

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
ESPECIALIZACION DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

**ANTENA PARA TRASMISION FM Y TV CON
POLARIZACION CIRCULAR**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN
ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

PABLO ARTURO ESCALANTE EGUEZ

JULIO / 1997

**CERTIFICO QUE LA PRESENTE TESIS HA SIDO DESARROLLADA EN SU
TOTALIDAD POR EL SR. PABLO ARTURO ESCALANTE EGUEZ**



ING. MARIO CEVALLOS V.

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

**A LAS PERSONAS QUE MAS QUIERO, ADMIRO Y RESPETO:
MI ESPOSA, MI PEQUEÑO SEBASTIAN, MIS PADRES Y MI
HERMANO.**

AGRADECIMIENTO

**A TODOS LOS PROFESORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y DE MANERA MUY ESPECIAL AL SEÑOR ING. MARIO CEVALLOS POR SU VALIOSA CONTRIBUCION Y AYUDA EN LA DIRECCION DE ESTE TRABAJO DE TESIS.
UN RECONOCIMIENTO DE PROFUNDA GRATITUD PARA MI FAMILIA Y TODOS MIS AMIGOS.**

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

1.- Teoría básica de antenas	1
1.1 Radiación	1
1.2 Características de antenas	5
1.3 Configuración de radiación	10
1.4 Ganancia	12
1.5 Impedancia	17
1.5.1 Impedancia propia	17
1.5.2 Impedancia mutua	20
1.6 Ancho de banda	23
1.7 Polarización	24

CAPITULO II

2.- Antenas con polarización horizontal	31
2.1 Arreglos básicos	32
2.2 Condiciones de fase	35
2.3 Requerimientos de circularidad	37
2.3.1 Par de antenas con corriente en fase	41
2.3.2 Par de antenas con corriente fuera de fase	44
2.4 Análisis de modelos escogidos	47
2.4.1 Antena horizontal de $\frac{1}{2}$ longitud de onda	47

2.4.2	Antenas murciélago	54
2.4.3	Antenas dipolo	55
2.4.4	Antenas helicoidales	56

CAPITULO III

3.-	Determinación experimental de las características de los modelos a escala	58
3.A	Determinación de las características del cable coaxial	59
3.B	Medición de la impedancia de un dipolo doblado conectado al cable coaxial	63
3.C	Cálculo de la impedancia para el dipolo doblado considerando la longitud, atenuación y constante de fase del cable coaxial	63
3.1	Configuración de radiación	64
3.1.1	Campo electromagnético producido por una antena elemental o dipolo eléctrico oscilante	64
3.1.2	Campo electromagnético producido por un dipolo con alimentación central y una distribución supuesta de corriente sinusoidal	71
3.1.3	Campo electromagnético producido por cuatro elementos isotrópicos, cada elemento consta de dos dipolos cuya corriente esta desfasada 90°.	78
3.1.4	Campo electromagnético producido por cuatro elementos isotrópicos, cada elemento consta de dos dipolos cuya corriente esta desfasada 90° (los campos eléctricos horizontal y vertical están tomados por separado)	86
3.2	Impedancia	94
3.2.1	Evaluación de la expresión para determinar numéricamente los valores de las partes real e imaginaria de la impedancia de una antena	94

3.2.2 Relación de las corrientes en base de las impedancias para obtener la condición de desfase de 90°	100
3.3 Polarización	101
3.4 Selección del modelo de mejores características	103

CAPITULO IV

4.- Arreglos para radio difusión FM y TV	108
4.1 Tipos de arreglos recomendados	108
4.1.1 Diseño de un modelo a escala de una antena con cuatro dipolos para transmisión con polarización circular	108
<u>Desarrollo para un solo elemento:</u>	110
1.- Frecuencia.-	110
2.- Relación de corrientes en base a impedancias para obtener la condición de desfase de 90°.-	110
3.- Relación de los campos eléctrico vertical y horizontal.-	112
4.- Cálculo de la longitud de línea que se necesita para acoplar la carga Z_L con una línea de $\lambda / 8$.-	113
a) Considerando una línea para cada elemento:	114
b) Considerando una línea en paralelo con los cuatro elementos:	115
5.- Cálculo de la altura de los monopolos.-	117
a) Para el monopolo vertical:	118
b) Para el monopolo horizontal:	118
6.- Relación de distancia entre los conductores y diámetro de los mismos.-	119
4.1.2 Diseño de un modelo a escala de una antena helicoidal para transmisión con polarización circular	122
1.- Características físicas.-	122

2.- Características eléctricas.-	124
3.- Condiciones de diseño.-	126
4.- Frecuencia.-	128
5.- Diseño.-	129
4.1.3 Arreglos de antenas.	129
4.2 Análisis de configuraciones de radiación e impedancias	130
4.2.1 Configuraciones de radiación	130
4.2.2 Impedancias	137
4.2.2.1 Cálculo de la impedancia de una antena formada por cuatro dipolos	137
4.2.2.2 Cálculo de la impedancia de un arreglo de dos antenas formado por cuatro dipolos cada una	143
4.2.2.3 Cálculo de la impedancia para una antena helicoidal	146
4.2.2.4 Cálculo de la impedancia para un arreglo de dos antenas helicoidales dispuestas longitudinalmente	149
4.3 Requerimientos de Balun's	152
4.3.1 Definición	152
4.3.2 Clasificación	153
4.3.3 Balun para un modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos	154
4.3.4 Balun para un modelo a escala de una antena helicoidal	158
4.4 Determinación experimental	160
4.4.1 Modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos Procedimiento:	161
4.4.2 Modelo a escala de un arreglo de dos antenas formado por cuatro dipolos cada una Procedimiento:	164
4.4.3 Modelo a escala de una antena helicoidal Procedimiento:	167

4.4.4 Modelo a escala de una arreglo formado por dos antenas helicoidales	168
Procedimiento:	169

CAPITULO V

5.- Diseño de una antena	173
5.1 Diseño del elemento básico	173
<u>Desarrollo para un solo elemento:</u>	177
1.- Frecuencia.-	177
2.- Relación de corrientes en base a impedancias para obtener la condición de desfaseamiento de 90°.-	178
3.- Relación de los campos horizontal y vertical.-	179
4.- Cálculo de la altura de los monopolos.-	180
a) Para el monopolo horizontal:	181
b) Para el monopolo vertical:	181
5.2 Diseño del arreglo	183
5.3 Diseño de redes de acoplamiento y balun's	183
1.- Cálculo de la longitud de línea que se necesita para acoplar la carga Z_L con una línea de $\lambda / 8$.-	183
a) Considerando una línea para cada elemento:	185
b) Considerando una línea en paralelo con cuatro elementos:	185
2.- Relación de distancia entre los tubos de aluminio y el diámetro de los mismos.-	187
5.4 Estimación de costos	194
CONCLUSIONES	195
RECOMENDACIONES	200

ANEXO No. 1

ANEXO No. 2

ANEXO No. 3

ANEXO No. 4

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE ANEXOS

ANEXO No. 1

1.1 Programa para calcular la impedancia característica Z_0 de un cable coaxial y la impedancia de una dipolo doblado	1
1.- Cálculo de la impedancia característica (Z_0) del cable coaxial (Opción 1)	1
2.- Cálculo de la atenuación α del cable coaxial (Opción 2)	3
3.- Cálculo de β y del coeficiente de velocidad K_v (Opción 3)	4
4.- Medición de la impedancia de un dipolo doblado conectado al cable coaxial	5
5.- Cálculo de la impedancia para el dipolo doblado considerando la longitud, atenuación y constante de fase del cable coaxial	6
Datos del cable coaxial (Cuadro A1 - 1)	
Especificaciones del fabricante (Cuadro A1 - 2)	
Datos de impedancia (Cuadro A1 - 3)	
Dipolo doblado con características del cable (Cuadro A1 - 4)	
Listado del programa	

ANEXO No. 2

2.1 Programa para determinar gráficamente el módulo del campo eléctrico total	1
1.- Ingreso de ángulos acimutales	1
2.- Ingreso de ángulos de desfaseamiento	1
3.- Ingreso de distancias de cada uno de los elementos	2
4.- Ingreso de constantes para el módulo	2

5.- Ingreso de la frecuencia de trabajo 3

Campo eléctrico total (Cuadros A2.1 – 1 al A2.1 – 7)

Listado del programa

2.2 Programa para determinar gráficamente el módulo de la componente del campo eléctrico vertical	5
1.- Ingreso de ángulos acimutales	5
2.- Ingreso de ángulos de desfaseamiento	5
3.- Ingreso de distancias de cada uno de los elementos	6
4.- Ingreso de constantes para el módulo	6
5.- Ingreso de la frecuencia de trabajo	7

Campo eléctrico vertical (Cuadros A2.2 – 1 al A2.2 – 7)

Listado del programa

2.3 Programa para determinar gráficamente el módulo de la componente del campo eléctrico horizontal	9
1.- Ingreso de ángulos acimutales	9
2.- Ingreso de ángulos de desfaseamiento	9
3.- Ingreso de distancias de cada uno de los elementos	10
4.- Ingreso de constantes para el módulo	10
5.- Ingreso de la frecuencia de trabajo	11

Campo eléctrico horizontal (Cuadros A2.3 – 1 al A2.3 – 7)

Listado del programa

ANEXO No. 3

3.1 Programa para determinar gráficamente la parte real	
de la impedancia de una antena	1
1.- Ingreso del número de elementos de las series	1
2.- Ingreso de impedancia característica	1
Resistencia de base o excitación (Cuadros A3.1 – 1 al A3.1 – 4)	
Listado del programa	
3.2 Programa para determinar gráficamente la parte imaginaria	
de la impedancia de una antena	4
1.- Ingreso del número de elementos de las series	4
2.- Ingreso de impedancia característica	4
Reactancia de base o excitación (Cuadros A3.2 – 1 al A3.2 – 4)	
Listado del programa	

ANEXO No. 4

Campo eléctrico relativo de una antena de cuatro dipolos con antena Tx horizontal (Cuadros A4.1 – 1A al A4.1 – 1C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.1 – 2A al A4.1 – 2C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas en fase, sin codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 1A al A4.2 – 1C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 2A al A4.2 – 2C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas desfasadas, sin codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 3A al A4.2 – 3C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 4A al A4.2 – 4C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas en fase, con codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 5A al A4.2 – 5C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 6A al A4.2 – 6C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas desfasadas, con codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 7A al A4.2 – 7C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 8A al A4.2 – 8C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas en fase, sin codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 9A al A4.2 – 9C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 10A al A4.2 – 10C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas desfasadas, sin codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 11A al A4.2 – 11C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 12A al A4.2 – 12C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas en fase, con codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 13A al A4.2 – 13C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 14A al A4.2 – 14C)

Campo eléctrico relativo de un arreglo de dos antenas desfasadas, con codo, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.2 – 15A al A4.2 – 15C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.2 – 16A al A4.2 – 16C)

Campo eléctrico relativo de una antena helicoidal con antena Tx horizontal (Cuadros A4.3 – 1A al A4.3 – 1C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.3 – 2A al A4.3 – 2C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales transversales, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 1A al A4.4 – 1C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 2A al A4.4 – 2C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales transversales, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 3A al A4.4 – 3C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 4A al A4.4 – 4C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales longitudinales, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 5A al A4.4 – 5C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 6A al A4.4 – 6C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales longitudinales, con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 7A al A4.4 – 7C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 8A al A4.4 – 8C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales transversales, con codo con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 9A al A4.4 – 9C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 10A al A4.4 – 10C)

Campo eléctrico relativo de dos antenas helicoidales transversales, con codo con antena Tx horizontal (Cuadros A4.4 – 11A al A4.4 – 11C) y con antena Tx vertical (Cuadros A4.4 – 12A al A4.4 – 12C)

INTRODUCCION

Se entiende por polarización el comportamiento temporal de las componentes rectangulares de la intensidad del campo eléctrico en un punto fijo del espacio, cuando las componentes rectangulares de la intensidad del campo eléctrico tienen igual magnitud y un desfase de 90 grados se habla de polarización circular.

La transmisión de los servicios de TV se localiza dentro de 4 bandas: la parte baja de VHF que va de 54 a 72 y de 76 a 88 MHz, la parte alta de VHF que va de 174 a 216 MHz y UHF que va de 470 a 890 MHz. La banda de FM va desde 88 a 108 MHz.

Desde 1960 la FCC (Federal Communications Commission) permitió a las estaciones de FM usar polarización circular, mientras que las estaciones de TV usaron polarización circular desde 1977.

La polarización circular en antenas receptoras se puede usar para reducir el efecto de reflexiones de edificios y otros objetos que tienden a tener el sentido opuesto a la polarización circular. Con excepción del ancho de banda, los requerimientos para transmisión de FM y TV son muy similares.

Las antenas circularmente polarizadas usualmente toman la forma de dipolos cruzados, arreglos circulares de dipolos inclinados, estructuras helicoidales y configuraciones de anillos de ondas viajeras.

El objetivo del presente trabajo de tesis es realizar el diseño de una antena tipo comercial para radio difusión con polarización circular, la misma que trabajará en altas potencias. Para alcanzar este objetivo, se requiere tener un conocimiento básico sobre teoría de antenas, por lo que en los dos primeros capítulos se dan los conceptos generales y básicos que nos ayudarán a entender mejor el posterior desarrollo investigativo.

En el tercer capítulo, se presenta la determinación experimental de los

modelos a escala, para lo cual se hace necesario realizar un desarrollo preliminar en cuanto a la determinación experimental de las características del cable coaxial, esto es atenuación (α), constante de fase (β), constante de velocidad (Kv), impedancia característica (Z_0), entre otros. Para lo cual resulta de mucha ayuda la elaboración de un programa desarrollado en lenguaje C, a través del paquete **BORLAN C++ ver. 3.00**, en el cual se ingresa los datos experimentales e inmediatamente nos da las características del cable.

Para realizar el diseño de los modelos de antenas a escala y llegar finalmente a los modelos de arreglos de antenas, se ha comenzado determinando el campo electromagnético producido por una antena elemental, seguido del desarrollo del campo electromagnético producido por un dipolo con alimentación central, para en base a estos modelos matemáticos encontrar la expresión del campo electromagnético producido por cuatro elementos isotrópicos, cada elemento está formado por dos dipolos desfasados 90 grados. En esta parte, se vio la necesidad de analizar por separado a los campos eléctricos horizontal y vertical, para encontrar la relación que debe cumplir el diseño de los modelos a escala. En este análisis es de gran ayuda la elaboración de varios programas en **QUICK BASIC**, para determinar gráficamente los campos eléctricos total, horizontal y vertical, y de esta forma escoger las relaciones de mejores características. El siguiente paso constituye la evaluación de la expresión para determinar la impedancia de una antena, para lo cual constituyó una herramienta muy útil dos programas desarrollados en **QUICK BASIC**, el primero para determinar gráficamente la parte real y el segundo para determinar gráficamente la parte imaginaria de una antena, de manera de escoger las impedancias características para cada uno de los monopolos que formarán el modelo de las antenas a escala. Realizado todo este análisis, se presenta la selección del modelo de mejores características.

En el cuarto capítulo se presenta el diseño y construcción de los siguientes modelos a escala:

- antena formada por cuatro dipolos,
- antena helicoidal,
- arreglo formado por dos antenas de cuatro dipolos cada una; y,
- arreglo formado por dos antenas helicoidales.

Se realiza un análisis de las configuraciones de radiación obtenidas experimentalmente, como también de sus impedancias. Se explica minuciosamente el tipo de balun utilizado en la parte práctica, como también se detalla los procedimientos a seguirse en la determinación experimental.

En el último capítulo se presenta ya el diseño de una antena de tipo comercial en base a los modelos a escala y el diseño del arreglo correspondiente. Aquí se hace uso de una de las principales herramientas de los ingenieros de antenas, que constituye el escalamiento, que es posible realizarlo gracias a la linealidad que cumplen las ecuaciones de Maxwell. Se presenta el diseño de redes de acoplamiento y balun's y se realiza una estimación de costos.

Finalmente se encontrarán las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos relacionados con el diseño y construcción de este tipo de antenas. Además se incluyen los anexos en donde se podrá encontrar la forma en que fueron desarrollados los diferentes programas y las configuraciones de radiación obtenidas experimentalmente con sus respectivos cuadros de datos.

CAPITULO I

CAPITULO I

1.- TEORIA BASICA DE ANTENAS.-

Una antena se define generalmente como una estructura asociada con la región de transmisión entre una onda guiada y una onda de espacio libre, o viceversa. En este caso el espacio libre siempre interactúa con los alrededores. En transmisión, una antena recibe energía de una línea de transmisión y ésta es radiada hacia el espacio, y en recepción la antena recibe energía de una onda espacial y la envía a una línea de transmisión.

En el estudio de una antena usualmente se describe sus propiedades como una antena transmisora; que por el teorema de reciprocidad sabemos que las características de una antena receptora son idénticas a las de una antena transmisora. Por lo tanto no es necesario hacer distinciones entre las funciones de transmisión y recepción de una antena en el análisis de las características de radiación. Se aclara sin embargo que el teorema de reciprocidad no implica que las distribuciones de corriente de una antena sean las mismas en transmisión como en recepción.

Hasta la fecha se han desarrollado diferentes variedades de antenas, que van desde simples estructuras como monopolos y dipolos hasta estructuras complejas como arreglos multielementos.

1.1 RADIACION.-

La distribución del campo radiado por una antena es en general, una función tanto de la distancia de la antena como de las coordenadas angulares. En la región cercana a la antena, el campo incluirá una componente reactiva. La magnitud de esta

componente reactiva, sin embargo decae rápidamente con la distancia de la antena, llegando a ser despreciable comparada con la amplitud de la componente de radiación. Esa región en el espacio en la cual la componente reactiva del campo predomina se llama región reactiva o de campo cercano, más allá de esta región predomina el campo de radiación.

La región en la cual predomina el campo de radiación se subdivide en dos: región de radiación cercana o de Fresnel y región de radiación lejana o de Fraunhofer. En el primer caso, la distribución de la energía radiada es dependiente de la distancia de la antena y de la posición angular; mientras que en el segundo caso la distribución de la energía radiada es dependiente únicamente de la distancia de la antena.

