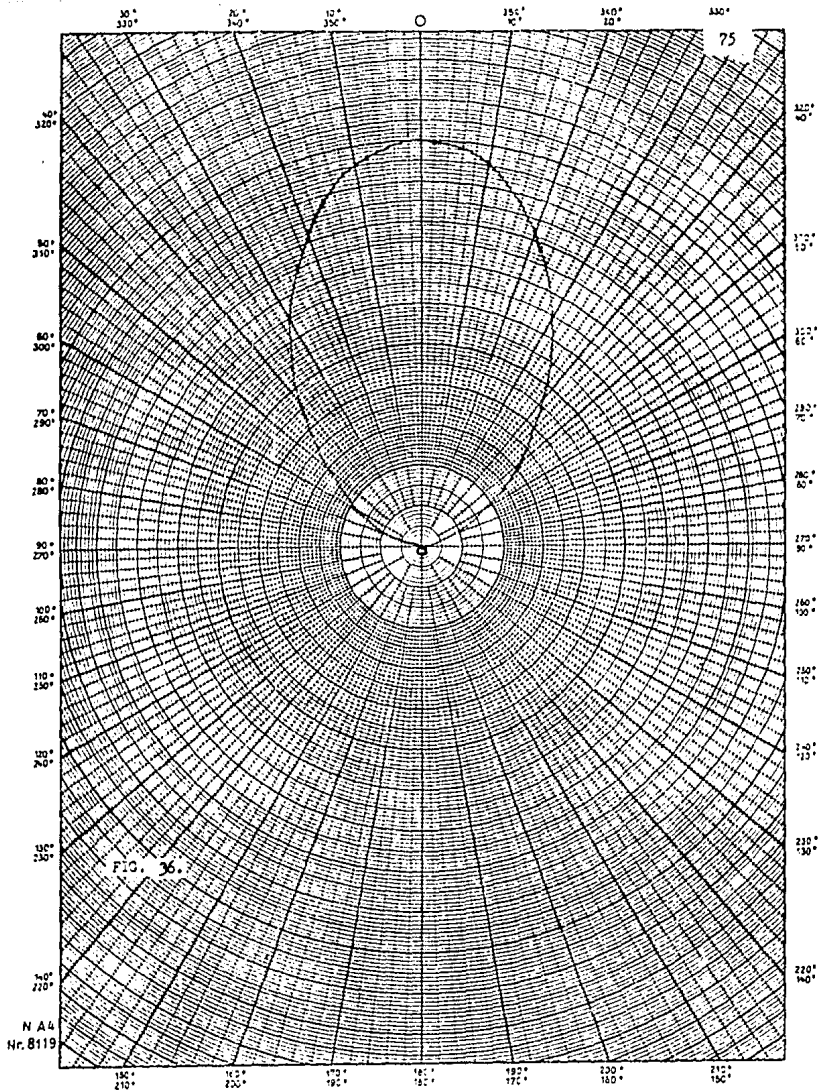
DE EL VALOR DE LA FRECUENCIA EN MHZ =140

DE 0 A 180 GRADOS
DE EL INTERVALO 710

ANGULO VALOR NORMALIZADO

ANGULO	VALOR NORMALIZADO
TETA 0	FA 1
TETA 10	FA .953859839
TETA 20	FA .828446894
TETA 30	FA .65645119
TETA 40	FA .475589352
TETA 50	FA .314957141
TETA 60	FA .188925377
TETA 70	FA .0988597481
TETA 80	FA .0386530477
TETA 90	FA 5.71059549E-08
TETA 100	FA .0244674571
TETA 110	FA .0401003506
TETA 120	FA .0503405239
TETA 130	FA .0572409143
TETA 140	FA .0619768765
TETA 150	FA .0652122868
TETA 160	FA .0673226293
TETA 170	FA .0685179168
TETA 180	FA .0689053457