En la región de radiación cercana, las fases relativas y las amplitudes relativas de contribuciones de varios elementos de la antena son funciones de la distancia de la antena. Esta situación se puede visualizar mejor en la figura 1.1

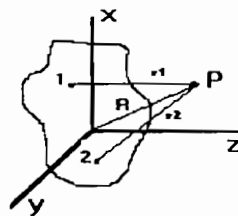


FIG. 1.1 Representación esquemática de la apertura planar de una antena en el plano xy, una observación del punto P, y distancias al punto observación desde el origen y dos elementos de la antena.

Por simplicidad se asume que la antena es planar y que está localizada en el plano xy; las distancias al punto de observación desde dos elementos arbitrarios de la antena se representan por r_1 y r_2 . Observar que como el punto de observación P se mueve hacia adelante desde el origen, en una dirección angular fija, la distancia relativa a los elementos arbitrarios ($r_2 - r_1$) cambia; lo cual causa que las amplitudes y fases

relativas de contribuciones de los elementos 1 y 2 cambien con la distancia de la antena. Por extender este argumento para incluir todas las contribuciones de los elementos de la antena, se puede ver que el modelo de radiación medido de la antena dependerá de la distancia de la antena al punto de observación P.

Cuando la distancia al punto de observación es muy grande, las líneas de fuerza de dos elementos de contribución cualquiera al punto de observación son esencialmente paralelas (por ejemplo r_1 y r_2 , en la figura (1.1)); y la distancia relativa a los elementos ($r_2 - r_1$) es constante con los cambios en distancia al punto de observación. Así, a grandes distancias, las fases y amplitudes relativas de contribuciones de varios elementos cambian muy despacio con la distancia, y la distribución angular de la energía radiada medida a tales distancias es independiente al punto de observación. Esta condición es característica de la región de campo lejano.

De esta manera, el espacio que rodea a una antena se compone de tres regiones: la región reactiva cercana, la región de radiación cercana y la región de radiación lejana. Estas tres regiones se pueden observar en la figura 1.2.

Los límites entre las regiones no están bien definidos, pero para cualquier antena, la región reactiva cercana se extiende únicamente una corta distancia. La distancia comúnmente aceptada al límite entre las regiones reactiva y de radiación cercana es $\lambda/2\pi$. Para antenas tipo apertura eléctricamente grandes, como la que se muestra en la figura 1.2.

El criterio comúnmente usado para definir la distancia al límite entre las regiones de radiación cercana y lejana es:

$$R = \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (1-1)$$

donde D es la dimensión más grande de la apertura, y λ es la longitud de onda.

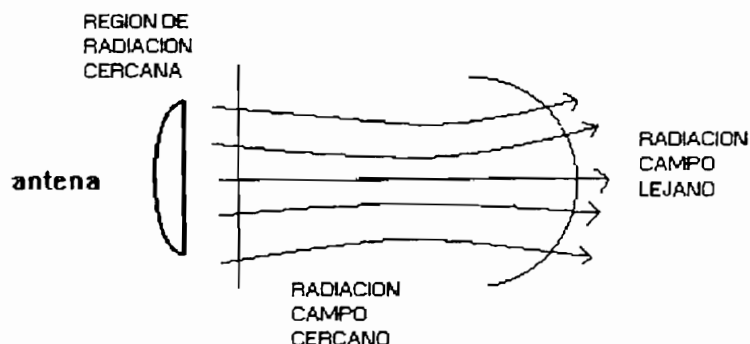


FIG. 1.2 Representación esquemática de las tres regiones que rodean una antena.

Aunque el criterio mencionado anteriormente para definir la distancia a la región de campo lejano es aceptado generalmente y utilizado en un sentido bastante amplio, es necesario recordar que es un criterio arbitrario y puede ser inadecuado para situaciones especiales. Por ejemplo si se desea medir exactamente modelos de antenas que tienen lóbulos muy angostos, o si se desea hacer medidas exactas de ganancia de bocinas piramidales las cuales tienen grandes derivaciones de fase a través de sus aperturas, la medida de la distancia deberá ser mucho más grande que $2D^2/\lambda$.¹

Muchos argumentos se han desarrollado para aumentar o disminuir la distancia aceptada para el límite entre las regiones de campo cercano y lejano, sin embargo $2D^2/\lambda$ parece ser la más popular. La situación es análoga al tratar de decidir la altura ideal de una escalera. La mayoría de la gente está de acuerdo que dos metros es el tamaño ideal, pero habrá trabajos especiales que requieran de escaleras más grandes y otros que requieran de escaleras más pequeñas.

¹ JASIK, Henry
Antenna Engineering Handbook
Primera Edición
McGraw-Hill Book Company, 1961
Pag. 1-11

En el pasado se acostumbraba a referirse a las regiones de campo como las regiones de Fresnel o de Fraunhofer, después de las aproximaciones descritas. En la actualidad se considera mejor definir las regiones de campo como: campo reactivo cercano, campo de radiación cercano y campo de radiación lejano; tal como se discutió anteriormente y se ilustra en la figura 1.2. Los términos Fresnel y Fraunhofer se pueden usar de mejor manera para referirse a aproximaciones analíticas.

1.2 CARACTERISTICAS DE ANTENAS.-

Consideremos una antena localizada en el origen de un sistema de coordenadas esféricas como se ilustra en la figura 1.3. Supongamos que estamos haciendo observaciones sobre un casquete esférico de radio r bastante grande y asumamos que la antena está transmitiendo, en donde tendremos:

P_0 = potencia entregada a la antena, watos

P_r = potencia radiada por la antena, watos

η = eficiencia de radiación, sin unidades

Las cantidades anteriores se relacionan de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P_r}{P_0} \quad (1 - 2)$$

$\phi(\theta, \phi)$ = intensidad de radiación, watos/ sterradian

Notemos que al asumir r lo suficientemente grande, ϕ es independiente de r . Esta independencia de r es una característica de la región lejana, como ya lo vimos anteriormente.

La potencia total radiada de la antena está dada por:

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \Phi(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (1 - 3)$$

y la intensidad de radiación promedio será:

$$\Phi_{avg} = \frac{Pr}{4\pi} \quad (1-4)$$

$S(\theta, \phi)$ = Vector de Poynting o densidad de flujo de potencia, vatios/ metro cuadrado

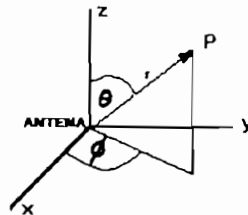


Fig. 1.3 Una antena en un sistema de coordenadas esféricas.

La densidad de flujo de potencia está relacionada con la intensidad de radiación:

$$\Phi(\theta, \phi) = S(\theta, \phi)r^2 \quad (1-5)$$

$E(\theta, \phi)$ = Intensidad de campo eléctrico de radiación, voltios/ metro cuadrado

$$S(\theta, \phi) = \frac{E^2(\theta, \phi)}{\eta_0} \quad (1-6)$$

donde η_0 = impedancia característica del medio = 120Ω

$D(\theta, \phi)$ = directividad, sin unidades

La directividad es una medida de la habilidad de una antena para concentrar la potencia radiada en una dirección particular, y está relacionada con la intensidad de radiación:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{\Phi_{avg}} \quad (1-7)$$

si reemplazamos la ecuación (1-4) en (1-7) se tiene:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{Pr/4\pi} \quad (1-8)$$

La directividad de una antena es la relación de la intensidad de radiación obtenida en una dirección particular a aquella de una antena isotrópica (antena que radía uniformemente en todas las direcciones). En la práctica, usualmente se interesa en la directividad en el máximo del lóbulo principal. Así, si se dice que una antena tiene una directividad de 10, se asume que 10 es la directividad en la dirección del máximo del lóbulo principal.

$$G(\theta, \phi) = \text{ganancia, sin unidades}$$

La ganancia de una antena está relacionada con la directividad y la intensidad de radiación de potencia:

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi)$$

$$G(\theta, \phi) = \frac{\eta \Phi(\theta, \phi)}{Pr/4\pi} \quad (1-9)$$

y de la ecuación (1-2),

$$G(\theta, \phi) = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{Po/4\pi} \quad (1-10)$$

Así, la ganancia es una medida de la habilidad para concentrar en una dirección particular la potencia aceptada por una antena. Notemos que en una antena sin pérdidas, $\eta = 1$, la directividad y la ganancia serán idénticas.

También podemos relacionar al vector de Poynting o densidad de flujo de potencia, con la ganancia; si reemplazamos la ecuación (1-5) en la ecuación (1-10) y despejamos $S(\theta, \phi)$, tendremos:

$$S(\theta, \phi) = G(\theta, \phi) \frac{Po}{4\pi r^2} \quad (1-11)$$

El factor $P_0/4\pi r^2$ representa la densidad de potencia que resultaría si la potencia aceptada por la antena fuera radiada por una antena isotrópica sin pérdidas.

A_e = área efectiva, metros cuadrados

Es más fácil visualizar el concepto de área efectiva cuando se considera una antena receptora, la misma que es una medida del área de absorción efectiva presentada por una antena en un plano de ondas incidentes. El área efectiva se relaciona con la ganancia y la longitud de onda:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \phi) \quad (1 - 12)$$

Muchas antenas de ganancia alta, tales como bocinas, reflectores y lentes son conocidas como antenas de tipo apertura. La apertura usualmente es considerada como aquella porción de la superficie de un plano cercano a la antena, perpendicular a la dirección de máxima radiación, a través del cual fluye la mayor cantidad de radiación.

η_a = eficiencia de la antena para una antena tipo apertura, sin unidades

A = área física de la apertura de una antena, metros cuadrados

Entonces,

$$\eta_a = \frac{A_e}{A} \quad (1 - 13)$$

En ocasiones al término η_a se lo ha llamado eficiencia de apertura.

Cuando se trata con antenas de apertura, podemos ver de las ecuaciones (1-12) y (1-13) que:

$$G = \eta_a \frac{4\pi}{\lambda^2} A \quad (1 - 14)$$

El término η_a ahora representa el producto de varios factores, tales como:

$$\eta_a = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots$$

El término η representa la eficiencia de radiación como se definió en la ecuación (1-2). El término η_1 es la eficiencia de iluminación de la apertura (o la eficiencia de iluminación de la antena), la cual es una medida de la capacidad de absorber la energía radiada, ésta es la relación de la directividad que es obtenida con la directividad estándar. La directividad estándar se la obtiene cuando la apertura es excitada con una distribución igual en fase y uniforme. (Tal distribución produce la más alta directividad de todas las excitaciones de igual fase). Para aperturas planares en las cuales $A \gg \lambda^2$, la directividad estándar es $4\pi A / \lambda^2$, con la radiación confinada a la mitad del espacio.

Los otros factores $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots$, incluyen todos los otros efectos que reducen la ganancia de la antena, como por ejemplo pérdidas de error de fase debido a errores de superficie en reflectores o errores de fase al azar en elementos de arreglos en fase, bloqueo de la apertura, pérdidas de depolarización, etc.

Las características de antenas operando cerca de un nivel de tierra, son modificadas por el efecto de las reflexiones que ésta produce. Esto es particularmente cierto para antenas que operan en frecuencias menores a 30 MHz, cuando la altura de la antena sobre la tierra es menor que una o dos longitudes de onda. La tierra juega un papel importante entre el transmisor y el receptor, y para calcular este efecto deben ser bien conocidas las características de la tierra y la geometría de la trayectoria de propagación así como también las características de configuración de las antenas de transmisión y recepción.

Para antenas de alturas relativamente pequeñas sobre la tierra, ésta constituye una parte básica del sistema de antena y afectará no solo la configuración de radiación de la antena sino también las propiedades de la impedancia.

1.3 CONFIGURACION DE RADIACION.-

Cuando la intensidad de campo de radiación $E(\theta, \phi)$ y la densidad de flujo de potencia $S(\theta, \phi)$ se presentan en escalas relativas, éstas son idénticas y frecuentemente se refieren a la configuración de radiación de una antena. El lóbulo principal de la configuración de radiación está en la dirección de máxima ganancia; todos los otros lóbulos son conocidos como lóbulos laterales o lóbulos secundarios.

Existen muchos tipos de configuraciones de radiación, pero los más comunes son los siguientes:

- Configuración omnidireccional (plano azimutal)
- Configuración tipo lápiz
- Configuración tipo abanico
- Configuración de haz conformado

La configuración omnidireccional es la más popular en comunicaciones y aplicaciones de radiodifusión. La configuración azimutal es circular, pero la configuración de elevación tendrá alguna directividad para incrementar la ganancia en las direcciones horizontales.

La configuración tipo lápiz es aplicado a una configuración de antena de alta directividad y consiste en que el lóbulo principal está contenido dentro de un cono de ángulo sólido pequeño. Generalmente la configuración es circularmente simétrica a la dirección de máxima intensidad; sin embargo, aún cuando el lóbulo forma un ligero abanico, frecuentemente se lo llama todavía configuración tipo lápiz.

Un lóbulo de abanico es angosto en una dirección y ancho en la otra. Un uso típico de este tipo de lóbulo es en la búsqueda y vigilancia por radar, en la cual la

dimensión más ancha del lóbulo sería vertical con la parte angosta variando en azimut.

Las configuraciones de radiación de una antena son tridimensionales, pero existe la necesidad de describirlas en un papel en dos dimensiones. La técnica más popular es grabar los niveles de la señal a lo largo de un gran círculo o en cortes cónicos a través de la configuración de radiación. En otras palabras, una coordenada angular se la mantiene fija, mientras la otra varía. Una familia de configuraciones en dos dimensiones se la puede usar para describir la configuración completa en tres dimensiones.

Las configuraciones usualmente se presentan como un campo relativo, potencia relativa, o potencia logarítmica relativa en función de un ángulo sobre un diagrama rectangular o polar. El diagrama rectangular puede ser fácilmente expandido a lo largo del eje angular simplemente cambiando la escala relativa del diagrama a la relación angular del posicionador de la antena; ésta es una gran ventaja cuando se mide configuraciones de antenas de lóbulos angostos. Los diagramas polares dan gráficos más realistas de la configuración de radiación y se los usa para antenas de lóbulos anchos.

Otra técnica muy popular para determinar las configuraciones constituye la tabla de distribución de radiación. En este caso, los niveles de la señal son presentados en decibelios en intervalos preseleccionados de las dos coordenadas angulares ϕ y θ . Una apariencia del contorno se la obtiene imprimiendo únicamente los valores pares del nivel de señal y omitiendo los valores impares.

Un nuevo tipo de configuración tridimensional se ha hecho popular con el uso de los computadores. Los dos ángulos ortogonales del campo lejano se los representa en la base del gráfico, y la ganancia relativa se la representa por la altura por encima de la base. Tal gráfico de configuración se lo puede generar tanto con datos de ganancia medidos como calculados.

1.4 GANANCIA.-

La facultad de una antena, o arreglo de antenas, para concentrar la potencia radiada hacia una dirección dada, o inversamente absorber efectivamente la potencia incidente en ella desde tal dirección, suele denominarse, y especificarse, de varias maneras en función de su ganancia (de antena), su ganancia en potencia, ganancia directiva o directividad. El significado preciso de estas expresiones es más fácil de entender partiendo de la intensidad de radiación que ya se la definió anteriormente.

La densidad de flujo de potencia radiada por unidad de área en cualquier dirección viene dada por el vector de Poynting P.

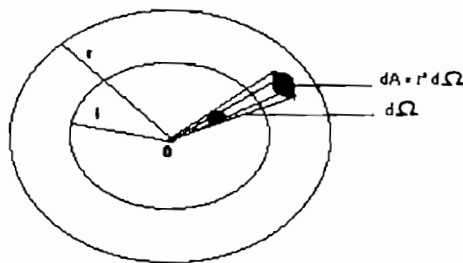


FIG. 1.4

Para un campo distante en el que E y H sean ortogonales en un plano normal al vector radial y en el que $E = 120\pi H$, el flujo de potencia por unidad de área viene dado:

$$S = \frac{E_0^2}{120\pi} \text{ (w/ m}^2\text{)} \quad (1 - 15)$$

Si nos referimos a la figura 1.4 vemos que hay r^2 metros cuadrados de superficie por unidad de ángulo sólido (o sterradianes), y la intensidad de radiación $\Phi(\theta, \phi)$ en una dirección como la potencia por unidad de ángulo sólido en tal dirección vemos que:

$$\Phi(\theta, \phi) = r^2 S = \frac{r^2 E_0^2}{120\pi} \text{ (w / unidad de ángulo sólido)} \quad (1 - 16)$$

Se debe notar que la intensidad de radiación es independiente de r . La potencia total radiada es:

$$Pr = \int \Phi d\Omega \quad (w) \quad (1-17)$$

y como hay 4π sterradianes en el ángulo sólido total, la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido como ya se la había definido antes es:

$$\Phi_{avg} = \frac{Pr}{4\pi} \quad (w/sterradian) \quad (1-18)$$

Φ_{avg} representa la intensidad de radiación que produciría una antena isotrópica, que radiase la misma potencia total Pr .

$$g_d(\theta, \phi) = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{\Phi_{avg}} = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{Pr/4\pi} = \frac{4\pi\Phi(\theta, \phi)}{Pr} \quad (1-19a)$$

$$g_d(\theta, \phi) = \frac{4\pi\Phi(\theta, \phi)}{\int \Phi d\Omega} \quad (1-19b)$$

Se define la ganancia directiva g_d , en una dirección dada, como la razón entre la intensidad de radiación en tal dirección y la potencia media radiada; es decir:

$$B = \frac{\int \Phi d\Omega}{\Phi(\theta, \phi)} \quad (sterradian) \quad (1-20)$$

B se conoce como el área del lóbulo de radiación. En la mayoría de aplicaciones se utiliza la siguiente aproximación:

$$B = \phi_{1/2} \theta_{1/2} \quad (1-21)$$

Donde:

$\phi_{1/2}$ y $\theta_{1/2}$ corresponden a los anchos del lóbulo a media potencia en los planos principales. Con esto si $\phi_{1/2}$ y $\theta_{1/2}$ están en radianes, se tiene la siguiente relación:

$$g_d = \frac{4\pi}{B} = \frac{4\pi}{\theta_{1/2}\phi_{1/2}} \quad (1 - 22)$$

Si $\phi_{1/2}$ y $\theta_{1/2}$ están en grados:

$$g_d = \frac{41253}{\theta_{1/2}^{\circ}\phi_{1/2}^{\circ}} \quad (1 - 23)$$

La expresión en decibelios de la ganancia directiva se representa por G_d , siendo:

$$G_d = 10 \log_{10} g_d \quad (1 - 24)$$

La directividad, D , de una antena representa su ganancia directiva máxima. Mientras que la ganancia directiva es una función de los ángulos (θ, ϕ) , en los que debe especificarse; la directividad es una constante que se especifica para una dirección particular. Sin embargo, suele emplearse g_d (sin especificar el ángulo) y D indiscriminadamente para designar la ganancia directiva en la dirección de radiación máxima.

Si en la expresión (1 – 19 a) se emplea la potencia total de entrada P_t en lugar de la potencia radiada P_r , el resultado es la ganancia en potencia en lugar de la ganancia directiva. La ganancia en potencia g_p se define por:

$$g_p = \frac{4\pi\Phi}{P_t} \quad (1 - 25)$$

en donde $P_t = P_r + P_l$, P_l es la potencia de pérdidas de la antena.

$$\frac{g_p}{g_d} = \frac{P_r}{P_r + P_l} \quad (1 - 26)$$

Es evidente que es una medida del rendimiento de la antena. En muchas de las antenas bien construidas el rendimiento es casi el 100%, de manera que la ganancia en potencia y la ganancia directiva son casi iguales, hecho que ha conducido al empleo de la expresión más sencilla de ganancia de antena (designada por g sin subíndice), tanto

para g_d como para g_p . En las antenas eléctricamente cortas y en las superdirectivas, la ganancia en potencia puede ser mucho menor que la ganancia directiva, y en estas circunstancias hay que distinguir claramente ambas ganancias.

Aunque las definiciones anteriores se han referido a antenas transmisoras, se aplican a las antenas en general sin tener en cuenta su función particular. Es decir, la ganancia de una antena cuando actúa como receptora es la misma que su ganancia al funcionar como transmisora. Para que se pueda tener la ganancia, así definida, también en una antena receptora deben, por supuesto, estar debidamente adaptadas las impedancias y en presencia de un campo adecuadamente polarizado.

La directividad de una antena se calcula fácilmente cuando su longitud efectiva y su resistencia de radiación se conocen. Por ejemplo para un elemento de corriente $|dl|$, el campo distante en la dirección de máxima radiación es:

$$E = \frac{60\pi}{r} I \left(\frac{dl}{\lambda} \right) \quad (1 - 27)$$

pero sabemos que:

$$Potencia = 80 \pi^2 \left(\frac{dl}{\lambda} \right)^2 I^2 \quad (1 - 28)$$

por lo tanto la corriente necesaria para radiar 1 watio será:

$$I = \frac{\lambda}{\sqrt{80\pi dl}} \quad (A) \quad (1 - 29)$$

y reemplazando la ecuación (1 - 29) en la ecuación (1 - 27) se obtiene una intensidad de campo correspondiente en la dirección de máxima radiación de:

$$E = \frac{60}{r\sqrt{80}} \quad (v/m) \quad (1 - 30)$$

Empleando las expresiones (1 – 16) y (1 – 30), la intensidad de radiación será:

$$\Phi = \frac{60^2}{80 * 120\pi} = \frac{3}{8\pi} \quad (1 - 31)$$

de manera que la directividad o ganancia directiva máxima del elemento de corriente es:

$$g_d(\max) = 4\pi\Phi = 1.5 \quad (1 - 32)$$

o también:

$$G_d(\max) = 10 \log_{10} 1.5 = 1.76dB \quad (1 - 33)$$

La directividad calculada para un dipolo de media longitud de onda es de 1.64 o 2.15 dB. Así, la ganancia directiva máxima de un dipolo de media longitud de onda es solo 0.39 dB mayor que la de un elemento de corriente (o dipolo muy corto). Sin embargo, la ganancia en potencia de un dipolo corto, monopolo también corto, o aro pequeño puede ser considerablemente menor debido a su baja resistencia de radiación, y por lo tanto pérdidas óhmicas mayores.

La ganancia directiva de una antena puede obtenerse por cálculo partiendo de su diagrama de radiación, conocido o medido. Aunque las medidas de diagramas dan normalmente valores relativos de intensidades de campo transmitidas o recibidas, estos valores pueden emplearse para calcular g_d por medio de la expresión (1 – 19). Valores detallados de tales cálculos se los puede encontrar en manuales sobre antenas. La ganancia en potencia requiere normalmente medirse. Un método común es el de comparar la ganancia con la de un dipolo de media longitud de onda u otra antena normalizada.

En forma general la ganancia de una antena tipo apertura iluminada uniformemente sin pérdidas se expresa como:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (1 - 34)$$

donde A es el Area de la apertura. El valor de ganancia obtenida de esta expresión, normalmente representa un límite superior que se lo puede conseguir con estructuras prácticas.

Ciertas clases de distribuciones de apertura ofrecen la posibilidad teórica de valores más altos de directividad que pueden obtenerse con distribuciones uniformes. En general estas distribuciones teóricas se caracterizan por inversiones de fase sobre pequeñas distancias comparadas con la longitud de onda. Una característica común de estas distribuciones superdirectivas es la gran cantidad de energía almacenada en la región de la apertura y valores muy altos de intensidad de campo se necesitan para producir el mismo campo radiado que lo produciría una apertura uniformemente iluminada con valores mucho más pequeños de intensidad de campo.

1.5 IMPEDANCIA.-

1.5.1 IMPEDANCIA PROPIA.-

La impedancia de entrada de una antena es una característica de considerable interés, en lo concerniente a la alimentación de la antena con la cantidad máxima de potencia de transmisión disponible o con la cantidad máxima de energía recibida disponible desde la antena. Exceptuando los tipos más simples de configuraciones de antenas, el análisis teórico de la impedancia de entrada es una tarea extremadamente ardua, y para un gran número de tipos de antenas generalmente es mucho más fácil realizar una medida experimental directa de la impedancia de entrada. Sin embargo, para antenas lineales las mismas que son relativamente pequeñas en tamaño, es posible

realizar una muy buena estimación en cuanto a la magnitud de la resistencia de entrada. También es posible evaluar con un razonable grado de exactitud, la impedancia mutua entre radiadores lineales con el propósito de estimar la impedancia de entrada de un elemento individual en un arreglo de antenas.

En la mayoría de los casos prácticos, la impedancia de entrada aún en antenas simples, está afectada por las condiciones terminales en el punto donde la línea de transmisión alimenta al radiador. Para resultados más precisos, es entonces necesario realizar algunas medidas de las impedancias involucradas, y utilizar los valores calculados como una guía durante el procedimiento de diseño.

Para dipolos muy pequeños, la resistencia de radiación es una cantidad que está cercanamente relacionada con la componente resistiva de la impedancia de entrada. Normalmente a la resistencia de radiación se la define como la relación de la potencia total radiada por una antena y el cuadrado de la corriente efectiva de la antena referida a un punto específico. Para antenas pequeñas esta relación es muy útil ya que permite estimar toda la eficiencia de radiación de la antena, separando la componente de radiación de la resistencia de entrada, de la resistencia de pérdida debido al sistema de tierra o la resistencia de pérdida debido a la impedancia de los elementos.

Para analizar la resistencia de radiación, es necesario conocer la configuración del campo de radiación de la antena en términos de la corriente circulante en el punto en el cual se refiera la resistencia de radiación. La potencia total radiada resulta entonces de la integración de la densidad total de potencia que pasa a través de una esfera que rodea la antena. Este análisis será hecho muy brevemente para el caso de un dipolo muy corto que tiene una longitud efectiva L_e y transporta una corriente I_0 . La intensidad de campo eléctrico para esta antena está dada por:

$$|E_{\theta}| = \frac{60\pi I_0 L_e}{r\lambda} \sin\theta \quad (1 - 35)$$

La densidad de potencia en el campo lejano está dado por el vector de Poynting, el mismo que es igual a $E_{\theta}^2/120\pi$, donde el campo eléctrico está dado en voltios rms por metro y la densidad de potencia está expresada en vatios por metro cuadrado. Integrando sobre una gran esfera alrededor de la antena, obtenemos:

$$P = \int_0^{\pi} \frac{E_{\theta}^2}{120\pi} 2\pi r^2 \sin\theta d\theta \quad (1 - 36)$$

$$P = \frac{80\pi^2 I_0^2 L_e^2}{\lambda^2} \quad (1 - 37)$$

Dividiendo este resultado para I_0^2 , se obtiene:

$$R_e = 80\pi^2 \frac{L_e^2}{\lambda^2} \quad (1 - 38)$$

donde R_e es la resistencia de radiación en ohmios. Se deberá notar que la variable más importante es la relación entre la longitud efectiva L_e y la longitud de onda; y que mientras más grande se hace esta relación, más grande se hace la resistencia de radiación. Así para una antena pequeña de longitud física l y cargada superficialmente para entregar una distribución de corriente uniforme, la longitud efectiva será igual a la longitud física y la resistencia de radiación será $80\pi^2 l^2 / \lambda^2$. Para una antena que no esté cargada superficialmente, la distribución de corriente será triangular, y la longitud efectiva será igual a la mitad de la longitud física, así la resistencia de radiación será $20\pi^2 l^2 / \lambda^2$. Se puede ver, que la resistencia de radiación para el caso de una distribución uniforme de corriente es igual a 4 veces la obtenida en el caso de una distribución de corriente triangular, a pesar del hecho de que la configuración de radiación y directividad son las mismas para ambas antenas y su longitud es pequeña con respecto a la longitud

de onda.

Para el caso de un dipolo muy delgado de media longitud de onda, la resistencia de entrada será calculada, asumiendo una distribución de corriente sinusoidal e integrando la potencia total radiada sobre la superficie de una gran esfera, de la misma forma como se describió para un elemento pequeño de corriente. Usando el campo lejano para un dipolo de media longitud de onda y ejecutando las operaciones apropiadas, la resistencia de entrada de un dipolo delgado de media longitud de onda se ha encontrado que es igual a 73.1Ω . La componente reactiva de la impedancia de entrada no se la puede determinar por el método del campo lejano, ya que la reactancia es gobernada principalmente por los campos electromagnéticos en la vecindad misma de la antena. La reactancia de entrada es también una función del diámetro relativo del dipolo y de las condiciones terminales en el punto de estudio.

1.5.2 IMPEDANCIA MUTUA.-

En un arreglo de antenas, la impedancia en el punto de estudio de un elemento individual diferirá considerablemente de su impedancia propia debido al efecto del acoplamiento mutuo con otros elementos del arreglo. En un arreglo de multielementos, las relaciones entre las corrientes y voltajes están dadas por:

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} + \dots + I_n Z_{1n}$$

$$V_2 = I_1 Z_{12} + I_2 Z_{22} + \dots + I_n Z_{2n}$$

$$\vdots$$

$$V_n = I_1 Z_{1n} + I_2 Z_{2n} + \dots + I_n Z_{nn}$$

donde V_n = voltaje en el n-ésimo elemento

I_n = corriente a través del n-ésimo elemento

Z_{nn} = impedancia propia del n-ésimo elemento

$Z_{mn} = Z_{nm}$ = impedancia mutua entre el m-ésimo y n-ésimo elemento

La impedancia en el punto de estudio para el elemento 1, por ejemplo, se encuentra mediante la relación entre el voltaje y la corriente, y se la obtiene de la siguiente forma:

$$Z_{input} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + \frac{I_2}{I_1} Z_{12} + \dots + \frac{I_n}{I_1} Z_{1n} \quad (1 - 39)$$

Como se puede ver ahora, la impedancia de entrada o la impedancia en el punto de estudio de un elemento particular no es solo una función de su impedancia propia sino también una función de las corrientes relativas que fluyen en los otros elementos y de la impedancia mutua entre los elementos. En un arreglo en el cual la distribución de corriente en los elementos sea crítica debido a los requerimientos de la configuración, es necesario determinar la impedancia de entrada mediante la relación anterior y diseñar un sistema de acoplamiento en la línea de transmisión para acoplar la impedancia de entrada antes que la impedancia propia.

Un método alternativo para controlar exactamente la distribución de corriente en cierto tipo de arreglos es usar un sistema de distribución de una línea de transmisión el cual obligue a la corriente requerida a fluir en un elemento de la antena sin tomar en cuenta el efecto de la impedancia mutua. Por ejemplo, las propiedades de corriente constante de una línea de un cuarto de longitud de onda son de tales características que la corriente en una carga en la terminación de la línea es igual al voltaje en ese punto dividido para la impedancia característica de la línea de un cuarto de longitud de onda sin tomar en cuenta la impedancia de carga. Esta propiedad también se cumple en una línea cuya longitud es un número impar de cuartos de longitudes de onda. Así, por ejemplo, para alimentar un arreglo formado por cuatro dipolos con corrientes

exactamente iguales sin tomar en cuenta el acoplamiento mutuo, la longitud de la línea de transmisión desde el dipolo a la unión sería un número impar de cuartos de longitudes de onda. Para hacer uso de las propiedades de voltaje constante de una línea de transmisión de media longitud de onda, es posible construir un sistema de distribución para alimentar un gran número de elementos de antena mediante combinaciones de líneas de media y un cuarto de longitudes de onda. Es importante mencionar que aunque la línea uniforme de media longitud de onda se comporta como un transformador de voltaje con una relación de transformación 1 a 1, es posible obtener otras relaciones de transformación construyendo la línea de media longitud de onda con dos secciones de un cuarto de longitud de onda cada una, pero con impedancias características diferentes.

En muchas situaciones no es posible omitir los efectos del acoplamiento mutuo y es necesario tener una estimación exacta y razonable del valor de la impedancia mutua entre los elementos de la antena. Es posible calcular la impedancia mutua para dipolos muy delgados. Aunque el diámetro finito de un dipolo tiene cierto efecto sobre la magnitud de la impedancia mutua, el efecto es de segundo orden y en muchos cálculos se lo puede obviar. Esto no se cumple en el caso de la impedancia propia, cuyo valor está totalmente definido por el diámetro del dipolo.

Para otros elementos de antena que un simple dipolo o un radiador de abertura, es posible realizar un pequeño trabajo teórico sobre la magnitud de los efectos del acoplamiento mutuo. Aún en el caso de elementos dipolo, se desea frecuentemente medir la impedancia mutua, particularmente en un dipolo cuyo diámetro no es pequeño comparado con su longitud.

Muchos métodos experimentales están disponibles. Cuando los elementos de la antena son idénticos y razonablemente pequeños físicamente, un método simple

consiste en medir la impedancia de entrada cuando el elemento está aislado y entonces repetir la medición cuando el plano de tierra se encuentre localizado cerca del elemento para simular el efecto imagen. La diferencia entre las dos impedancias medidas es la impedancia mutua para una distancia correspondiente a la distancia entre el elemento en estudio y su imagen. Un método alternativo cuando dos elementos están disponibles es medir la impedancia de entrada cuando un elemento está aislado, y entonces repetir la medida cuando el segundo elemento está en su lugar y tiene un corto circuito entre sus terminales.

1.6 ANCHO DE BANDA.-

Hay muchas ocasiones en que es necesario hacer estimaciones rápidas del ancho de banda y ganancia de antenas de apertura. Una regla conveniente llamada del pulgar para predecir los 3 dB del ancho de banda es:

$$BW_{3dB} = k \frac{\lambda}{D} \quad (1 - 40)$$

donde k es una constante del ancho de banda, λ es la longitud de onda, y D es la dimensión de la apertura en el plano de la configuración.

Comúnmente se usa un valor de $k = 70^\circ$. Este valor es adecuado para la mayoría de cálculos estimativos; sin embargo cálculos más exactos deben tomar en cuenta el hecho de que el valor de k es una función de la iluminación de la apertura. Generalmente hablando, aunque no siempre, las funciones de iluminación que producen lóbulos laterales más bajos resultan de un valor más alto de k.

De configuraciones calculadas para varios bordes de iluminación, se ha determinado que:

$$k = 1.05238I + 55.9486 \quad (1 - 41)$$

donde I es el valor absoluto del borde de iluminación (incluyendo la atenuación espacial) en decibelios y k en grados. (En la práctica normalmente se calcularía k solo para pocas figuras significativas). De la aplicación de las ecuaciones (1 – 40) y (1 – 41) para datos medidos de varias antenas, los estudios han concluido que la relación entre el ancho de banda y el borde de iluminación se mantiene prescindiendo de la frecuencia, el tamaño y tipo del reflector o la forma de alimentación.

Valores grandes de energía almacenada en la región de apertura de una antena superdirectiva causa muchos problemas de ingeniería, lo cual es una suficiente razón para hacer este tipo de antena completamente impráctico. El primer problema resulta ser los altos valores de Q (factor de calidad), lo cual limita la operación del ancho de banda a valores extremadamente pequeños. Por ejemplo, se ha demostrado que una antena diseñada con una esfera de 50 longitudes de onda de diámetro tendrá un ancho del lóbulo de aproximadamente 1° . Si el mismo ancho del lóbulo se mantiene mientras el diámetro de la esfera se reduce a 45 longitudes de onda, el valor de Q subirá a un valor de 500. Si el diámetro se reduce a 40 longitudes de onda, el valor de Q subirá a un valor de 5×10^{10} . Para futuras reducciones de diámetro, el valor de Q alcanzaría valores astronómicos. Como el ancho de banda es un valor inverso del valor de Q , se puede notar que el ancho de banda disminuye rápidamente.

1.7 POLARIZACION.-

La polarización es una propiedad de la onda electromagnética de frecuencia simple, que describe la forma y la orientación de los vectores de campo como una función del tiempo. La ingeniería de antenas se interesa principalmente en las propiedades de polarización de ondas planas o en ondas que puedan ser consideradas

planares sobre la región local de observación. Para ondas planas, se necesita únicamente especificar las propiedades de polarización del vector de campo eléctrico mientras que el vector de campo magnético está simplemente relacionado con el primero.

Consideremos, por ejemplo, una onda plana uniforme que viaja en sentido z con los vectores \vec{E} y \vec{H} situados en el plano xy . Si $\vec{E}_y = 0$ y solo está presente \vec{E}_x , se dice que la onda está polarizada en la dirección x . Análogamente podría establecerse cuando la onda estaba polarizada en la dirección y . Si existe las dos componentes \vec{E}_x y \vec{E}_y y están en fase, el campo eléctrico resultante tiene una dirección dependiente de las magnitudes relativas de \vec{E}_x y \vec{E}_y . El ángulo que esta dirección conforme con el eje x será $\tan^{-1} E_y/E_x$ y será constante en el tiempo, como se puede apreciar en la figura 1.5. En estos casos en los que el vector resultante es constante en el tiempo se dice que la onda está polarizada linealmente.