EL VALOR DE LA GANANCIA ES DE : 13.4224114 dB
DESEA CALCULAR OTRA FRECUENCIA SI O NO



GRUN

DE LOS VALORES DE LAS DISTANCIAS
EN METROS

VALOR DE D1 = .3685

VALOR DE D2 = .3427

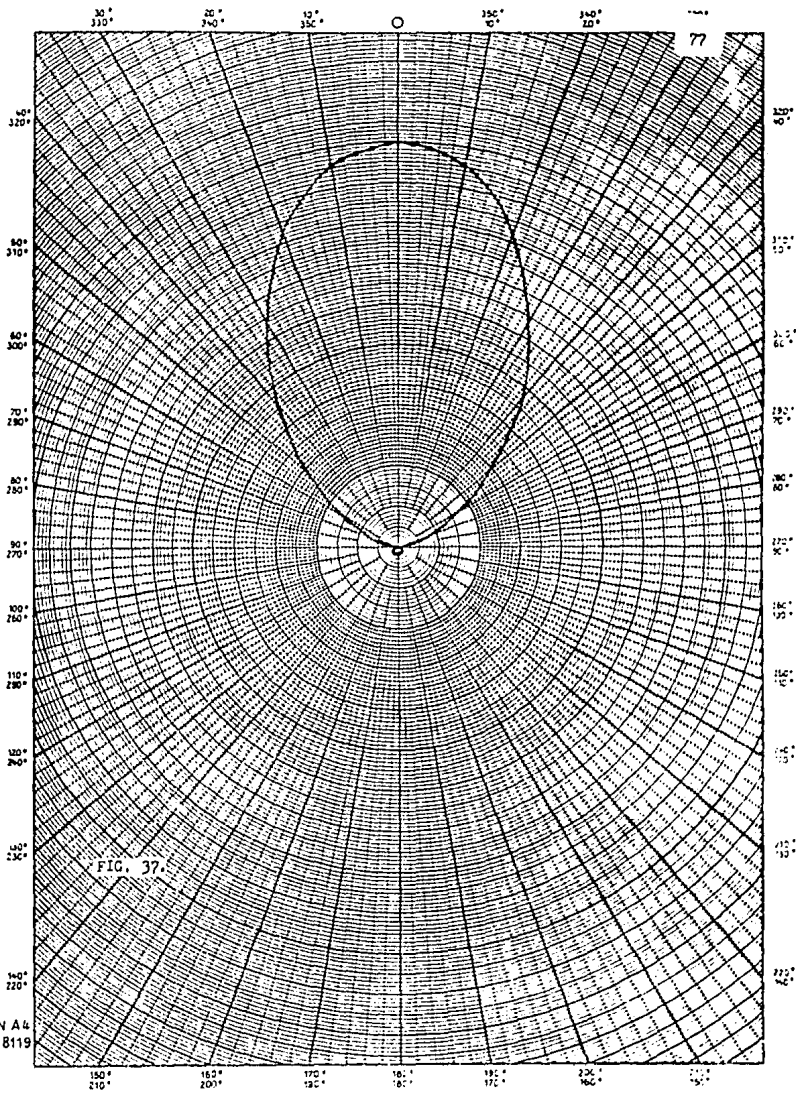
VALOR DE D3 = .3167

DE EL VALOR DE LA FRECUENCIA EN MHz =150

DE 0 A 180 GRADOS
DE EL INTERVALO ?10

ANGULO	VALOR NORMALIZADO
TETA 0	FA 1
TETA 10	FA .951115131
TETA 20	FA .819065024
TETA 30	FA .640171533
TETA 40	FA .455434003
TETA 50	FA .295178269
TETA 60	FA .172963802
TETA 70	FA .0884087534
TETA 80	FA .0338263667
TETA 90	FA 4.91033307E-08
TETA 100	FA .0207230926
TETA 110	FA .0336112823
TETA 120	FA .0418923193
TETA 130	FA .0474067218
TETA 140	FA .0511670693
TETA 150	FA .0537273464
TETA 160	FA .0553942236
TETA 170	FA .0563373066
TETA 180	FA .0566428251

EL VALOR DE LA GANANCIA ES DE : 13.4490343 dB
DESEA CALCULAR OTRA FRECUENCIA SI O NO



JIN A 4
Nr. 8119

¿RUN

DE LOS VALORES DE LAS DISTANCIAS
EN METROS

VALOR DE D1 = .3687

VALOR DE D2 = .3427

VALOR DE D3 = .3185

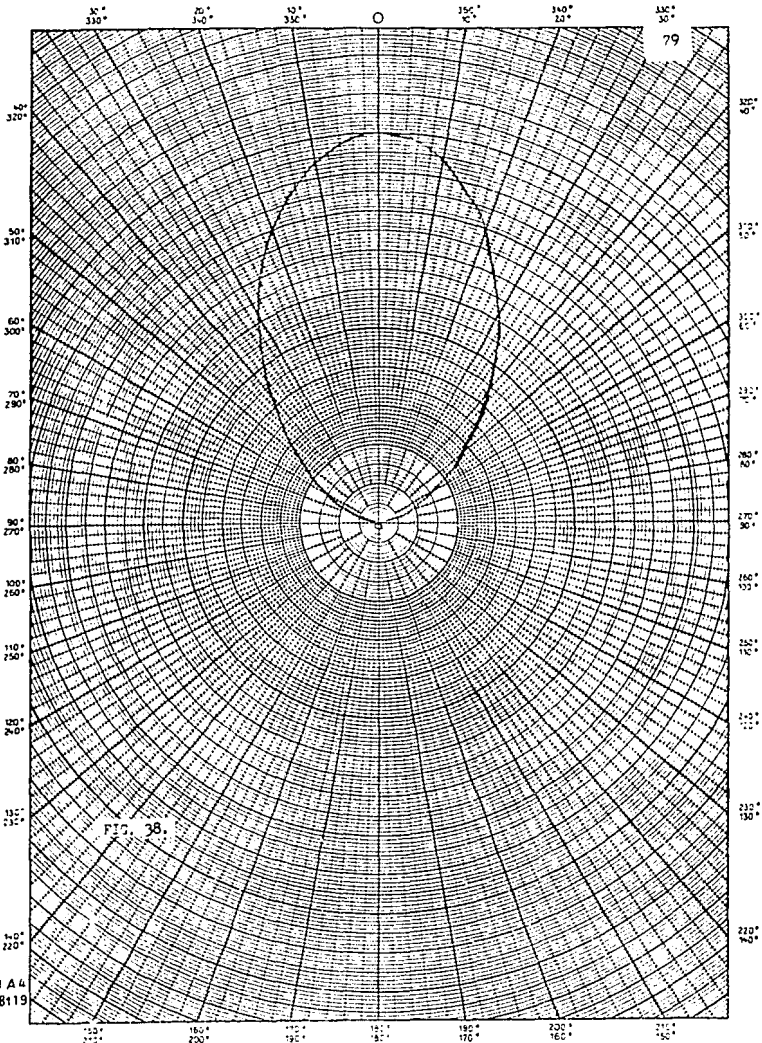
DE EL VALOR DE LA FRECUENCIA EN Mhz =160

DE 0 A 180 GRADOS
DE EL INTERVALO 210

ANGULO	VALOR NORMALIZADO
TETA 0	FA 1
TETA 10	FA .94538027
TETA 20	FA .809756736
TETA 30	FA .624283197
TETA 40	FA .436094989
TETA 50	FA .276561823
TETA 60	FA .156288584
TETA 70	FA .0790188359
TETA 80	FA .0295848517
TETA 90	FA 4.21416446E-06
TETA 100	FA .0175511774
TETA 110	FA .0281860279
TETA 120	FA .0348974222
TETA 130	FA .0393198498
TETA 140	FA .0423191772
TETA 150	FA .0443555082
TETA 160	FA .0456790003
TETA 170	FA .0464269627
TETA 180	FA .0466691273

EL VALOR DE LA GANANCIA ES DE : 13.4978634 dB
DESEA CALCULAR OTRA FRECUENCIA SI O NO

FINAL DEL PROGRAMA.



Como se aprecia en los valores obtenidos del patron de radiación - por medio del programa y las gráficas obtenidas de los valores nos damos cuenta que la variación es mínima al efectuarse el cambio de frecuencia, por lo que esto disminuye la importancia del programa del patrón de radiación.

Es muy importante observar que la ganancia obtenida por el programa es mayor que la que se planteó en un principio, pero hay que considerar al respecto que se añadió un elemento extra, que el cálculo es puramente teórico y al llevar a efecto la construcción de la antena existirán algunas fallas con lo cual no se cumplirá esta ganancia obtenida, - sin embargo es de desear que al disminuir no llegue por debajo del valor inicialmente planteado.

CAPITULO v
CONSTRUCCION
Y MEDICIONES

C A P I T U L O V

Para efectuar las mediciones es necesario el uso de equipo especializado, el cual es muy difícil de conseguir debido a que no se fabrica en el país, además es necesario tener una descripción completa de la antena, la selección del material, su construcción y la forma en que se efectúa la medición.

5.1. SELECCION DEL MATERIAL.

El material se seleccionó de acuerdo a las necesidades prácticas de una antena seleccionando estos como soportes y elementos.

La selección del material para soportes se llevó a cabo cumpliendo las siguientes características:

- a) Ser un buen aislante.
- b) Ser resistente a la corrosión y a la intemperie.
- c) Ser lo suficientemente rígido.
- d) Facilidad para su maquinado.

Los materiales seleccionados para soporte son Acrílico y Fibra de Vidrio con Resina.

Debido a que debe ser un buen aislante es importante la respuesta de un material dieléctrico con respecto a la frecuencia, ya que la polarización del material requiere del desplazamiento de partículas y la inercia de ellas tiende a prevenir las o detenerlas de seguir rápidas oscilaciones del campo aplicado.

Como se puede observar en la referencia (2.), con las fórmulas de dispersión dieléctrica que muestran que a ciertas frecuencias se produce en el material el mismo tipo de efecto macroscópico como el de la conductividad, lo cual se debe de considerar para efectos prácticos de construcción.

Cuando sucede la polarización electrónica la frecuencia de resonancia es muy alta, del orden de las ondas ultravioletas. Los otros tipos de polarización exhiben efectos cualitativamente similares a la pola

rización electrónica, pero con la diferencia que suceden a más bajas frecuencias de resonancia. El comportamiento se muestra en la siguiente figura.

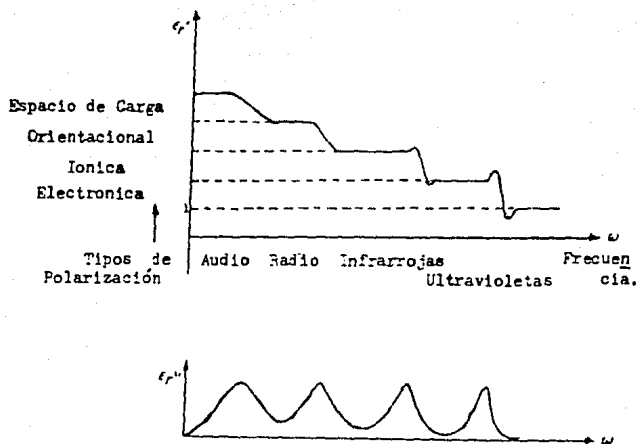


FIG. 39. Variación de la permitividad con la frecuencia.

La frecuencia de resonancia esta asociada con las masas efectivas de los cuerpos microscópicos contribuyendo a los efectos de polarización. Entre mayor es la masa efectiva, es menor la frecuencia de resonancia.

Al utilizar soportes de acrílico y fibra de vidrio se deberá observar el límite superior de la independencia de frecuencia. Es también

muy importante mencionar que el límite inferior de frecuencia estará determinado sobre todo por las posibilidades de maquinado y el tamaño de los elementos, ya que el tamaño y el peso de los elementos puede llegar a ser considerable y los soportes deberán ser más fuertes.

La selección del material de los elementos de la antena se llevó a cabo escogiendo un material con las siguientes características.

- a) Ser un buen conductor.
- b) Ser resistente a la corrosión y a la intemperie.
- c) Ser ligero.
- d) Ser resistente mecánicamente.
- e) Tener un bajo costo.

Debido a que la antena se encuentra expuesta a la intemperie durante toda su existencia, por lo que los materiales empleados en la construcción de los elementos deberán resistir al medio ambiente.

En lo que respecta a la corrosión sufrida por la antena deberá soportar la que se presenta por vía húmeda en los soportes de la antena - (tornillos o remaches) esto se presenta incluso entre el cobre del cable de alimentación. Es necesario que los materiales soporten las reacciones químicas que afectan los metales y las aleaciones. Dos metales unidos a la intemperie originan una diferencia de potencial, debido a la formación de un electrolito al unirse el óxido con el agua y al ser diferente el lugar que ocupan los metales en la tabla de los elementos, uno de ellos es el cátodo y el otro es el ánodo, fluyendo corriente entre ellos.

La corrosión descrita se llama gálvanica, siendo el más desgastado el ánodo que es el lugar por donde la corriente abandona el metal, es te efecto se ve acentuado por los compuestos ácidos y de sales que acarrea el agua de lluvia en ciudades muy contaminadas.

Cuando el electrolito se estanca en alguna parte de la antena, es pecíficamente en el material, este tipo de corrosión se conoce con el nombre de corrosión en las grietas o por concentración o por depósitos.

Además cuando el material se encuentra expuesto a tensiones en un medio corrosivo existe una corrosión bajo tensión, y si además existe un alto desgaste mecánico se tiene una corrosión por erosión.

La mejor solución al problema de la corrosión es la anodización del material, lo cual consiste en cubrir el material con un oxidante por electrólisis.

El material deberá ser resistente mecánicamente ya que no sólo de berá de soportarse a sí mismo cada elemento ya que además de su peso existen esfuerzos debidos a la resistencia que estos opongan a la velocidad del viento y a las aves que se lleguen a posarse sobre ellos.

Los materiales seleccionados fueron el cobre y el aluminio y se o ptó por el aluminio electrolítico debido a su bajo costo comparado con el del cobre.

5.2. CONSTRUCCION.

La construcción de la antena, como la de cualquier otro prototipo se lleva a cabo con el objeto de lograr una comprobación física de los parámetros de diseño de la antena y demostrar la factibilidad de su realización física.