Si \vec{E}_x y \vec{E}_y no están en fase, es decir, si alcanzan sus valores máximos en instantes diferentes, entonces la dirección del vector eléctrico resultante variará en el tiempo. En este caso puede demostrarse que el lugar geométrico de los vértices de estos vectores resultantes \vec{E} será una elipse, diciéndose entonces que la onda está polarizada elípticamente. En el caso particular en que \vec{E}_x y \vec{E}_y tengan igual magnitud y un desfase de 90 grados, el lugar será una circunferencia, hablándose entonces de la polarización circular.

El plano que contiene los campos eléctrico y magnético se llama plano de polarización, el mismo que es ortogonal a la dirección de propagación. En general, el extremo del vector campo eléctrico se mueve a lo largo de una trayectoria elíptica en el plano de polarización. La polarización de la onda se especifica mediante la forma y la orientación de la elipse y la dirección en la cual el vector campo eléctrico atraviesa la

elipse.

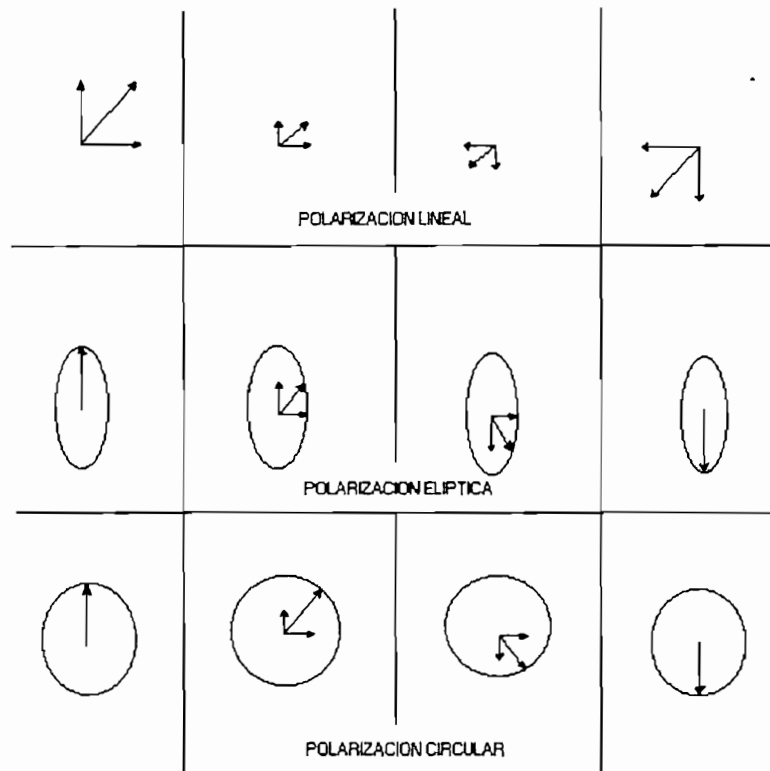


FIG 1.5 Tipos de polarizaciones: lineal elíptica y circular

La forma de la elipse se especifica por su radio axial, que es el radio que va del eje mayor al eje menor. La orientación está dada por el ángulo de inclinación, que es el ángulo entre el eje mayor y una dirección de referencia vista en la dirección de propagación. La dirección en la cual el vector campo eléctrico atraviesa la elipse nos da el sentido de la polarización, pudiendo estar orientado a la izquierda o a la derecha cuando es visto en la dirección de propagación.

La polarización de una antena en una dirección específica se define por la polarización de la onda radiada del campo lejano en tal dirección desde la antena. Usualmente la polarización de una antena permanece relativamente constante a través

del lóbulo principal, pero varía considerablemente en los lóbulos menores.²

Es conveniente definir un sistema de coordenadas esféricas asociado con una antena como se ilustra en la figura 1.6.

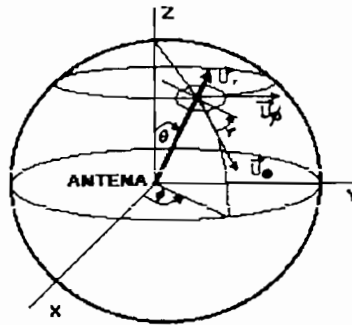


FIG 1.6 Elipse de polarización en relación al sistema de coordenadas de una antena.

La elipse de polarización para la dirección (θ, ϕ) está inscrita en un casquete esférico alrededor de la antena. Es una práctica común escoger \vec{u}_θ (vector unitario en la dirección θ) como la dirección de referencia. El ángulo de inclinación entonces es medido desde \vec{u}_θ hasta \vec{u}_ϕ . El sentido de la polarización es antihorario si el vector de campo eléctrico atraviesa la elipse desde \vec{u}_θ hasta \vec{u}_ϕ como se ve en la dirección de propagación; y en sentido horario en caso contrario.

En muchas situaciones prácticas, como en mediciones de antenas, es conveniente establecer un sistema de coordenadas locales. Usualmente, el eje \vec{u}_3 es la dirección de propagación, el eje \vec{u}_1 es horizontal, y el eje \vec{u}_2 es ortogonal a los otros dos,

² JORDAN, Edward/ BALMAIN, Keith
Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes
Segunda Edición, 1978

así los vectores unitarios están relacionados por $\vec{u}_1 \times \vec{u}_2 = \vec{u}_3$. El ángulo de inclinación se mide desde \vec{u}_1 .

Cuando una antena recibe una onda desde una dirección particular, la respuesta será muy grande si la polarización de la onda incidente tiene el mismo radio axial, el mismo sentido de polarización y la misma orientación espacial como la polarización de la antena en esa dirección. Esta situación se describe en la figura 1.7, donde E_t representa una onda transmitida (polarización de la antena) y E_m representa una onda incidente.

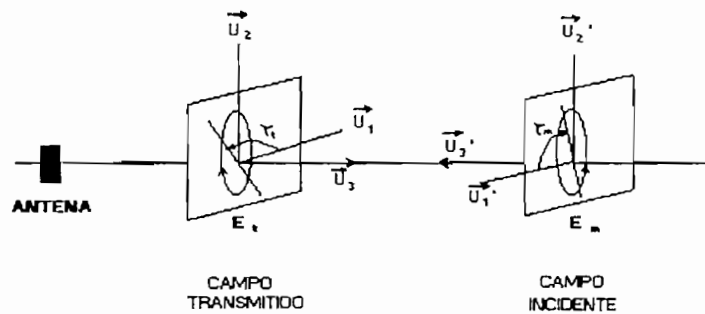


FIG 1.7 Relación entre las propiedades de polarización de una antena en transmisión y recepción.

Notemos que el sentido de polarización tanto para E_t como para E_m son los mismos cuando son vistos en su sistema de coordenadas locales. También notemos que los ángulos de inclinación son diferentes debido a que las direcciones de propagación son opuestas. Como se muestra en la figura 1.7 τ_t es el ángulo de inclinación de la onda transmitida y τ_m es el ángulo de inclinación de la onda recibida, los mismos que están relacionados por:

$$\tau_m = 180^\circ - \tau_t \quad (1 - 42)$$

La polarización de la onda incidente, como se describió anteriormente se llama polarización de recepción de la antena.

Cuando la polarización de la onda incidente es diferente de la polarización de recepción de la antena, entonces se da una pérdida debida a esta diferencia, siendo:

$$\eta_p = \text{eficiencia de polarización, sin unidades}$$

La eficiencia de polarización es la relación de la potencia realmente recibida por la antena y la potencia que sería recibida si la polarización de la onda incidente fuera igualada a la polarización de recepción de la antena.

La esfera de Poincaré, como se muestra en la figura 1.8 es una representación conveniente de los estados de polarización. Cada estado posible de polarización está representado por un único punto sobre la esfera. La latitud representa la relación axial, siendo los polos la polarización circular, el hemisferio superior para el sentido de orientación a la izquierda, y el hemisferio inferior para el sentido de orientación a la derecha. La longitud representa ángulos de inclinación de 0° a 180°. Una característica interesante de la esfera de Poincaré es que los puntos opuestos a lo largo del diámetro representan polarizaciones ortogonales.³

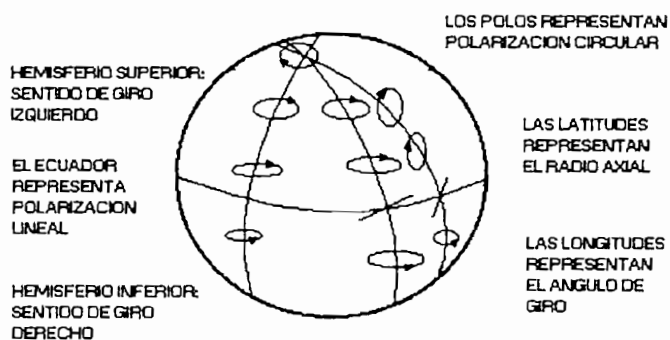


FIG. 1.8 Estados de polarización en la esfera de Poincaré.

³ JOHNSON, R./ JASIK, H.
Antenna Engineering Handbook
McGraw-Hill Book Company, 1984
Pag. 1-9, 1-10

También es conveniente la esfera de Poincaré para representar la eficiencia de polarización. En la figura 1.9, W representa la polarización de una onda incidente, y A_r representa la polarización de recepción de la antena.

Si la distancia angular entre los puntos es 2ε entonces la eficiencia de polarización será:

$$\eta_p = \cos^2 \varepsilon \quad (1 - 43)$$

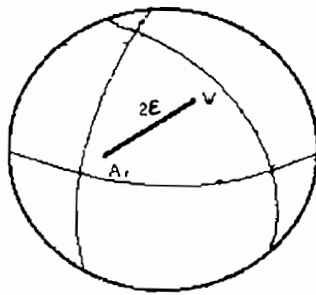


FIG. 1.9 Polarización de recepción de una antena A_r y polarización de una onda incidente W .

CAPITULO II

CAPITULO II

1.- ANTENAS CON POLARIZACION HORIZONTAL.-

Como ya se ha mencionado, la polarización de una onda está determinada por definición, por la posición del vector campo eléctrico \vec{E} en la dirección de máxima radiación, es decir con respecto a una superficie reflectora. En la mayoría de los casos la superficie reflectora es la superficie terrestre como plano de referencia, en caso de no ser así es necesario especificar la posición de la superficie en cuestión. En la figura 2.1 se puede apreciar el vector campo eléctrico en posición paralela a un plano reflector; en cuyo caso se dice que la onda está horizontalmente polarizada.

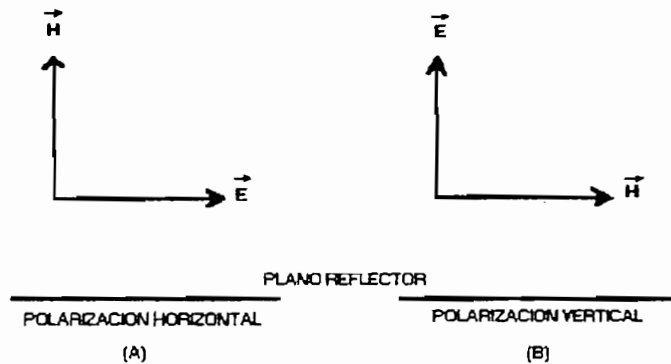


FIG. 2.1 Polarización Lineal

Generalmente el tipo de polarización está determinado por la posición física de la antena con respecto a la tierra u otro plano reflector. Si colocamos una antena, formada por un alambre recto, horizontalmente con respecto a la tierra, entonces la polarización será principalmente horizontal; si la colocamos en posición vertical con respecto a la tierra, la polarización será principalmente vertical.

Para otro tipo de antenas formadas por elementos verticales y horizontales y para arreglos de antenas; la polarización está determinada por la posición del plano

que contiene la antena, pudiendo producir ambos tipos de polarización debido a la forma física de la antena.

2.1 ARREGLOS BASICOS.-

Un arreglo básico constituye un par de antenas idénticas, separadas una distancia d razonable, las mismas que están alimentadas por corrientes de cualquier magnitud y fase. Una vez que entendamos este arreglo básico, estaremos en capacidad de entender un arreglo de antenas compuesto de varias antenas interactuando entre sí a las que luego las podremos considerar como pares de antenas.

El estudio de este arreglo ayudará a comprender mejor las relaciones que existen entre los campos radiados en el plano horizontal y los tres factores principales que afectan dichos campos: separación, posición del punto de observación y las corrientes de alimentación a las antenas.

En la figura 2.2 se representa el esquema básico para determinar el campo radiado que existe en un punto P del espacio. La figura representa dos antenas A_1 y A_2 , ubicadas dentro de un mismo plano horizontal con respecto a tierra, considerando a ambas antenas omnidireccionales en el plano horizontal. A_1 y A_2 representan a cualquier tipo de antenas omnidireccionales. En esta figura la página representa el plano horizontal.

Las direcciones hacia el punto P se miden por medio del ángulo θ en sentido antihorario con respecto a la línea de referencia indicada con 0° .

Las rectas r_0 , R_1 y R_2 , representan las distancias al punto P . R_1 y R_2 son las distancias entre el punto P y los centros físicos de las antenas A_1 y A_2 respectivamente. La distancia entre P y el punto medio del par de antenas es r_0 .

La mitad de la distancia entre los centros de las antenas se representa por d .

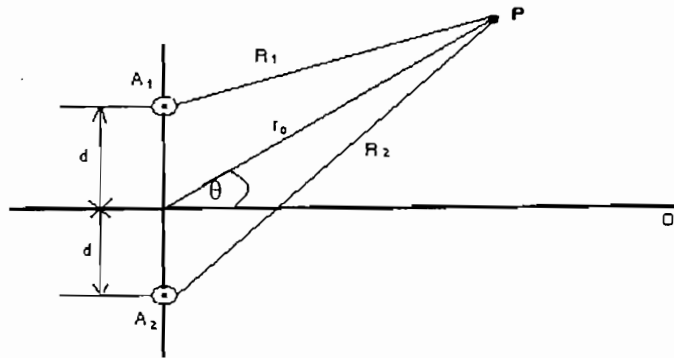


FIG. 2.2

Ahora se obtendrán expresiones para R_1 y R_2 en términos de r_0 , d y θ .

Partiendo de relaciones geométricas de la figura 2.2 es posible obtener expresiones exactas, pero tendríamos como resultado expresiones demasiado complicadas. Es posible obtener expresiones más simples con suficiente exactitud para los propósitos prácticos del presente trabajo de tesis.

Suponiendo que el punto P está a una distancia r_0 mucho mayor que la distancia de separación d entre las antenas, entonces podríamos considerar que las rectas r_0 , R_1 y R_2 , sean prácticamente paralelas, como se indica en la figura 2.3.

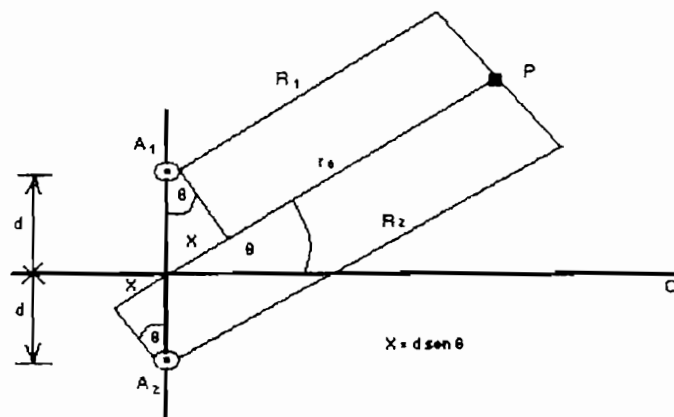


FIG. 2.3

Esta suposición se justifica si la distancia r_0 es por lo menos 100 veces mayor que la distancia d .⁴

En la figura 2.3, r_0 se ha extendido lo suficiente como para garantizar que $r_0 \gg d$, y se han trazado perpendiculares desde A_1 y A_2 a r_0 , formándose así dos triángulos iguales, con ángulos agudos iguales a θ .

Los dos segmentos X son iguales, y aplicando las relaciones trigonométricas, obtenemos las siguientes relaciones:

$$X = d \operatorname{sen} \theta \quad (2-1)$$

$$R_1 = r_0 - X \quad (2-2)$$

$$R_2 = r_0 + X \quad (2-3)$$

Reemplazando (2-1) en (2-2) y (2-3) tenemos:

$$R_1 = r_0 - d \operatorname{sen} \theta \quad (2-4)$$

$$R_2 = r_0 + d \operatorname{sen} \theta \quad (2-5)$$

Las ecuaciones (2-4) y (2-5), significan simplemente que R_1 y R_2 difieren de r_0 en longitud, en una distancia ($d \operatorname{sen} \theta$), lo cual se basa en la suposición de que r_0 , R_1 y R_2 son esencialmente paralelas.

Ahora bien, los campos de las dos antenas tienen la misma frecuencia y sus vectores representativos pueden sumarse fácilmente para cualquier punto P , para hallar el campo total en ese punto. Por lo tanto el campo total en el punto P será:

$$\vec{E}_t = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (2-6)$$

⁴ Dirección General de Aviación Civil
Escuela Técnica de Aviación Civil
Antenas y Diagramas de Irradiación
Pag. 16

$$E_t \angle \beta_t = E_1 \angle \beta_1 + E_2 \angle \beta_2 \quad (2-7)$$

donde E_1 y E_2 son las magnitudes de los campos individuales, β_1 y β_2 son los ángulos de fase de sus campos respectivos, E_t es la amplitud del campo resultante y β_t es la fase del campo resultante.

2.2 CONDICIONES DE FASE.-

Por diversas razones es mucho más conveniente trabajar con valores relativos de campo eléctrico E como también para los ángulos de fase β . Valores relativos son aquellos que se dan en términos de algún valor determinado como referencia.

De esta manera, si tenemos un campo eléctrico E_1 de 15 V/m y un campo eléctrico E_2 de 3 V/m, entonces el valor de E_1 con relación a E_2 es de 5 a 1. En lo que respecta a los diagramas de radiación no existe diferencia en considerar a $E_1 = 5$ V/m y $E_2 = 1$ V/m, o considerar $E_1 = 15$ V/m y $E_2 = 3$ V/m; los dos campos eléctricos tienen los mismos valores relativos. En ambos casos la configuración del diagrama de radiación será la misma.

Por conocimientos básicos sobre antenas sabemos que la intensidad del campo radiado por una antena es directamente proporcional a la magnitud de la corriente de la antena; puesto que en cualquier punto del espacio, el campo eléctrico debido a la corriente, varía sinusoidalmente a la misma frecuencia que la corriente.