La construcción de aparente sencillez, involucra el comportamiento de todos los elementos que intervienen en la antena ya que van a estar afectados por la energía electromagnética en forma de campos eléctrico y magnético.

Al efectuarse la construcción de la antena se trata de seguir el diseño analítico de la misma y las recomendaciones indicadas en las consideraciones de diseño; esto es con el objeto de aproximarse de la forma más eficiente a la teoría ya que es deseable tener un óptimo funcionamiento.

Inicialmente se procedió a determinar los materiales que se utilizarían por medio de selección, posteriormente se siguió el proceso mostrado a continuación:

Para la antena con acrílico.

- 1 Determinar cantidades de los materiales
- 2 Adquisición de los materiales
- 3 Corte del soporte longitudinal y refuerzos
- 4 Perforación del soporte longitudinal y refuerzos
- 5 Corte de las varillas de alimentación

- 6 Corte de los elementos a las longitudes efectivas
- 7 Perforación de los elementos y las varillas de alimentación
- 8 Corte y perforación de las soleras de conexión
- 9 Arzado de varillas elementos y soportes
- 10 Colocación de la línea de transmisión interna para formar el BALUN
- 11 Conexión del conector de la antena
- 12 Revisión de continuidad y rigidez
- 13 Colocación del soporte central de la antena, con su abrazadera

Para la antena de fibra de vidrio

- 1 Determinar cantidades de los materiales
- 2 Adquisición de los materiales
- 3 Moldeo de los soportes de fibra de vidrio y resina
- 4 Moldeo del soporte central
- 5 Perforación de todos los soportes
- 6 Corte de las varillas de alimentación
- 7 Corte de los elementos a las longitudes efectivas
- 8 Perforación de las varillas de alimentación y elementos
- 9 Corte y perforación de los soportes de conexión
- 10 Arzado de las varillas de alimentación y elementos
- 11 Colocación de la línea de transmisión interna para formar el BALUN
- 12 Colocación de soportes de conexión
- 13 Conexión del conector de la antena
- 14 Colocación de abrazadera central
- 15 Revisión de continuidad y rigidez

Estos procedimientos concluyen la construcción de la antena en su totalidad, desde la selección de material hasta la comprobación de continuidad en los elementos. No se debe de olvidar que las varillas estarán alineando a los elementos con un defase en la señal de 180° .

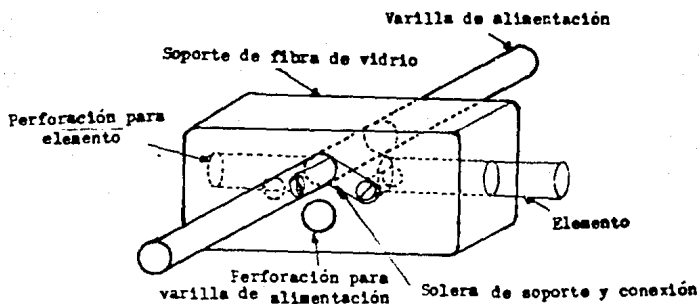
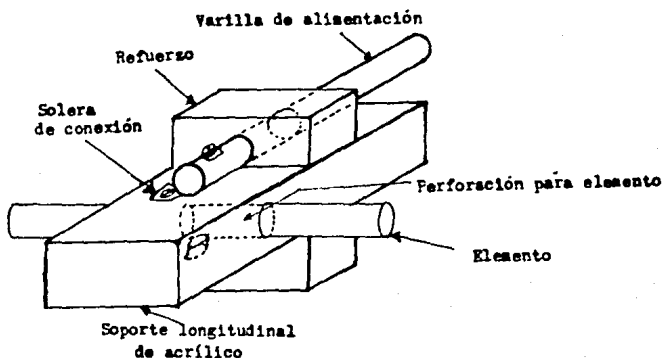
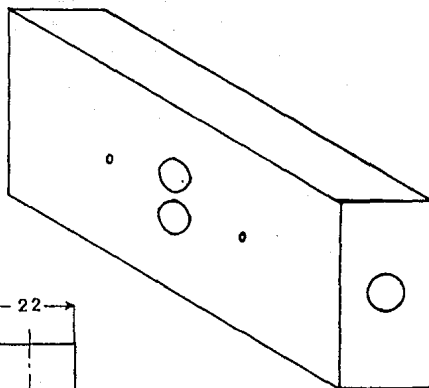
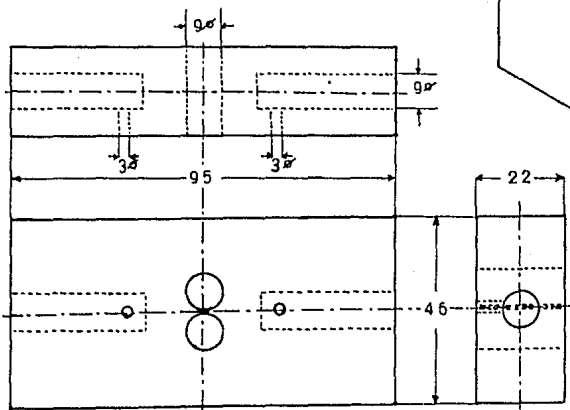


FIG. 40. Descripción de antenas de Acrílico y Fibra de vidrio.
Procedimiento de construcción.

MATERIAL :
FIBRA DE VIDRIO



41

SOPORTE DE ANTENA

ACOT: mm

ESC: 1:1

INGENIERIA

5.3 MEDICIONES.

El objetivo de efectuar las mediciones es la comprobación del funcionamiento de la antena; ya que al haber finalizado la construcción se efectuó una prueba de continuidad la cual nos indicó que la antena no formaba un circuito en corte en sus terminales de entrada y que las conexiones de las varillas de alimentación a los elementos estaban correctas.

5.3.1. Patrón de Radiación.

Aunque la anchura de banda de la antena es muy pequeña el objetivo es comprobar su patrón de radiación con el equipo existente el cual también tiene una anchura de banda estrecha, la prueba se efectúa lo más cercanamente posible a la frecuencia media de la antena.

Se utilizó el siguiente material:

- Un transmisor KENWOOD TR9000 con antena para transmisión de la señal.
- Un medidor de intensidad de campo 704 B para graficar el patrón de radiación.
- Antena Logarítmica periódica dipolar de 140 a 160 MHz.

Se efectuó el siguiente procedimiento:

Se utilizó el transmisor con su antena para que transmitiera lo más cercanamente posible a la frecuencia media de la antena, 150 MHz.

A continuación se conectó la antena al medidor de intensidad de campo, se sintonizó el medidor a la frecuencia de 149 MHz donde se obtuvo respuesta y posteriormente se anotaron las mediciones efectuadas, empezando con la antena orientada para máxima ganancia y haciéndola girar

gradualmente, con lo que se obtuvieron las siguientes lecturas.

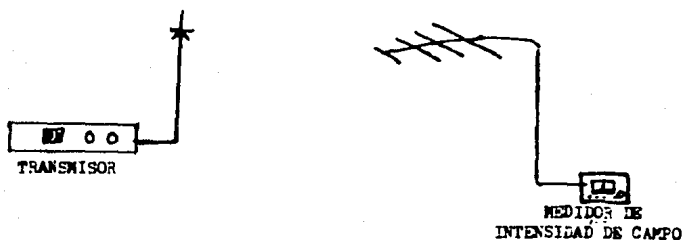
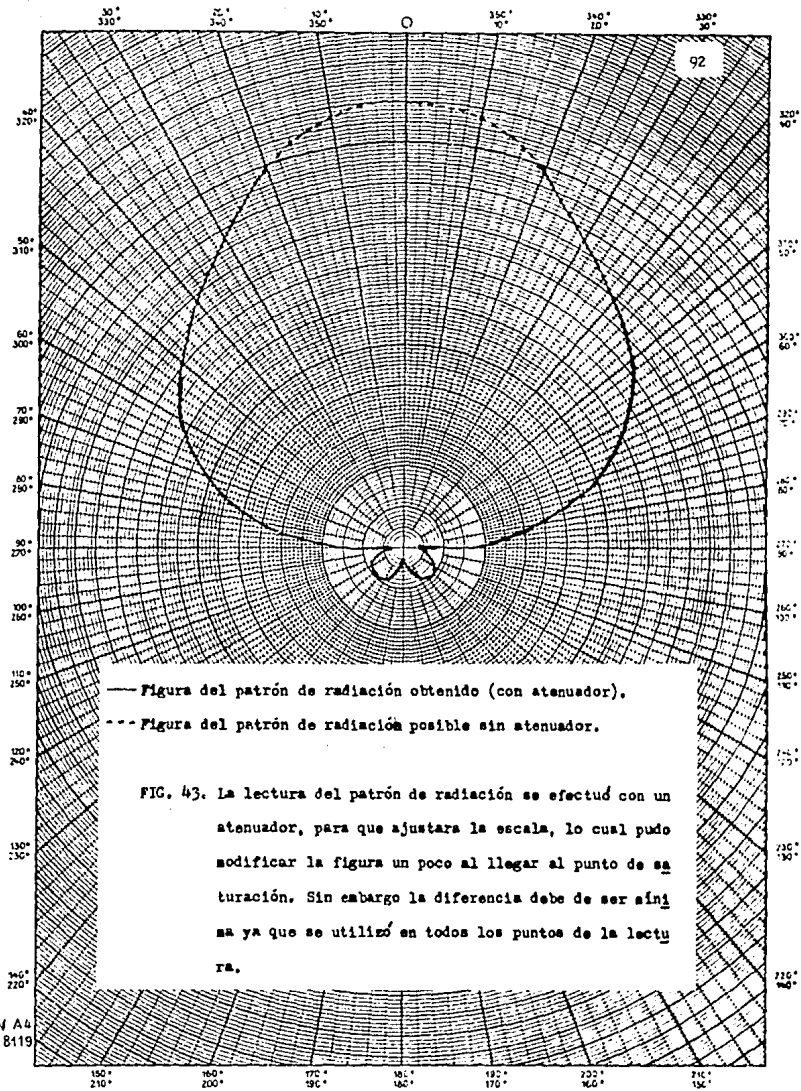


FIG. 42. FORMA DE CONEXION.

VALORES OBTENIDOS

Angulo en grados	Lectura	Valor Normalizado
0°	100	1
10°	100	1
20°	98	0.98
30°	88	0.88
40°	80	0.8
50°	71	0.71
60°	63	0.63
70°	52	0.52
80°	37	0.37
90°	15	0.15
100°	2	0.02
110°	7	0.07
120°	9	0.09
130°	9	0.09
140°	10	0.1
150°	9	0.09
160°	7	0.07
170°	5	0.05
180°	2	0.02

La ganancia obtenida del patrón de radiación es de 7.9 dB aunque hay que considerar que se atenuó la señal para poder efectuar la lectura no significa que varíe la lectura pero es más conveniente comparar con una antena de ganancia conocida.



A continuación se procedió a conectar la antena en el transisor y se debía de comprobar si la antena estaba transmitiendo en forma direccional.

Se utilizó el siguiente material:

- Un transisor KENWOOD TR9000.
- Un medidor de intensidad de campo 2-100, con antena de prueba.
- Una antena Logarítmica periódica dipolar de 140 a 160 MHz.

Se efectuó el siguiente procedimiento:

Se utilizó la antena logarítmica conectada al transisor, después se colocó el medidor de intensidad de campo orientado para máxima ganancia y se hizo girar gradualmente lo cual provocó una variación en el medidor que comprobaba que la antena era direccional. Como se muestra en la siguiente figura:

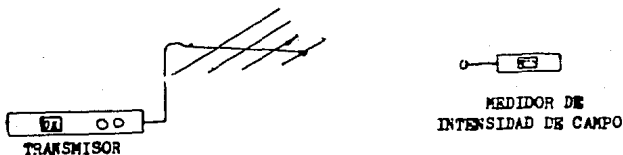


FIG. 44.

Este procedimiento comprueba las propiedades directivas de la antena tanto en recepción como en transmisión.