Cuando la radiación proviene de una sola antena, la fase del campo eléctrico se compara con la fase del campo eléctrico en la inmediata vecindad de la antena, y esta fase varía entonces con la distancia desde la antena. La relación de fase entre la corriente de la antena y el campo eléctrico en las inmediaciones de la antena es una constante.

Como la intensidad de campo es inversamente proporcional a la distancia desde la antena, los campos radiados desde las antenas individuales de un par son

atenuados en una cantidad igual a la medida en que progresan a través del espacio. Estos hechos permiten hacer simplificaciones en el sentido de que las amplitudes relativas de los campos eléctricos en un punto del espacio son respectivamente iguales a las amplitudes de las corrientes en las antenas que producen estos campos.⁵

Con esto podemos decir que:

$$E_{1 \text{ relativo}} = I_1 \quad \text{y} \quad E_{2 \text{ relativo}} = I_2$$

Se debe tener presente que las intensidades reales de los campos eléctricos de dos antenas dependen de varios factores, uno de ellos es la distancia entre las antenas.

Por otro lado la fase del campo eléctrico radiado, que llega a un punto del espacio, depende de la fase inicial de la corriente de la antena que origina ese campo, y de la distancia que debe atravesar la onda para llegar al punto de observación. Como la fase del campo radiado sufre un atraso de 360° para cada longitud de onda viajera, resulta bastante simple obtener la fase del campo en cualquier punto.

La relación entre la intensidad de corriente y el campo eléctrico en algún punto P del espacio puede expresarse en forma polar o por medio de vectores. En cualquiera de las dos formas, la fase del campo eléctrico atrasa con respecto a la fase de la intensidad de corriente de la antena. De tal forma que:

$$\vec{E}_1 = E_1 \angle \beta_1 = I_1 \angle \phi_1 + \alpha \quad (2-8)$$

$$\vec{E}_2 = E_2 \angle \beta_2 = I_2 \angle \phi_2 - \alpha \quad (2-9)$$

donde β es la fase y E la magnitud de la intensidad de campo eléctrico, ϕ es la fase

⁵ JORDAN, Edward/ BALMAIN Keith
Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes
 Segunda Edición, 1978
 Pag. 374-376

inicial e I la magnitud de la intensidad de corriente de la antena; y α es el retardo que tiene la fase del campo eléctrico con respecto a la fase de la intensidad de corriente de la antena, la misma que depende del ángulo θ , como se puede observar en la figura 2.3.

2.3 REQUERIMIENTOS DE CIRCULARIDAD.-

Los requerimientos de circularidad están relacionados con los diagramas de radiación, por lo tanto se comenzará definiendo a un diagrama de radiación.

Un diagrama de radiación es una gráfica de la intensidad eléctrica del campo, a una distancia fija, y en función de la dirección desde la antena o arreglo de antenas. Los diagramas de radiación se los puede obtener por medio de cálculo matemático, o haciendo mediciones prácticas en el laboratorio o en el campo. Así por ejemplo, es posible determinar un diagrama de radiación en el plano horizontal, tomando lecturas en un medidor de campo eléctrico, avanzando en un círculo alrededor del centro del sistema de antenas, es decir variando su ángulo azimutal θ . Si el medidor de campo eléctrico está construido para dar lecturas que se relacionen linealmente con los ángulos de azimut θ , la gráfica de estas lecturas con respecto a estos ángulos será el diagrama de radiación en el plano horizontal, como se puede apreciar en la figura 2.4.

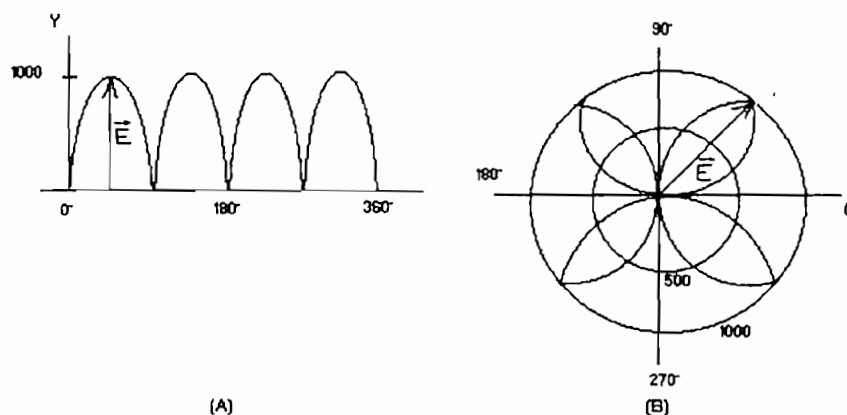


FIG. 2.4

Los diagramas de radiación se trazan comúnmente en términos de intensidad de campo relativo, y no en términos de intensidad de campo absoluto, ya que el mayor interés está en la forma del diagrama. Es importante recalcar que la curva que representa un diagrama de radiación no es un límite, mas allá del cual no existe señal. El diagrama de radiación simplemente indica como varía la intensidad relativa con la dirección desde la antena o arreglo de antenas.

Los diagramas de radiación tienen un máximo de información cuando se los representa en coordenadas tridimensionales; pero en general se puede obtener suficiente información considerando la proyección del diagrama tridimensional sobre el plano horizontal o el plano vertical.

Los diagramas de radiación pueden representarse en el sistema de coordenadas polares o en el sistema de coordenadas rectangulares. En las gráficas rectangulares se mide la dirección a lo largo del eje X, mientras que la intensidad del campo eléctrico se traza a lo largo del eje Y. En la figura 2.4 A se puede apreciar un diagrama de radiación representado en un sistema de coordenadas rectangulares.

En las gráficas polares, la línea de referencia 0° corresponde comúnmente al eje X positivo del sistema de coordenadas rectangulares. La intensidad relativa se indica con la longitud de la recta que va desde el centro del sistema a la curva. El ángulo que forma la recta con la línea de referencia indica la dirección desde el centro de la antena o arreglo de antenas. En la figura 2.4 B se representa una gráfica en coordenadas polares. Como los dos gráficos de la figura 2.4 representan el diagrama horizontal obtenido de un mismo arreglo de antenas, de tal manera que se puede observar la correspondencia entre las gráficas polares y rectangulares.

Los puntos del diagrama donde la intensidad relativa es cero se llaman "ceros", las partes que quedan entre dos ceros adyacentes se llaman "lóbulos", los puntos donde existe la máxima intensidad de campo se llaman "máximos". Los lóbulos de un diagrama que tienen una intensidad máxima se llaman "lóbulos

mayores", "lóbulos menores" son los que tienen máximos de valor menor que los lóbulos mayores.

Un diagrama de radiación puede describirse de acuerdo con la forma y la fase del campo o de los campos que representa. La descripción según la forma del diagrama incluye generalmente la ubicación de los máximos y ceros. También se incluye si es necesario la ubicación de los lóbulos menores y de los mínimos. Existen varios tipos de diagramas, según la manera que se irradia la energía desde la antena. Cuando una antena o sistema de antenas irradia igualmente bien en todas las direcciones, se dice que el diagrama correspondiente es omnidireccional. Una antena o arreglo de antenas que irradia principalmente en dos direcciones tiene un diagrama bidireccional. Si la radiación se concentra principalmente en una dirección, se dice que el diagrama es unidireccional. La figura 2.5 muestra estos tres tipos de diagramas de radiación.

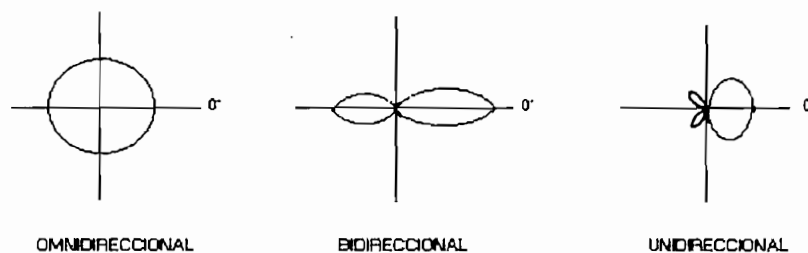


FIG. 2.5

Los diagramas de radiación pueden clasificarse también según su fase relativa comparando la fase del campo eléctrico en dos o más puntos dentro de un mismo diagrama. Es importante que los puntos bajo comparación estén equidistantes del centro del sistema radiante. Si la fase del campo eléctrico es la misma para todos los puntos del diagrama, se describe al diagrama como monofásico. Si en el diagrama existen dos posibles fases, y si estas fases son las mismas dentro de un

mismo lóbulo, entonces tenemos un diagrama bifásico. Bajo ciertas condiciones es posible que la fase del campo eléctrico varíe dentro de un mismo lóbulo; en este caso se dice que es un diagrama de fase variable. Estas tres posibilidades se ilustran en la figura 2.6.

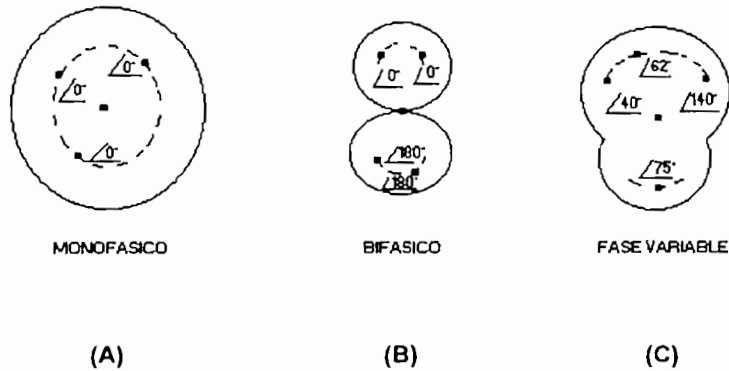


FIG. 2.6

La forma de un diagrama de radiación puede alterarse por las reflexiones en la tierra u otras superficies. Sin embargo, si consideramos que los elementos radiantes están ubicados en el espacio libre, podemos suponer que no hay reflexiones. Un diagrama que ha sido realizado bajo la suposición de que no hay reflexiones, se lo conoce con el nombre de diagrama de espacio libre.

Para un arreglo básico de un par de antenas, sus diagramas de radiación serán siempre simétricos respecto a un eje: la recta que pasa por el centro de las antenas individuales.

El diagrama de radiación de cualquier par de antenas puede ser fácilmente determinado calculando el vector campo eléctrico total \vec{E}_t para varios puntos del azimut (θ). La exactitud del diagrama de radiación que se obtenga de esta manera, dependerá principalmente de la cantidad de puntos que se hayan tomado para hacer los cálculos.

Si consideramos ahora un par de antenas cuyas corrientes tienen diferentes

amplitudes y que están desfasadas 180° ; el hecho de que las corrientes tengan diferentes amplitudes nos dice que:

- No es posible que haya ceros.
- La fase del campo total depende de la dirección θ .

Por lo tanto el campo total será un diagrama de fase variable, como el que se ilustra en la figura 2.6 C.

La cantidad de puntos críticos que puede haber en un cuadrante está limitada. La cantidad de lóbulos en un diagrama es una función de la separación d entre las antenas (figura 2.3). Al aumentar la separación entre un par de antenas, aumenta la cantidad de lóbulos. Es posible determinar la cantidad de puntos críticos (y con esto la cantidad de lóbulos también), con el diagrama vectorial, si conocemos el valor máximo que pueden desplazarse los vectores. Como el cambio de fase (y la posición del vector) depende del valor de α ; el mismo que es función de θ , el máximo cambio de fase ocurre cuando $\theta = 90^\circ$.

Ahora se analizará los requerimientos de circularidad para dos tipos específicos de pares de antenas: el par que tiene corrientes de igual magnitud y fase y el par que tiene corrientes de igual magnitud pero en oposición de fase.

2.3.1 PAR DE ANTENAS CON CORRIENTES EN FASE.-

La intensidad de campo eléctrico total para un par de antenas, vimos que puede obtenerse mediante la suma vectorial de sus componentes:

$$\vec{E}_t = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (2 - 10)$$

Si partimos del hecho de que $\vec{I}_1 = \vec{I}_2 = I \hat{\phi}$ y el par de antenas están separadas una distancia d con un ángulo azimutal θ ; y como \vec{E}_1 y \vec{E}_2 tienen la misma longitud, y ocupan posiciones que están desplazadas en α a ambos lados del vector \vec{I} , como se muestra en la figura 2.7:

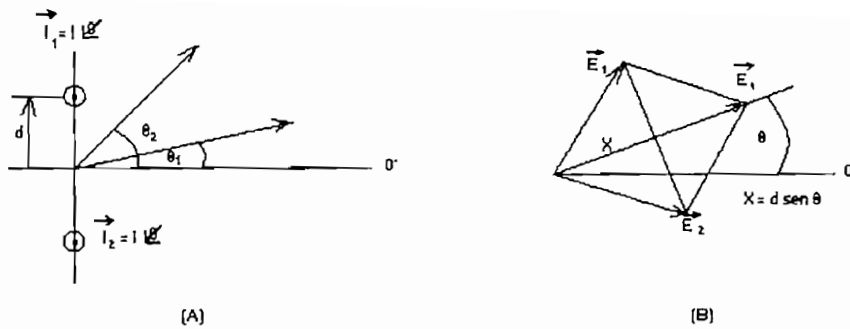


FIG. 2.7

Entonces se puede expresar la amplitud del campo resultante en esa dirección como:

$$E_t = E_1 \cos \alpha + E_2 \cos \alpha \quad (2 - 11)$$

siendo $\alpha = f(\theta)$

Por otro lado, como la amplitud relativa de los campos eléctricos es la misma que la amplitud relativa de las corrientes que originan estos campos, entonces podemos decir que:

$$E_t = I_1 \cos \alpha + I_2 \cos \alpha \quad (2 - 12)$$

Como la amplitud de las corrientes es la misma, entonces:

$$\vec{E}_t = 2I \cos \alpha \quad (2 - 13)$$

Para determinar β_t , podemos observar en la figura 2.7 que los vectores \vec{E}_1 y \vec{E}_2 están siempre a igual distancia del vector \vec{E}_t que está en la dirección ϕ , y tienen igual longitud. Se puede ver fácilmente que su resultante \vec{E}_t , estará siempre a lo largo de la dirección ϕ ó $\phi + 180^\circ$. Por lo tanto el campo resultante de un par de antenas con corrientes iguales y en fase puede expresarse como el vector:

$$\vec{E}_t = 2I \cos \alpha | \phi \quad (2 - 14)$$

y el signo de la amplitud determina si β_t es igual a ϕ ó a $\phi + 180^\circ$.

La ecuación (2 – 14) nos ofrece un medio conveniente para determinar \vec{E}_t para cualquier punto del azimut θ , y obtener las características de radiación de pares de antenas con igual corriente y fase. Si estudiamos un poco más a fondo la ecuación para la intensidad del campo total, veremos que a medida que aumenta la separación entre las antenas, aumenta también la cantidad de lóbulos del diagrama, es decir lo que ya se había mencionado anteriormente. Entonces para valores de d relativamente grandes, debería hallarse \vec{E}_t para muchos puntos del azimut θ , para así encontrar todos los puntos críticos, sean éstos ceros, máximos, mínimos y lóbulos menores.

Debido a que los diagramas de radiación son curvas continuas, es posible construirlos con una exactitud razonable, si se consigue los siguientes requerimientos con exactitud:

- Ubicación de todos los máximos y mínimos.
- El valor de β_t en todas las direcciones.
- Ubicación de todos los mínimos y/o lóbulos menores.
- La amplitud de \vec{E}_t para cada mínimo y lóbulo menor.

Para el par de antenas con corrientes iguales que están en fase, estos requerimientos se cumplen con bastante facilidad. El primer requerimiento puede satisfacerse determinando los ángulos con dirección θ para los cuales la ecuación (2 – 14) tenga un valor máximo o cero. El segundo requerimiento no presenta dificultades, ya que β_t puede tener solamente dos valores: ϕ ó $\phi + 180^\circ$. La ubicación de los mínimos o lóbulos menores resulta también bastante simple en el caso del par de antenas de igual corriente y fase.

Analizando la ecuación (2 – 14), \vec{E}_t será máximo cuando $\cos \alpha$ sea igual a uno, es decir cuando α tenga los valores $0^\circ, \pm 180^\circ, \pm 360^\circ, \pm 540^\circ$, etc, expresando esto en forma de ecuación, la máxima radiación ocurrirá cuando:

$$\alpha = \arccos 180^\circ xn \quad (2 - 15)$$

donde $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots\dots\dots$

Para hallar las direcciones de los ceros, se observa que el valor de \vec{E}_t en la ecuación (2 - 14) es cero cuando el ángulo α es $90^\circ, 270^\circ, 450^\circ$, etc, ya que el coseno de dichos ángulos es cero. En forma de ecuación podemos decir que hay ceros cuando:

$$\alpha = \arccos 180^\circ xn + 90^\circ \quad (2 - 16)$$

donde n es cero o cualquier número entero.

Como ya se había mencionado antes los diagramas de radiación de pares de antenas con corrientes iguales y en fase, son siempre simétricos con respecto a ambos ejes del sistema de coordenadas, y por lo tanto es suficiente calcular los máximos y ceros del primer cuadrante.

La fase del campo resultante β_t , puede calcularse directamente con la ecuación (2 - 14). Pares de antenas con corrientes iguales producen lóbulos que tienen la misma fase en cada lóbulo, y así; puede determinarse fácilmente la fase de cada lóbulo, aplicando la ecuación (2 - 14) solamente en dirección de los máximos.

2.3.2 PAR DE ANTENAS CON CORRIENTES FUERA DE FASE.-

La ecuación de \vec{E}_t para el par de antenas con corrientes iguales y fuera de fase, puede determinarse a partir de los diagramas vectoriales, siguiendo un procedimiento similar al empleado con el par de antenas con corrientes en fase.

La distancia X que se muestra en el diagrama vectorial de la figura 2.7 puede expresarse en función del ángulo θ , E_1 y E_2 . Entonces se puede expresar la amplitud del campo resultante en esa dirección como:

$$E_t = E_1 \text{sen} \alpha + E_2 \text{sen} \alpha \quad (2 - 17)$$

siendo $\alpha = f(\theta)$

Como las corrientes son iguales, y por lo tanto también la amplitud relativa de los campos eléctricos, entonces:

$$\vec{E}_t = 2I \text{sen} \alpha \quad (2 - 18)$$

Podemos observar, que dado que \vec{E}_1 y \vec{E}_2 tienen siempre la misma longitud, y están siempre desplazados en un ángulo α de sus respectivos vectores de corriente, siempre se combinan de manera que \vec{E}_t queda en cualquiera de las dos direcciones: $\phi + 90^\circ$ ó $\phi - 90^\circ$. Sin embargo, el signo de la ecuación (2 - 18) será siempre negativo cuando \vec{E}_t esté sobre la línea $\phi - 90^\circ$, por lo tanto se puede expresar \vec{E}_t como vector polar de la siguiente manera:

$$\vec{E}_t = 2I \text{sen} \alpha \angle \phi + 90^\circ \quad (2 - 19)$$

Los diagramas de radiación de los pares de antenas con corrientes iguales y fuera de fase podrían determinarse resolviendo la ecuación (2 - 19), para una gran cantidad de puntos del azimut θ ; pero en una forma mas fácil se pueden realizar usando procedimientos muy similares a los usados para los pares con corrientes en fase. En forma breve, el procedimiento puede dividirse en cuatro pasos:

- Determinar la ubicación de los máximos y ceros.
- Si no hay máximos ni ceros en $\theta = 90^\circ$ y 270° , determinar si hay mínimos o lóbulos menores en esos ángulos del azimut y hallar su amplitud con la ecuación (2 - 19).
- Con esta información bosquejamos el diagrama en coordenadas polares o rectangulares, trazando la curva entre los puntos críticos, de manera que resulte una curva suave y pareja; y si fuera necesario para mayor exactitud, calculamos \vec{E}_t para mas ángulos del azimut θ .
- Identificar cada lóbulo con su fase correcta β_t .

Con el fin de encontrar las direcciones de máxima radiación, podemos ver que la amplitud de la ecuación (2 – 19) tiene un valor máximo posible de $2I$ cuando el ángulo α es 90° , 270° , 450° , etc, puesto que el seno de estos ángulos es uno. En forma de ecuación, la amplitud máxima ocurre cuando:

$$\alpha = \arcsen 180^\circ xn + 90^\circ \quad (2 - 20)$$

donde $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots\dots\dots$

De manera similar los ceros ocurren para el par fuera de fase, cuando:

$$\alpha = \arcsen 180^\circ xn \quad (2 - 21)$$

donde $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots\dots\dots$

Con estos análisis podemos ver que la ecuación para los máximos del par fuera de fase es la misma que la ecuación para los ceros del par en fase, y que la ecuación para los ceros del par fuera de fase es la misma que la ecuación para los máximos del par en fase. Esto es debido a que el seno y coseno son funciones trigonométricas complementarias.

Ahora bien, si un arreglo de antenas consiste de un par en fase y de un par fuera de fase, deben existir condiciones de fase especiales a fin de que los campos resultantes de cada par puedan sumarse algebraicamente en todas las direcciones. Si recordamos que para el par en fase $\beta_t = \phi$ ó $\beta_t = \phi + 180^\circ$, y que para el par fuera de fase $\beta_t = \phi \pm 90^\circ$, podemos ver que los campos combinados de los dos pares se suman algebraicamente si las corrientes en un par están en cuadratura con las corrientes del otro par.

De esta forma estamos ya en capacidad de analizar un arreglo de antenas formado por varios pares de antenas, de tal forma de calcular un campo resultante por cada par y luego sacar un campo eléctrico resultante total de todo el arreglo.

2.4 ANALISIS DE MODELOS ESCOGIDOS.-

Consideraremos a las antenas sobre un plano de tierra, ya que los campos en la mayoría de las antenas son afectados por la presencia de la tierra. Es diferente considerar a las antenas en el espacio libre, en este caso el plano de tierra es lo suficientemente distante como para que no las afecte. El cambio en la configuración con respecto al la de espacio libre es muy importante. Las relaciones de impedancia también son diferentes con respecto al arreglo considerado en espacio libre, especialmente si el arreglo está muy próximo al plano de tierra.

A continuación se analizará el efecto del plano de tierra en antenas horizontales, algunos casos especiales; los mismos que están limitados a elementos simples o a arreglos simples de varios elementos.

2.4.1 ANTENA HORIZONTAL DE 1/2 LONGITUD DE ONDA.-

Consideremos la antena horizontal de 1/2 longitud de onda, a una altura d sobre un plano de tierra de extensión infinita, como se indica en la figura 2.8.

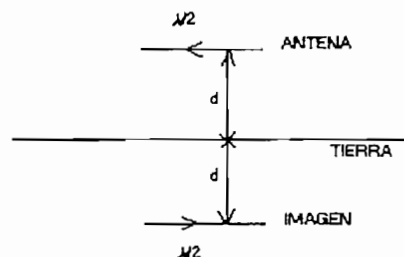


FIG. 2.8 Antena de 1/2 longitud de onda a una altura d de la tierra, con su imagen a igual distancia debajo del plano de tierra.

Debido a la presencia del plano de tierra, el campo a un punto distante P es el resultado de una onda directa y de una onda reflejada desde la tierra, como se puede observar en la figura 2.9.

Asumiendo que el plano de tierra está completamente nivelado y que tiene una conductibilidad perfecta, la componente tangencial del campo eléctrico debe ir

desapareciendo en la superficie. Para cumplir con esta condición, la onda reflejada debe sufrir una inversión de fase de 180° en el punto de reflexión.

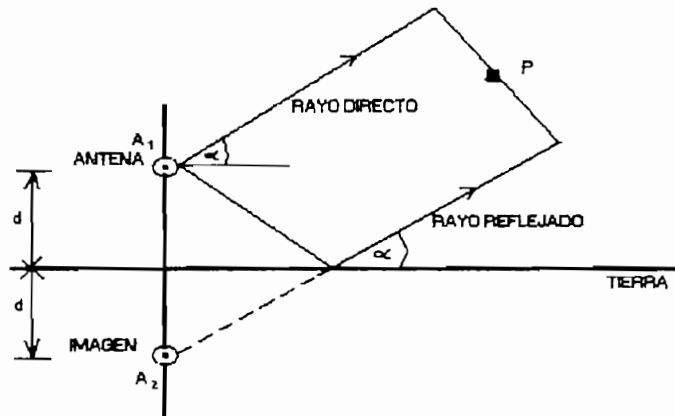


FIG. 2.9 Antena sobre un plano de tierra con su imagen irradiando ondas directas y reflejadas.

Para obtener el campo en un punto distante P, es conveniente transformar el problema al método de las imágenes. En este método, la tierra es reemplazada por una imagen de la antena ubicada a una distancia d debajo del plano de tierra. De esta forma, la energía con que se alimenta a la una antena debe ser exactamente la misma con que se alimenta a su imagen. Debido a la presencia de la tierra, la impedancia de la antena es en general diferente que la expresión para el espacio libre, de esta forma el voltaje aplicado en el terminal de la antena es:

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_m \quad (2 - 22)$$

donde: I_1 = corriente de la antena

I_2 = corriente de la imagen

Z_{11} = impedancia propia de la antena

Z_m = impedancia mutua de la antena y su imagen a la distancia de $2d$

además $I_2 = -I_1$, por lo que la impedancia de la antena en el punto de alimentación será:

$$Z_I = \frac{V_I}{I_I} = Z_{II} - Z_m \quad (2 - 23)$$

La parte real de la ecuación (2 – 23) será:

$$R_I = R_{II} - R_m \quad (2 - 24)$$

R_I es la resistencia en el centro de la antena de $1/2$ longitud de onda. Mientras la altura de la antena sigue creciendo con respecto al plano de tierra, el efecto de la imagen sobre la resistencia decrece, siendo su resistencia de radiación aproximadamente el valor de la resistencia en el espacio libre.

Debido a que la antena y su imagen tienen corrientes de igual magnitud pero de fase contraria, existe radiación cero en el plano horizontal, la misma que está en la dirección para la cual el ángulo de elevación α es cero (figura 2.9). Si la altura d es $1/2$ longitud de onda o menos, la máxima radiación estará siempre en la dirección vertical ($\alpha = 90^\circ$). Para alturas más grandes, la máxima radiación estará en general a un ángulo de elevación entre 0° y 90° .

Resulta conveniente comparar la antena de $1/2$ longitud de onda a una altura d sobre la tierra con respecto a una antena de $1/2$ longitud de onda en el espacio libre con la misma potencia de entrada. A una gran distancia la ganancia en la intensidad de campo de una "Antena de Media Longitud de Onda Sobre la Tierra"(A.M.L.O.S.T.), con respecto a una "Antena de Media Longitud de Onda en el Espacio Libre" (A.M.L.O.E.L.), está dada por:

$$G(\alpha) \left[\frac{A.M.L.O.S.T.}{A.M.L.O.E.L.} \right] = \sqrt{\frac{R_{II} + R_{IL}}{R_{II} + R_{IL} - R_m}} | 2 \text{sen}(h_r \text{sen} \alpha) | \quad (2 - 25)$$

donde: $h_r = (2\pi / \lambda) d$

R_{11} = resistencia propia de la antena de $1/2$ longitud de onda

R_{1L} = resistencia de pérdidas de la antena de $1/2$ longitud de onda

R_m = resistencia mutua entre la antena de $1/2$ longitud de onda y su imagen a la distancia de $2d$

La ecuación (2 – 25) nos da la ganancia en el plano vertical normal a la antena como función del ángulo α , como se puede observar en la figura 2.10; en la que además se observa configuraciones en el plano vertical para alturas $d = 0.1, 0.25, 0.5$ y 1.0 longitudes de onda.

La configuración circular es para una antena de $1/2$ longitud de onda en el espacio libre (esto es, con el plano de tierra retirado), y con la misma potencia de entrada. Se ha asumido que las resistencias de pérdida son cero.

Es también importante y de interés calcular la configuración de campo como una función del ángulo azimutal θ para una elevación constante del ángulo α . El radio vector al punto distante P entonces hace un barrido cónico como se muestra en la figura 2.11.

Para encontrar esta configuración de campo, consideremos primeramente la configuración de campo de una antena horizontal en el espacio libre como se muestra en la figura 2.12, en donde el plano horizontal es el plano x - y .

La intensidad de campo a una gran distancia en la dirección α, θ ; está dada por el segmento OA entre el origen y el punto de intersección del ángulo del cono de elevación α y la superficie del círculo tridimensional de la configuración de campo de la antena.

Esta longitud se la obtiene a partir de la fórmula de configuración de campo de la antena en el espacio libre, expresando el ángulo polar θ' del eje de la antena en términos de α y θ . Podemos observar el triángulo esférico de la derecha en la figura 2.12 .

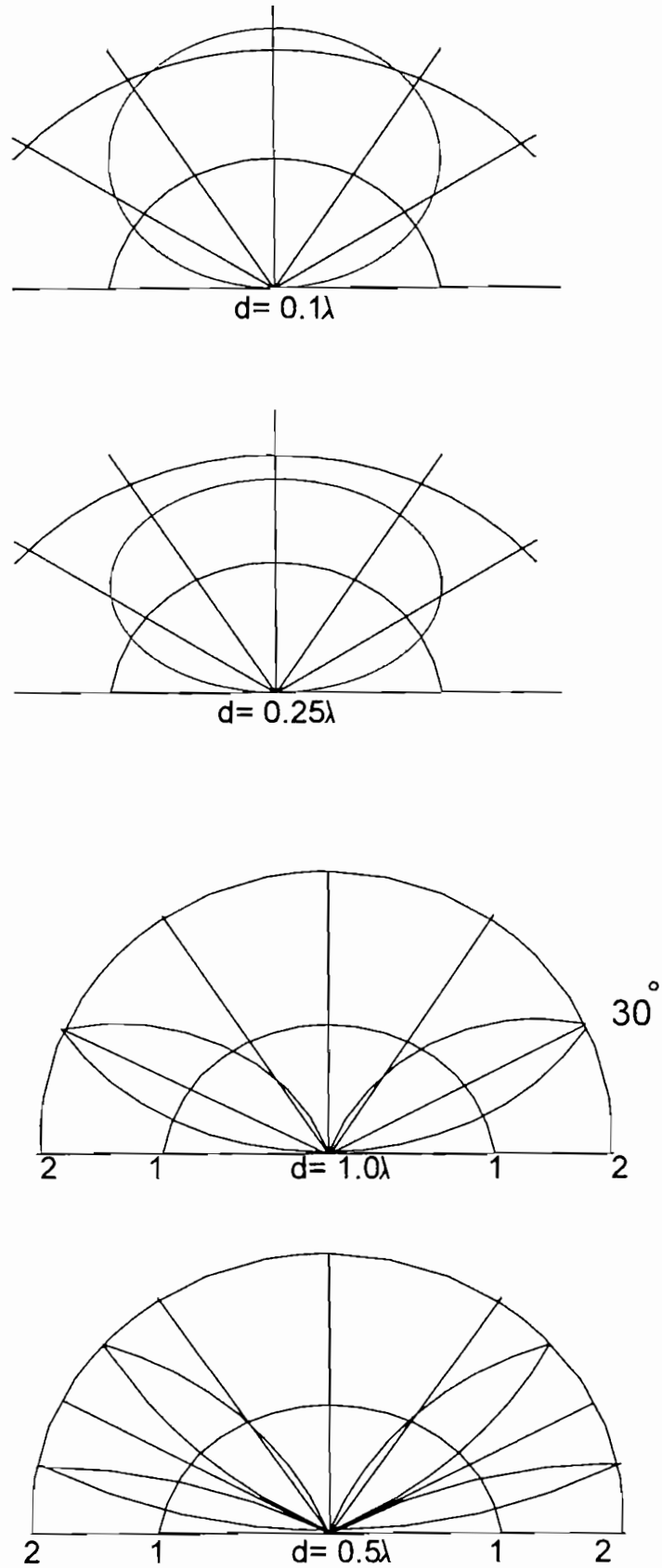


FIG. 2.10 Configuraciones en el plano vertical de una antena horizontal de $1/2$ longitud de onda a varias alturas d sobre un plano de tierra perfectamente conductorio.

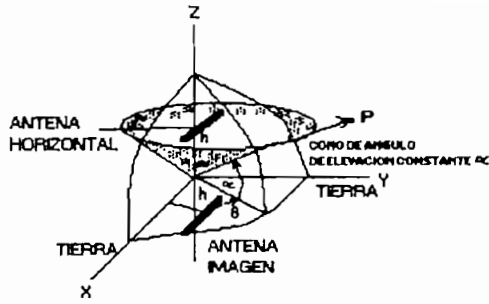


FIG. 2.11 Antena horizontal a una altura d sobre el plano de tierra (plano x-y)

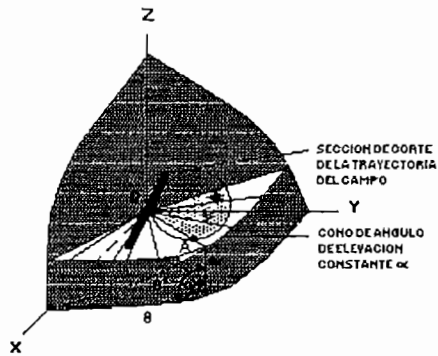


FIG. 2.12 Construcción Geométrica para encontrar la intensidad de campo a un ángulo de elevación constante α

Para el triángulo esférico de la derecha en la figura 2.12 se tiene que:

$$\cos\theta' = \cos\theta \cos\alpha \quad (2 - 26)$$

o aplicando relaciones trigonométricas tenemos que:

$$\text{sen}\theta' = \sqrt{1 - \text{COS}^2\theta \text{COS}^2\alpha} \quad (2 - 27)$$

Substituyendo estas relaciones en la fórmula de configuración, conseguiremos la intensidad de campo en la dirección α, θ . Por otro lado la intensidad de campo eléctrico para una antena horizontal de $1/2$ longitud de onda en función de α y θ está

dada por:

$$E(\alpha, \theta) = \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta']}{\text{sen}\theta'} \quad (2-28)$$

Entonces si sustituimos (2-26) y (2-27) en (2-28) tendremos:

$$E(\alpha, \theta) = \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta\cos\alpha]}{\sqrt{1 - \cos^2\theta\cos^2\alpha}} \quad (2-29)$$

Entonces la configuración de campo relativa de una antena horizontal en el espacio libre como función de θ a un ángulo de elevación constante α_0 está dada por:

$$E(\theta) = \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta\cos\alpha_0]}{\sqrt{1 - \cos^2\theta\cos^2\alpha_0}} \quad (2-30)$$

Ahora para obtener el campo eléctrico de una antena situada a una altura d sobre el plano de tierra, debemos considerar el efecto del campo eléctrico de una antena horizontal en el espacio libre multiplicando por el efecto de dos fuentes puntuales isotrópicas de igual amplitud y fase. Estas fuentes están separadas una distancia de $2d$ a lo largo de la antena. La configuración de las fuentes isotrópicas está caracterizada por:

$$E_{\text{isot}} = \text{sen}(h_r \text{sen}\alpha) \quad (2-31)$$

donde h_r es la altura de la antena sobre la tierra en radianes:

$$h_r = \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (2-32)$$

Esta configuración es independiente del ángulo azimut θ . Multiplicando las configuraciones de espacio libre de una antena horizontal cualquiera por la ecuación (2-31) obtendremos la configuración del campo eléctrico para una antena sobre un plano de tierra perfectamente conductor. De esta manera para una antena horizontal de $1/2$ longitud de onda sobre un plano de tierra perfectamente conductor la

configuración de campo eléctrico tridimensional como función tanto de α como de θ obtendremos multiplicando las ecuaciones (2 – 29) y (2 – 31) lo que nos da como resultado:

$$E = \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta\cos\alpha]}{\sqrt{1 - \cos^2\theta\cos^2\alpha}} \text{sen}(h_r \text{sen}\alpha) \quad (2 - 33)$$

donde h_r = altura de la antena sobre la tierra en radianes.

2.4.2 ANTENAS MURCIELAGO.-

La antena murciélago ilustrada en la figura 2.13, es la antena horizontalmente polarizada más popular para aplicaciones en el rango de VHF.