5.3.2. Impedancia.

El objetivo de medir la impedancia de entrada de la antena es el de comprobar si los valores calculados se apegan a la realidad y si existe alguna diferencia, ver que tan importante es esta; ya que es de considerable importancia debido al hecho de que un acoplamiento significa pérdida de potencia en la antena lo cual se debe de evitar al máximo.

Se utilizó el siguiente material:

- Un medidor de impedancia LIP-870A.
- Un generador de señal de RF LSG-17.
- Una antena Logarítmica periódica dipolar de 140 a 160 MHz.

Se efectuó el siguiente procedimiento:

Se conectó la antena al medidor de impedancia al cual se le conectó además el generador para que la señal de RF pasara a través de él hacia la antena, en la frecuencia media de la antena de 150 MHz después se varió el cuadrante del medidor de impedancia hasta que la aguja indicó el valor de la impedancia de entrada de la antena.

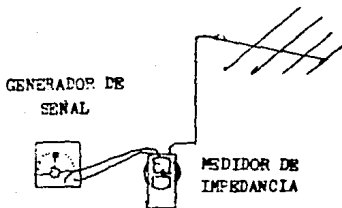


FIG 45.

El valor de impedancia que fue obtenido en la antena fue de 46 Ohms lo cual representa una variación del 10.8 % que debería ser menor.

Con el equipo conectado de esta forma se trató de medir la frecuencia de resonancia de la antena sin embargo el generador de señal tenía como límite superior la frecuencia de 150 MHz por lo cual no se pudo identificar la frecuencia de resonancia ya que no era del todo claro una variación en el medidor a la frecuencia de resonancia calculada.

5.3.3. RELACION DE ONDA ESTACIONARIA.

Es de gran importancia la medición de la relación de onda estacionaria (R.O.E.) ya que esta relación o razón nos indica la existencia de una reflexión de la señal debido a un desacoplamiento de la antena, lo cual representa una pérdida de potencia y además que parte de la potencia enviada a la antena se regresa en dirección del transmisor, ya que siempre que haya una reflexión habrá una onda estacionaria, y siempre que haya una onda estacionaria habrá una reflexión.

Se utilizó el siguiente material:

- Un medidor de relación de onda estacionaria 2-100.
- Un transmisor KENWOOD TR9000.
- Una antena Logarítmica periódica dipolar de 140 a 160 MHz.

Se efectuó el siguiente procedimiento:

Se conectó el medidor a la antena y al transmisor de tal forma que se encontraba este en la línea de transmisión con objeto de medir la R.O.E.

Las conexiones se muestran en la siguiente figura;

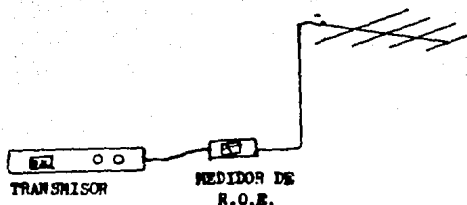


FIG. 46.

El instrumento de medición toma muestra de las corrientes que fluyen por la línea de transmisión y muestra en el medidor la R.O.E. (escala superior) además del porcentaje de potencia pérdida (escala interna).

La lectura obtenida fue de 2,6 valor que al ser aplicado en la ecuación (4.1.2) nos da por resultado un valor del 80.24 % para el coeficiente de transmisión lo cual nos indica pérdidas por reflexión del 19.76 % lo cual coincide lo indicado en el medidor.

Es muy importante el mencionar que los valores obtenidos en las lecturas no muestran una eficiencia del 100 %, muestran pérdidas debidas a que no existe un acoplamiento perfecto de la antena con el transmisor.

Estas pérdidas son debidas a aspectos reales de la construcción de la antena que no se pueden pasar por alto, como es el hecho de la impedancia que presenta la antena diferente de 50 ohms y una R.O.E. diferente de la razón por la cual la antena no obtuvo el valor calculado de ganancia, la diferencia existente nos muestra que hay un factor muy importante que hay que considerar en el cálculo.

Se hace la recomendación de que para facilitar la construcción de la antena, se debe de prestar mucha atención en el procedimiento ya que la relación longitud a diámetro de los elementos influye directamente en la separación de las varillas de alimentación que es el punto más crítico en la construcción de la antena y al tener una separación mayor facilita su más exacta construcción con respecto a los cálculos.

CAPITULO VI
ASPECTO
ECONOMICO

C A P I T U L O V I

Cuando se trata el aspecto económico de un producto nos encontramos con su costo directo además de una serie de factores indirectos, que intervienen en su realización así como en su utilización, ya que el costo representa una inversión para cumplir con las necesidades.

Una vez que se plantea una necesidad en una economía basada en la especialización y el intercambio de productos, el valor de cada uno de ellos, se determina no por la sustitución entre las posibilidades productivas, sino por la relación y sustitución entre dichos bienes y los demás que a su vez puedan obtenerse.

Visto desde el punto de vista inversión se dice que al satisfacer una necesidad se pueden obtener satisfactores económicos por medio del intercambio.

Es por lo tanto importante cuando se fabrica un prototipo el que este funcione correctamente y sea sencillo de construir, ya que al producirse en serie se presentan otro tipo de problemas que incrementan el -

el costo sobre todo por ser necesaria la utilización de mano de obra especializada.

El costo del producto se va a dividir en gastos directos e indirectos.

- Los gastos directos van a ser, Materia prima, Mano de obra e Infraestructura (Instalaciones, Máquinas, Herramientas,).

--Los gastos indirectos se refieren a los del tipo Administrativo, Transporte, Representación, Capacitación, etc.

Para el caso de la antena podemos determinar el costo de la materia prima para la realización de este tipo de antena.

A continuación se muestra una lista de materiales y precios de la materia prima necesaria para la construcción de la antena.

MATERIAL	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO EN PESOS
Aluminio	Tubo de 9.5 mm: ϕ	6.1 m.	3250.00
Acrílico	Barra de 18 mm.	1.8 m.	2000.00
Fibra de Vidrio	Malla simple	0.5 m ²	528.00
Resina Poliester	Líquida	2 Kg	874.00
Catalizador	Peróxido Líquido Gotero	2 Pza	125.00
Abrazadera	Soporte en U	1 Pza.	60.00

Los precios listados anteriormente incluyen I.V.A. y son válidos al 30 de agosto de 1985.

La lista de precios sólo nos indica el costo de los materiales necesarios para la construcción de la antena y no incluye la maquinaria, -

las herramientas y la mano de obra necesarias para la construcción.

Para una fabricación seria de la antena hay que considerar que será necesaria la utilización de maquinaria y mano de obra especializada, para el caso de una fabricación en serie el costo de la materia prima se reduce y el promedio de horas hombre por antena se puede optimizar.

Sin embargo, el hecho de construir una antena definitivamente no determina el costo de una antena para una fabricación grande sólo nos da una idea, ya que para colocarla es necesario utilizar mástiles tensores, aisladores, cable, conectores y más mano de obra.

Lo anterior nos muestra que el diseñar y construir una antena es un problema y su fabricación en serie o su instalación son diferentes tipos de problema económico que no se deben olvidar ya que es necesario tenerlos presentes para satisfacer las necesidades que se puedan plantear al respecto.

La ventaja que tiene el fabricar equipo sofisticado o sencillo en el país es el hecho de producir fuentes de empleo y substituir importaciones, porque comparativamente una antena fabricada en el extranjero - tiene un costo más elevado para el consumidor nacional por las razones siguientes: un costo más alto en planta debido a una mano de obra más cara, un costo de transportación alto debido a que es traída del exterior, gastos arancelarios (impuestos) altos para proteger el mercado nacional. Por lo cual es importante llevar a cabo proyectos de calidad tecnológica en nuestro país.

CAPITULO VII
CONCLUSIONES

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

En cuanto a su utilidad se refiere debido al hecho que los usuarios no trabajarán en todas las frecuencias, se restringe el uso de la antena a ciertas anchuras de banda, por lo que la antena descrita en este trabajo cumple con la característica de la independencia de frecuencia en la anchura de banda que se proponga.

El tamaño de los elementos restringe de una manera importante las frecuencias de trabajo, ya que a bajas frecuencias el soporte de los elementos es en si un gran problema.

De lo anterior observamos que una antena absolutamente independiente de frecuencia es innecesaria, sin embargo, es mejor tener la independencia de frecuencia que se necesita para no desperdiciar recursos.

Es de gran importancia emplear los materiales correctos y sobre todo seleccionarlos en cuanto a su calidad y costo, como es el caso del aluminio y el cobre con costo muy diferente o como en el caso del acrí-

lico y la fibra de vidrio con una pequeña diferencia en su rigidez y facilidad de moldeo.

Tiene una gran ventaja sobre los métodos convencionales de construcción de un BALUN, al incorporar el BALUN a la estructura de la antena, formado por la línea de transmisión introducida dentro de las varillas de alimentación.

El patrón de radiación permanece casi constante al cambio de frecuencia lo cual es de gran importancia para su aplicación real.

Por medio de un excelente asesoramiento, apoyo y guía, se lograron disipar dudas y aclarar conceptos, adquiriendo nuevos conocimientos muy importantes para el desarrollo de este trabajo.

APENDICE A.

Algunos de los más importantes tipos de antenas utilizadas en la práctica, son balanceadas con respecto a tierra, sin embargo, es conveniente alimentarlas con líneas de transmisión coaxiales por diversas razones, más al ser desbalanceadas las corrientes en el coaxial existen problemas al conectar estructuras balanceadas a otras desbalanceadas.

Normalmente el desbalance de potenciales con respecto a tierra provoca un desbalance en las corrientes, además en grandes estructuras y antenas para transmisión el potencial con respecto a tierra no es fácil de definir, ya que varía en diferentes tipos de la estructura al no tener la misma capacitancia con respecto a tierra.

Al ser tan necesaria la conexión de un sistema balanceado a un desbalanceado, se utilizan artefactos llamados "balun" (contracción inglesa para balanced to unbalanced).

Las corrientes entre el conductor externo y el conductor interno del cable coaxial se deben de balancear, por lo que se efectúa una conexión entre ambos conductores para cancelar la corriente que provoca la diferencia, conexión que no puede ser directamente en las terminales de la antena ya que representa un circuito corto o corto circuito, por lo que se conectan en paralelo a la línea de transmisión en un punto a un cuarto de longitud de onda de las terminales, como se muestra en la siguiente figura.

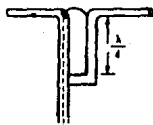


FIG. . Balun para conectar antenas balanceadas a líneas de transmisión coaxiales.

Quando en las líneas de transmisión se necesita efectuar un cambio de impedancia se utiliza un transformador conocido con el nombre de Stub, el cual es de gran utilidad al acoplar las líneas de transmisión para obtener la menor cantidad de pérdidas en la línea de transmisión.

Quando además de balancear la línea de transmisión es necesario acoplar la impedancia de esta, la transformación puede ser incorporada dentro del balun, siendo la razón de la importancia en la forma de conectar líneas coaxiales a líneas paralelas, es que las mismas ideas y métodos se utilizan para excitar antenas, como son las del tipo dipolar como lo es la Antena Logarítmica Periódica Dipolar.

Si esas antenas van a ser excitadas con líneas de transmisión coaxiales, alguna forma de balun es necesaria para mantener el balance y para evitar que las corrientes fluyan por la parte externa de la línea de alimentación coaxial.

APENDICE B.

La realización del programa de computación del Patrón de Radiación está basada en las ecuaciones obtenidas al utilizar el factor de arreglo por el método de inspección (4.6.1 a la 4.6.5).