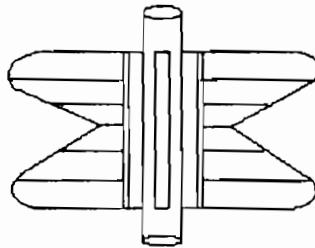


FIG. 2.13 Antena tipo murciélago

Esta antena está compuesta de varios brazos de configuraciones turnstile de dipolos planares de banda ancha. Los dipolos están formados por una grilla de varillas y tienen una longitud y ancho de aproximadamente $1\frac{1}{2}$ longitudes de onda

Cada medio dipolo está soportado por una varilla espaciadora la misma que está sujeta al mástil de soporte en las partes superior e inferior del dipolo. Las mitades opuestas de cada dipolo están alimentadas fuera de fase desde el divisor de energía con líneas de transmisión coaxial de igual longitud conectadas: la mitad de la línea de tierra del cable coaxial al mástil, mientras que el centro del conductor

conectado al centro del espaciador y la otra mitad de la línea coaxial se extiende hasta conectarse al espaciador con el centro del conductor conectado al mástil en el centro del espaciador. Los dipolos en cuadratura están alimentados con un desfase de 90° para proporcionar una configuración azimutal con una circularidad de ± 2 dB. El desfase de 90° se podrá obtener mediante líneas de diferente longitud para los dipolos en cuadratura o por medio de un híbrido en cuadratura. En este último caso, los transmisores visuales y auditivos podrían ser reducidos dentro del arreglo de la antena a través de un híbrido.

El aislamiento entre los transmisores es más o menos lo mismo que lo que se realiza en la pérdida por retorno desde los dipolos., el mismo que es mayor a 26 dB. Cada medio dipolo tiene una impedancia de 75Ω , y se ha obtenido anchos de banda de 20% con pérdidas por retorno mayores a 26 dB. Los dipolos tienen ceros en las direcciones superior e inferior debido a su ancho o altura cuando son analizados desde el plano horizontal. Así los brazos tienen una separación de una longitud de onda para obtener máxima ganancia. Normalmente se usa de 2 a 6 brazos para trabajar en canales del 2 al 6; y hasta 18 brazos para canales 7 al 13.

Mediante una alimentación desigual entre los dipolos ortogonales causarán configuraciones en azimut en forma de maní.⁶

2.4.3 ANTENAS DIPOLO.-

En la figura 2.14 se ilustra un panel de antenas dipolo, en donde los brazos de soporte están eléctricamente conectados a los brazos del dipolo formando parte de la estructura radiante y también ayudando con el acoplamiento del dipolo.

⁶ JOHNSON R./ JASIK H.
Antenna Engineering Handbook
Segunda Edición, 1984
Pag. 28-14

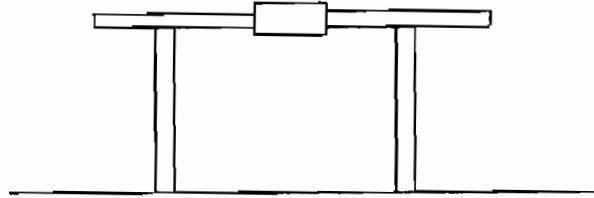


FIG. 2.14 Panel de antenas dipolo

El dipolo es aproximadamente de media longitud de onda de largo y separado aproximadamente un cuarto de longitud de onda del panel. El dipolo es alimentado desde una línea de transmisión balanceada conectada al centro del dipolo o desde una línea coaxial entrando en uno en los brazos del soporte y extendiéndose hacia la abertura de la alimentación central, formando un balun. Anchos de banda de 10% se podrían obtener mediante técnicas de acoplamiento de stubs. Los paneles pueden ser ubicados en torres cuadrangulares o triangulares para obtener configuraciones omnidireccionales o direccionales.

2.4.4 ANTENAS HELICOIDALES.-

En la figura 2.15 podemos apreciar un arreglo individual de un solo brazo de una antena helicoidal, alimentada en fase; dirección derecha y en dirección izquierda en su centro, de tal forma que sus componentes verticalmente polarizadas de las dos hélices se cancelen en la dirección más ancha de la configuración.

El ángulo de inclinación es aproximadamente 12° , de tal manera que la radiación verticalmente polarizada de cada hélice esté cerca de 10 dB por debajo de la radiación horizontalmente polarizada, la misma que produce aproximadamente 0.5 dB de pérdidas en ganancia debido a la radiación de polarización cruzada.



FIG. 2.15 Antena Helicoidal Horizontalmente Polarizada

A partir de la emisión de radiación de cada una de las hélices aproximadamente desde 2.7° por 1% de cambio en frecuencia, la longitud del arreglo está limitado a aproximadamente seis longitudes de onda para canales del 7 al 13. Para estos canales los requerimientos mecánicos de soporte del mástil generalmente se forma por dos hélices con una longitud de giro de dos longitudes de onda para el lado de mayor radiación. El diámetro del mástil se escoge teniendo en cuenta que la atenuación en un sentido a través de cada hélice es de 24 dB. Debido a esta situación, la circularidad de la configuración horizontal es menos que ± 1.5 dB.⁷

⁷ JOHNSON R./ JASIK H.
Antenna Engineering Handbook
Segunda Edición, 1984
Pag. 28-17

CAPITULO III

CAPITULO III

3.- DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS

MODELOS A ESCALA.-

Antes de la determinación experimental con los modelos a escala, se realizaron algunas prácticas previas con el equipo de medición de líneas de transmisión, del mismo que a continuación se da una breve descripción.

El equipo de medición de líneas de transmisión está compuesto por un generador que suministra la señal con que se alimenta la línea ranurada. La frecuencia de la señal suministrada por este generador puede variar de 250 a 960 MHz. La señal suministrada por este generador se la hace pasar por un filtro y un atenuador ubicados antes de la línea ranurada. El filtro es un filtro pasa-bajos que elimina las armónicas que dificultan la localización de los mínimos. El atenuador sirve para anular los ligeros cambios en la amplitud de la señal del oscilador (generador) que podrían producirse debido a las reflexiones causadas por el equipo de medición. El efecto de estas reflexiones, en caso de no ser anuladas, será producir ligeros cambios en la carga que se mira desde el generador. La muestra de voltaje que se toma con la punta de prueba se mezcla por medio de un mezclador con la señal de un oscilador local. A la salida del mezclador se tendrá frecuencias iguales a la suma y a la diferencia de las frecuencias que entran al mezclador.

Estas señales son las que llegan al amplificador de frecuencia intermedia. Como éste es un amplificador sintonizado a 30 MHz, se tendrá máxima deflexión de la aguja sólo cuando la frecuencia que llegue a éste sea de 30 MHz. Por lo cual se escogió para el oscilador local una frecuencia que sea superior o inferior en 30 MHz, a la frecuencia del generador. El ancho de banda del amplificador tiene dos valores que se pueden seleccionar por medio de un switch: 0.5 MHz y 4 MHz. Por regla general se trabajó con el ancho de banda de 0.5 MHz (posición del switch NARROW). La escala del

amplificador permite la lectura del voltaje directamente en decibeles.⁸

A continuación se describe brevemente algunas prácticas previas a la determinación experimental con los modelos a escala.

3.A DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL CABLE COAXIAL.-

Se trabajó con una muestra de cable coaxial de 50Ω de impedancia característica y de 3.15 m de longitud, a una frecuencia de trabajo de 580, 600 y 620 MHz.

Para determinar las características del cable se procedió a trabajar con el equipo descrito anteriormente mediante el uso de la línea ranurada.

Cuando el valor de la impedancia característica de carga Z_r de una línea de transmisión sin pérdidas es diferente del valor de la impedancia característica de la misma Z_0 , existirá entonces ondas incidentes y ondas reflejadas que dan lugar a la formación de ondas estacionarias de voltaje y de corriente, cuya magnitud variará a lo largo de la línea de transmisión. De esta forma se tendrá un V_{\max} y un V_{\min} , cuya relación está dada por la relación de ondas estacionarias de voltaje:

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (3 - 1)$$

El parámetro "S" es muy útil en el estudio de cualquier sistema de transmisión de energía electromagnética, ya que su valor indica con cuanta eficiencia la energía, que se está propagando en dicho sistema, es entregada a otro sistema que está actuando como carga del sistema de transmisión.

El valor de S se lo expresa generalmente en decibelios:

$$S_{db} = 20 \log \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (3 - 2)$$

⁸

Por otro lado al conocer la relación de ondas estacionarias de voltaje S , y la distancia que existe entre cualquier mínimo de voltaje y los terminales de carga, d_{\min} , se puede calcular la impedancia Z_r , mediante la expresión:

$$Z_r = Z_0 \frac{1 - jS \operatorname{tg}(\beta d_{\min})}{S - j \operatorname{tg}(\beta d_{\min})} \quad (3 - 3)$$

Donde β es la constante de fase de la línea e igual a $2\pi/\lambda$. Si la línea no tiene pérdidas entonces la longitud de onda en la línea es igual a la longitud de onda en el vacío ($\lambda = \lambda_0$).

Ahora tratar de medir la impedancia que existe desde un mínimo de voltaje a los terminales de carga d_{\min} , para calcular Z_r mediante la ecuación anterior, no resulta ser muy práctico debido a los errores que se pueden cometer en tal medición, ya que no se puede determinar con exactitud el sitio de conexión de la carga.

Para evitar estos errores generalmente se refiere el punto de los terminales de carga a un punto intermedio en la línea ranurada. Lo cual se consigue cortocircuitando la línea ranurada en su terminal de carga y ubicando un punto en el cual el voltaje es mínimo, como se observa en la figura 3.1.

Este punto se encuentra a una distancia de los terminales de carga igual a un múltiplo entero de medias longitudes de onda. Luego retirando la terminación de cortocircuito, se conecta la impedancia de la cual se quiere determinar su valor y se localiza un nuevo punto en el que el voltaje es mínimo. En este caso se puede presentar dos posibilidades:

a) Se localiza un punto B a la izquierda del punto de referencia A y se mide la distancia d_2 , entre los puntos A y B. La impedancia desconocida se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Z_r = Z_0 \frac{1 - jS \operatorname{tg}(\beta d_2)}{S - j \operatorname{tg}(\beta d_2)} \quad (3 - 4)$$

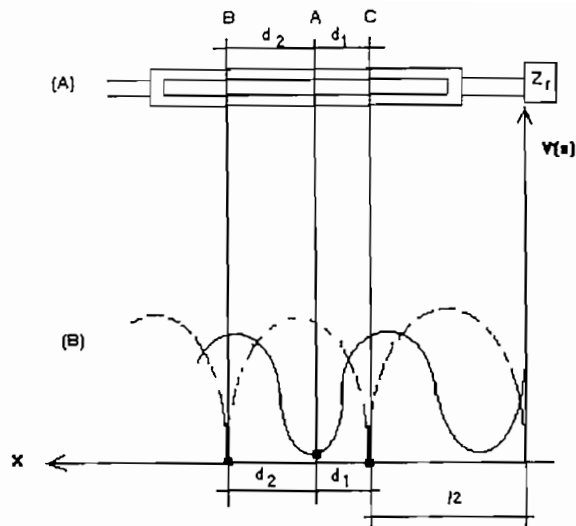


FIG. 3.1 (A) Método de medición de impedancias utilizando la línea ranurada.
(B) Configuración de ondas estacionarias de voltaje con terminación de cortocircuito (línea segmentada) y con la impedancia de carga desconocida (línea continua).⁹

b) Se localiza un punto C, a la derecha del punto A y se mide la distancia d_1 entre A y C, la expresión de Z_r para este caso será:

$$Z_r = Z_0 \frac{1 + j \operatorname{tg}(\beta d_1)}{S + j \operatorname{tg}(\beta d_1)} \quad (3 - 5)$$

De tal forma que en cualquier caso, las distancias d_1 y d_2 serán pequeñas y se pueden determinar con mayor facilidad y exactitud en la línea ranurada; la que posee para cualquier propósito un micrómetro, el mismo que permite determinar d_1 y d_2 con mayor exactitud.

Utilizando este procedimiento se tomó las medidas necesarias para determinar

⁹ Hojas Guías de Laboratorio de Líneas de Transmisión y Guías de Onda
 Facultad de Ingeniería Eléctrica E.P.N.
 Departamento de Telecomunicaciones, 1989
 Pag. 5-4

las características del cable coaxial. Para la determinación de S no se utilizó el método del doble mínimo, ya que este método se utiliza para valores altos de S (aproximadamente 10), y los valores de S para el cable coaxial que se obtuvieron están alrededor de 6. Por lo tanto para el valor de S se tomó los valores de S_{\min} y S_{\max} en decibelios.

$$S_{db} = S_{max} - S_{min} \quad (3 - 6)$$

Pero como en la evaluación de Zr se necesita el valor de S en valor absoluto, se debe realizar la respectiva transformación.

Para determinar las características del cable coaxial, con el equipo de medición se obtuvieron los siguientes datos:

S = relación de onda estacionaria de voltaje en valor absoluto.

$Z_0 = 50 \Omega$ = impedancia característica de la línea ranurada.

f = frecuencia de trabajo en MHz.

d_1 = distancia a la derecha del mínimo de referencia con respecto al mínimo de la carga que se está midiendo, en metros.

d_2 = distancia a la izquierda del mínimo de referencia con respecto al mínimo de la carga que se está midiendo, en metros.

Con estos datos se realizó un programa que calcule las características del cable coaxial. El programa está hecho en lenguaje C a través del paquete **BORLAN C++ ver. 3.00**. Debido a que este paquete trabaja automáticamente con números complejos fue de gran ayuda ya que todos los cálculos que se deben realizar para determinar las características del cable coaxial son en base a operaciones con números complejos. El programa está dividido en cuatro opciones, las mismas que se detallan en el anexo No. 1. En el anexo No.1 también se presenta los datos tabulados de las mediciones obtenidas para los datos más confiables.

3.B MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE UN DIPOLO DOBLADO CONECTADO AL CABLE COAXIAL.

Luego de determinar las características del cable coaxial se procedió a medir la impedancia de un dipolo doblado, el mismo que ya tenía conectado en sus terminales un balun (balanced - unbalanced) para compensar las pérdidas entre el sistema de medición y la impedancia de carga.

En esta parte se utilizó el mismo procedimiento que para medir la impedancia del cable coaxial, con la diferencia que el Z_0 que se ha usado en los cálculos corresponde a la impedancia característica del cable coaxial.

Para esta parte, se puede hacer uso del programa elaborado, cuyo procedimiento se detalla en el anexo No. 1 en donde también se encuentran los datos tabulados.

3.C CALCULO DE LA IMPEDANCIA PARA EL DIPOLO DOBLADO, CONSIDERANDO LA LONGITUD, ATENUACION Y CONSTANTE DE FASE DEL CABLE COAXIAL.

La impedancia que presenta una carga en cualquier punto (definiendo el origen de la carga en $l = 0$), está dada por la siguiente expresión:

$$Z_x = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \operatorname{tgh}(\Gamma l)}{Z_0 + Z_r \operatorname{tgh}(\Gamma l)} \quad (3-7)$$

donde $\Gamma = \alpha + j\beta$

En esta parte, para calcular la impedancia que presenta el dipolo doblado se debe evaluar la fórmula anterior, en la misma que se toma en cuenta la impedancia característica del cable coaxial, la atenuación α , la constante de fase β y la longitud del cable l . Estas tres últimas características están contenidas en la expresión:

$$\operatorname{tgh}(\Gamma l) = \operatorname{tgh}(\alpha l + j\beta l) \quad (3-8)$$

Este cálculo también se lo puede realizar en el programa diseñado, cuyo procedimiento se encuentra en el anexo No. 1 con los resultados tabulados.

3.1 CONFIGURACION DE RADIACION.-

Para realizar las configuraciones de radiación es necesario realizar algunos análisis previos que a continuación se detallan.

3.1.1 CAMPO ELECTROMAGNETICO PRODUCIDO POR UNA ANTENA ELEMENTAL O DIPOLO ELECTRICO OSCILANTE.-

En la figura 3.2 la corriente I varía alrededor del conductor, pero al considerar una longitud dl tan corta, la corriente I es esencialmente constante a lo largo de dicha longitud.

Aunque un elemento de corriente aislada puede parecer un concepto irreal, todo circuito físico o antena, portadores de corriente, pueden considerarse como consistentes de un gran número de tales elementos unidos por sus extremos. Por lo tanto al conocer el campo electromagnético de este bloque, puede calcularse el campo electromagnético de cualquier antena real que tenga una distribución de corriente especificada.

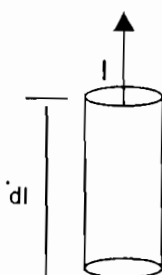


FIG. 3.2

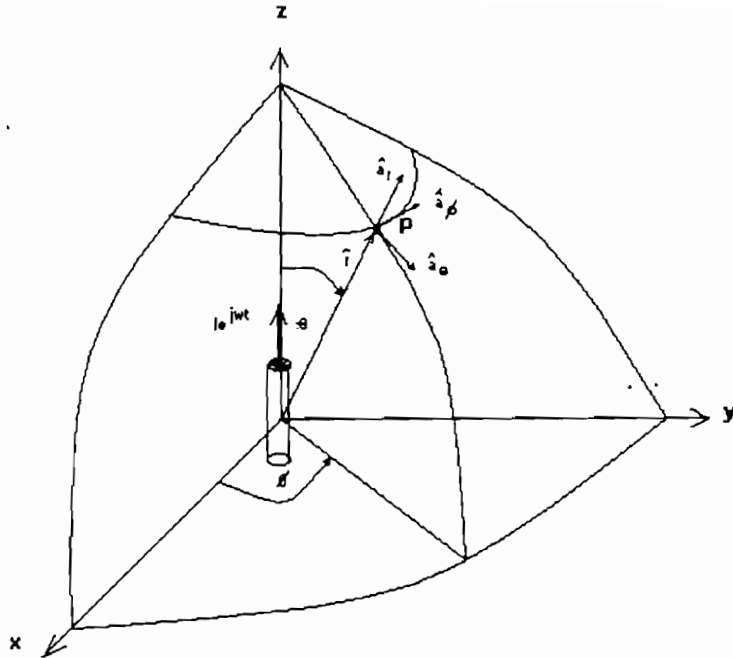


FIG 3.3

Consideremos entonces al elemento de corriente alterna $I d\ell e^{j\omega t}$ situado en el origen de un sistema de coordenadas esféricas como se puede observar en la figura 3.3. El problema entonces consistirá en calcular el campo electromagnético en un punto arbitrario P. En la figura 3.3 se puede apreciar que $\hat{r}' = 0$ y sólo existe componente en z. Ahora lo primero que encontramos es el potencial vectorial retardado \hat{A} en el punto P de acuerdo a la figura 3.4, el mismo que está dado por:

$$\begin{aligned} \hat{A}(\hat{r}, t) &= \hat{A} e^{j\omega t} \\ \hat{A}(\hat{r}, t) &= (A_r \hat{a}_r + A_\phi \hat{a}_\phi + A_\theta \hat{a}_\theta) e^{j\omega t} \\ \hat{A}(\hat{r}, t) &= \frac{u}{4\pi} \int \frac{\hat{J}(\hat{r}', t - \frac{|\hat{r} - \hat{r}'|}{c})}{|\hat{r} - \hat{r}'|} dV \end{aligned} \tag{3-9}$$

Donde \hat{J} es la densidad de corriente.