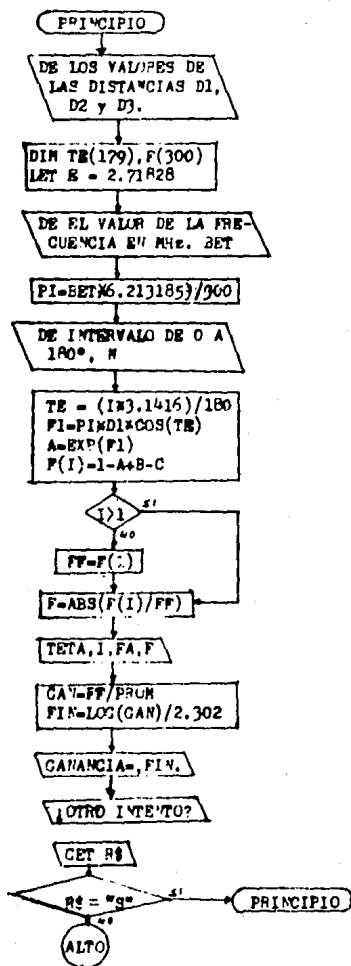
El análisis de la ecuación del factor de arreglo por el método de inspección es una forma similar al método de los momentos como se puede apreciar en la referencia (P.).

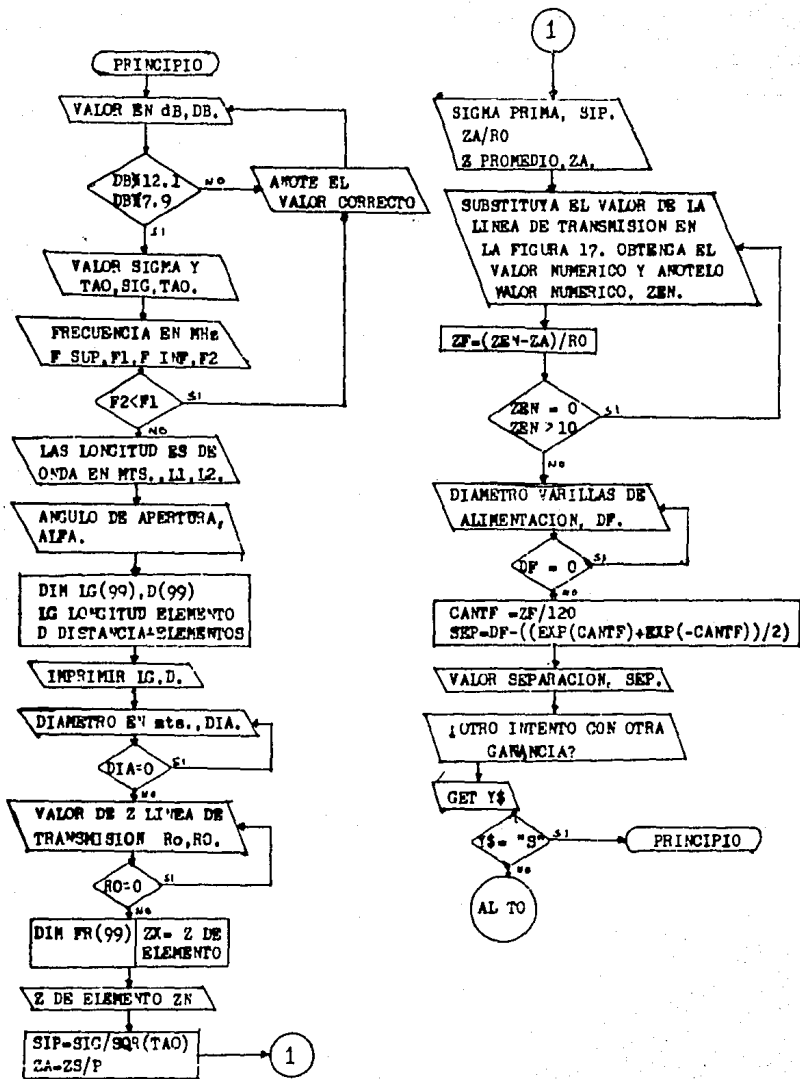
El programa se desarrolla como una aplicación directa de la ecuación obtenida (4.6.5); introduciéndose los datos de las distancias - entre los elementos del arreglo siendo necesario modificar el programa si la antena resultante es de más de cuatro elementos.

La modificación consiste en definir más elementos (FIG. 35.) añadiéndoselos a la ecuación (4.6.5) y respetando la secuencia de signos y el multiplicador del exponente que está determinado por los límites de la ecuación (4.6.1).

En el caso de tener más elementos el programa se modificará de la siguiente forma; añadirle F4, F5, etc. (ver pag. 73) entre las líneas 82 y 85 del programa; no hay que pasar por alto la modificación de la línea 85 ya que es la suma de los elementos de la ecuación (4.6.5) - resultado que después se normalizará para que pueda ser graficado.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PATRON DE RADIACION.





BIBLIOGRAFIA.

1. ANTENNA RADIO RELAY LEAGUE. Radio Amateur Handbook. ARRL. 1979.
2. BALANIS, C.A. Antenna Theory, Analysis and Design. Harper and Row, London. England. 1982.
3. Effects of Antenna Arrays on Broadband Signals. WTC. 80. IEEE. 1980.
4. JASIK, Henry. Antenna Engineering Handbook. 1ª. Edición. Mc-Graw-Hill Book Company. 1961.
5. JORDAN, Edward C. y BALMAIN, Keith C. Electromagnetic Waves and Radiating Systems. 2ª. Edición. Prentice-Hall Inc. 1968.
6. KRAUS, John D. Antennas. Mc-Graw-Hill Book Company. 1950.
7. STERNBERG, R.L. y ANDERSON, W.A. Frequency Independent Beamforming. Office of Naval Research., Boston, Ma., U.S.A. Naval Research Review (U.S.A.) Vol. 33, No. 1 34-37. 1980-81.
8. STUTZMAN, Warren L. y THIELE, Gary A. Antenna Theory and Design. John Wiley and Sons Inc. 1981.
9. TORRES, Basurto M. Fundamentos de Teoría Electromagnética. 2ª. Edición. Diana. 1985.
10. TORRES, Basurto M. Fundamentos de Radiación y Antenas. 1ª. Edición. Politécnico. 1985.

11. TREHARNE, R.F. Natural Wave Logarithmically Truncated Beverage Antenna. Journal of Electrical and Electronical Engineering of Australia. Australia. Vol. 3, '6. 3 221-227. Sept. 1983.
12. WEEKS, V.L. Antenna Engineering. Mc-Graw-Hill Book Company, 1968.