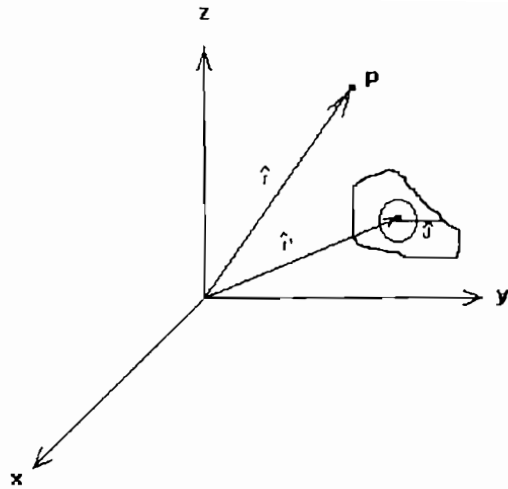


FIG. 3.4

Como en este caso existe únicamente componente en z, entonces resulta sencillo evaluar la componente A_z :

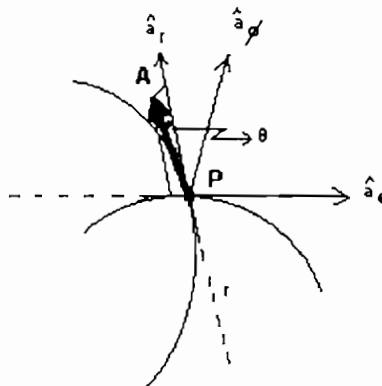


FIG 3.5

$$A_z = \frac{u}{4\pi} \frac{I e^{j\omega(t-\frac{r}{c})}}{r} dl$$

$$A_z = \frac{u I dl}{4\pi r} e^{j\omega(t-\frac{r}{c})} \quad (3-10)$$

$$\hat{A} = A_z \hat{a}_z$$

$$\hat{A} = A_z \cos\Theta \hat{a}_r - A_z \sin\Theta \hat{a}_\theta$$

Por Teoría electromagnética sabemos que:

$$\hat{B} = \nabla \times \hat{A} \quad (3-11)$$

Donde B es la intensidad de campo magnético.

$$\hat{B} = u \hat{H} \quad (3-12)$$

$$u \hat{H} = \nabla \times \hat{A}$$

$$\hat{H} = \frac{1}{u} \nabla \times \hat{A}$$

$$\nabla \times \hat{A} = \begin{vmatrix} \hat{a}_r & \hat{a}_\theta & \hat{a}_\phi \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ A_r & r A_\theta & r \sin\Theta A_\phi \end{vmatrix}$$

Pero sabemos que:

$$\frac{\partial}{\partial \phi} = 0 \quad \text{y} \quad r \sin\Theta A_\phi = 0$$

ya que $A_\phi = 0$, pues sólo existe las componentes A_r y A_θ , con esto podemos decir que:

$$uH_r = (\nabla \times A)_r = 0$$

$$uH_\theta = (\nabla \times A)_\theta = 0$$

$$(\nabla \times \hat{A}) = \frac{\partial(rA_\theta)}{\partial r} \hat{a}_\phi - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \frac{\hat{a}_\phi}{r}$$

$$(\nabla \times \hat{A}) = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r}(rA_\theta) - \frac{\partial}{\partial \theta}(A_r) \right] \hat{a}_\phi$$

como:

$$\hat{A} = A_r \hat{a}_r - A_\theta \hat{a}_\theta$$

$$\hat{A} = A_z \cos \Theta \hat{a}_r - A_z \sin \Theta \hat{a}_\theta$$

por lo tanto:

$$A_r = A_z \cos \Theta$$

$$A_\theta = -A_z \sin \Theta$$

entonces:

$$(\nabla \times \hat{A}) = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r}(-rA_z \sin \Theta) - \frac{\partial}{\partial \theta}(A_z \cos \Theta) \right] \hat{a}_\phi$$

$$H_\phi = \frac{1}{ur} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(-\frac{ruIdl}{4\pi r} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta \right) - \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{uIdl}{4\pi r} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \cos \Theta \right) \right]$$

$$H_\phi = -\frac{Idl}{4\pi r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \cos \Theta \right) \right]$$

$$H_\phi = -\frac{Idl}{4\pi r} \left[-\frac{jw}{c} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta - \frac{1}{r} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta \right]$$

$$H_\phi = \frac{Idl}{4\pi r} \left(\frac{jw}{c} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta + \frac{1}{r} e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta \right)$$

$$H_\phi = \frac{Idl}{4\pi} \left(\frac{jw}{rc} + \frac{1}{r^2} \right) e^{jw(t-\frac{r}{c})} \sin \Theta$$

sabemos que:

$$\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{\lambda f} = \frac{2\pi}{\lambda} = \beta$$

sea $t' = t - r/c$, entonces:

$$H_{\phi} = \frac{Idl}{4\pi} \left(j\frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \sin\Theta e^{j\omega t'} \quad (3-13)$$

Ahora encontremos la expresión para el campo eléctrico E:

$$D = \nabla_x H \quad (3-14)$$

donde D es la corriente de desplazamiento que existe en el espacio libre.

$$\begin{aligned} D &= j\omega \underline{E} \\ \nabla_x H &= j\omega \underline{E} \end{aligned} \quad (3-15)$$

$$\nabla_x H = \begin{matrix} \frac{a_r}{r^2 \sin\Theta} & \frac{a_{\theta}}{r \sin\Theta} & \frac{a_{\phi}}{r} \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \Theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ Hr & H_{\theta} & r \sin\Theta H_{\phi} \end{matrix}$$

ya se indicó anteriormente que todas las derivadas respecto de ϕ son cero, entonces:

$$\frac{\partial}{\partial \phi} = 0$$

y además:

$$H_r = 0$$

$$H_\theta = 0$$

$$\nabla \times \hat{H} = \frac{\partial}{\partial \Theta} (r \text{sen} \Theta H_\phi) \frac{\hat{a}_r}{r^2 \text{sen} \Theta} - \frac{\partial}{\partial r} (r \text{sen} \Theta H_\phi) \frac{\hat{a}_\theta}{r \text{sen} \Theta}$$

$$j\omega \epsilon \hat{E} = \frac{1}{r^2 \text{sen} \Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} (r \text{sen} \Theta H_\phi) \hat{a}_r - \frac{1}{r \text{sen} \Theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \text{sen} \Theta H_\phi) \hat{a}_\theta$$

$$E_r = \frac{1}{j\omega \epsilon r \text{sen} \Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} (\text{sen} \Theta H_\phi)$$

$$E_\theta = -\frac{1}{j\omega \epsilon r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\phi)$$

$$E_r = \frac{1}{j\omega \epsilon r \text{sen} \Theta} \frac{\partial}{\partial \Theta} \left[\text{sen} \Theta \frac{I dl}{4\pi} \left(j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \text{sen} \Theta e^{j\omega t'} \right]$$

$$E_r = \frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r \text{sen} \Theta} \left(j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{j\omega t'} \frac{\partial}{\partial \Theta} \text{sen}^2 \Theta$$

$$E_r = \frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r \text{sen} \Theta} \left(j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{j\omega t'} 2 \text{sen} \Theta \cos \Theta$$

$$E_r = \frac{1}{j\omega \epsilon 2\pi} \frac{I dl}{r^2} \left(j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^3} \right) \cos \Theta e^{j\omega t'} \quad (3-16)$$

$$E_\theta = -\frac{1}{j\omega \epsilon r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{r I dl}{4\pi} \left(j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \text{sen} \Theta e^{j\omega t'} \right]$$

$$E_\theta = -\frac{1}{j\omega \epsilon r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{I dl}{4\pi} \left(j \beta + \frac{1}{r} \right) \text{sen} \Theta e^{j\omega t'} \right]$$

$$E_\theta = -\frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r} \frac{I dl}{\text{sen} \Theta} \frac{\partial}{\partial r} \left[\left(j \beta + \frac{1}{r} \right) e^{j\omega \left(t - \frac{r}{c} \right)} \right]$$

$$E_\theta = -\frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r} \frac{I dl}{\text{sen} \Theta} \left[-\frac{1}{r^2} e^{j\omega t'} + \left(j \beta + \frac{1}{r} \right) \left(-\frac{j\omega}{c} \right) e^{j\omega t'} \right]$$

$$E_\theta = \frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r} \frac{I dl}{\text{sen} \Theta} \left(\frac{1}{r^2} - \beta \frac{\omega}{c} + j \frac{\omega}{rc} \right) e^{j\omega t'}$$

$$E_\theta = \frac{1}{j\omega \epsilon 4\pi r} \frac{I dl}{\text{sen} \Theta} \left(-\beta^2 + j \frac{\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{j\omega t'}$$

$$E_{\theta} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{Idl}{4\pi} \left(-\frac{\beta^2}{r} + j\frac{\beta}{r^2} + \frac{1}{r^3} \right) \sin\theta e^{j\omega t} \quad (3 - 17)$$

Con estos resultados podemos analizar las diferentes componentes como función de $1/r$.

$1/r^3$ es la componente que más rápido se atenúa con la distancia, y existe sólo en distancias muy cercanas al conductor; su efecto es prácticamente nulo y se lo llama campo estático.

$1/r^2$ corresponde al campo de inducción, predomina en puntos próximos al elemento de corriente.

$1/r$ corresponde al campo de radiación, predomina a distancias lejanas del elemento de corriente.

Veamos a que distancia de la antena o elemento de corriente el campo de radiación predomina sobre el campo de inducción:

$$\begin{aligned} \frac{\beta^2}{r} &= \frac{\beta}{r^2} \\ \frac{1}{r} &= \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \\ r &\approx \frac{\lambda}{6} \end{aligned}$$

Aproximadamente a partir de $r = \lambda/6$ predomina el campo de radiación.

3.1.2 CAMPO ELECTROMAGNETICO PRODUCIDO POR UN DIPOLO CON ALIMENTACION CENTRAL Y UNA DISTRIBUCION SUPUESTA DE CORRIENTE SINUSOIDAL.-

Desconociendo la corriente de la antena es posible suponer una cierta distribución, y a partir de ésta calcular las distribuciones aproximadas de los campos. La precisión de los campos así calculados dependerá por lo tanto, del acierto de la distribución supuesta de la corriente.

Pensando que una antena alimentada en su centro es una línea de transmisión en circuito abierto que ha sido modificada separando entre sí el pedazo final de la misma, puede sugerirse una distribución sinusoidal de la corriente con nodos de intensidad en sus extremos. Es decir que en este caso la corriente ya no es constante como en el caso de una antena elemental, sino que varía.

En la figura 3.6 se muestra un dipolo alimentado en su centro con una distribución sinusoidal de corriente. Una antena dipolo es un radiador recto, alimentado usualmente por su centro y produciendo una radiación máxima en el plano normal al eje.

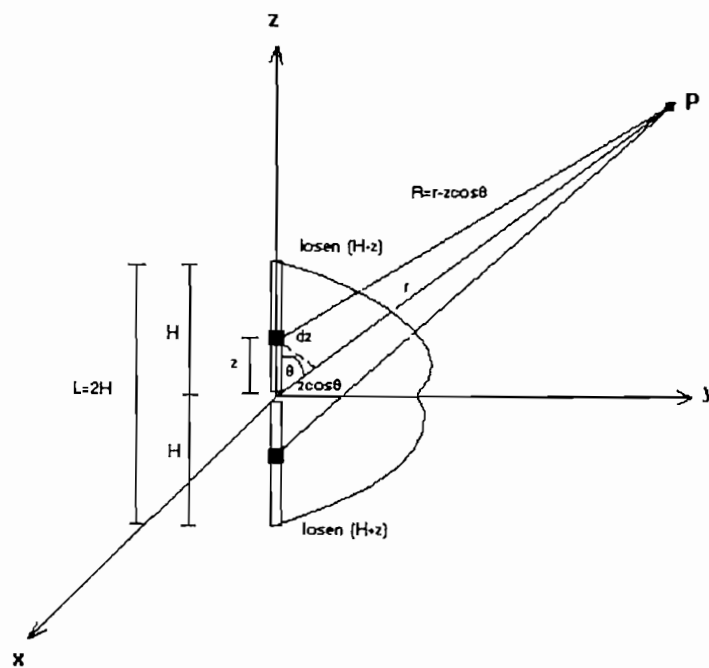


FIG. 3.6

$$I(z) = I_0 \cos\beta(H - Z) \quad Z > 0$$

$$I(z) = I_0 \cos\beta(H + Z) \quad Z < 0$$

donde I_0 es el valor de la corriente en el vientre o corriente máxima.

La expresión del potencial vector en un punto P debido al elemento de corriente $I dz$ será:

$$dA_z = \frac{u}{4\pi} \frac{I(z) e^{j\omega(t-\frac{R}{c})}}{R} dz$$

$$A_z = \frac{u}{4\pi} \int_{-H}^0 \frac{I \operatorname{sen}(\beta(H+Z)) e^{j\omega(t-\frac{R}{c})}}{R} dz + \frac{u}{4\pi} \int_0^H \frac{I \operatorname{sen}(\beta(H-Z)) e^{j\omega(t-\frac{R}{c})}}{R} dz \quad (3 - 18)$$

Como únicamente se necesitan los campos alejados o de radiación en este desarrollo, es posible hacer algunas aproximaciones. Para el factor inverso de la distancia (R en el denominador), es válida la siguiente aproximación:

$$R \approx r$$

Pero esta aproximación no la podemos hacer en el factor de fase del numerador ya que en este caso es la diferencia entre R y r. Para grandes valores de R, las líneas de punto al punto P, en la figura 3.6, son esencialmente paralelas, pudiéndose escribir para R en el factor de fase y de forma aproximada:

$$R = r - z \cos \Theta$$

Por lo tanto A_z queda de la siguiente forma:

$$A_z = \frac{u}{4\pi} \int_{-H}^0 \frac{I \operatorname{sen} \beta(H+Z) e^{j\omega(t-\frac{r-z\cos\Theta}{c})}}{r} dz + \frac{u}{4\pi} \int_0^H \frac{I \operatorname{sen} \beta(H-Z) e^{j\omega(t-\frac{r-z\cos\Theta}{c})}}{r} dz$$

$$A_z = \frac{u}{4\pi r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\int_{-H}^0 \operatorname{sen} \beta(H+Z) e^{j\beta z \cos \Theta} dz + \int_0^H \operatorname{sen} \beta(H-Z) e^{j\beta z \cos \Theta} dz \right]$$

tomando únicamente la parte real de los integrales tenemos:

$$Az = \frac{u}{4\pi r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\int_{-H}^0 \text{sen}\beta(H+Z) \cos(\beta z \cos\Theta) dz + \int_0^H \text{sen}\beta(H-Z) \cos(\beta z \cos\Theta) dz \right]$$

$$\int_{-H}^0 \text{sen}\beta(H+Z) \cos(\beta z \cos\Theta) dz = \frac{1}{2} \int_{-H}^0 \text{sen}(\beta H + \beta Z + \beta Z \cos\Theta) dz$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{-H}^0 \text{sen}(\beta H + \beta Z - \beta Z \cos\Theta) dz$$

sea:

$$u = \beta H + \beta z + \beta z \cos\Theta \quad v = \beta H + \beta z - \beta z \cos\Theta$$

$$du = \beta + \beta z \cos\Theta dz \quad dv = \beta - \beta z \cos\Theta dz$$

$$dz = \frac{du}{\beta(1+\cos\Theta)} \quad dz = \frac{dv}{\beta(1-\cos\Theta)}$$

$$\int_{-H}^0 \text{sen}\beta(H+Z) \cos(\beta z \cos\Theta) dz = \frac{1}{2} \int_{-H}^0 \text{sen}u \frac{du}{\beta(1+\cos\Theta)} + \frac{1}{2} \int_{-H}^0 \text{sen}v \frac{dv}{\beta(1-\cos\Theta)}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H + \beta z + \beta z \cos\Theta)}{\beta(1+\cos\Theta)} \Big|_{-H}^0 - \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H + \beta z - \beta z \cos\Theta)}{\beta(1-\cos\Theta)} \Big|_{-H}^0$$

$$= -\frac{1}{2} \frac{\cos\beta H}{\beta(1+\cos\Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos\Theta)}{\beta(1+\cos\Theta)}$$

$$- \frac{1}{2} \frac{\cos\beta H}{\beta(1-\cos\Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos\Theta)}{\beta(1-\cos\Theta)}$$

$$\int_0^H \text{sen}\beta(H-Z) \cos(\beta z \cos\Theta) dz = \frac{1}{2} \int_0^H \text{sen}(\beta H - \beta Z + \beta Z \cos\Theta) dz$$

$$+ \frac{1}{2} \int_0^H \text{sen}(\beta H - \beta Z - \beta Z \cos\Theta) dz$$

sea:

$$\begin{aligned}
 u &= \beta H - \beta z + \beta z \cos \Theta & v &= \beta H - \beta z - \beta z \cos \Theta \\
 du &= -\beta + \beta z \cos \Theta dz & dv &= -\beta - \beta z \cos \Theta dz \\
 dz &= -\frac{du}{\beta(1 - \cos \Theta)} & dz &= -\frac{dv}{\beta(1 + \cos \Theta)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \int_0^H \text{sen} \beta(H - Z) \cos(\beta z \cos \Theta) dz &= \frac{1}{2} \int_0^H \text{sen} u \frac{-du}{\beta(1 - \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \int_0^H \text{sen} v \frac{-dv}{\beta(1 + \cos \Theta)} \\
 &= \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H - \beta z + \beta z \cos \Theta)}{\beta(1 - \cos \Theta)} \Big|_0^H + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H - \beta z - \beta z \cos \Theta)}{\beta(1 + \cos \Theta)} \Big|_0^H \\
 &= -\frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 - \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 - \cos \Theta)} \\
 &\quad - \frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 + \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 + \cos \Theta)}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned}
 Az &= \frac{u}{4\pi r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[-\frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 + \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 + \cos \Theta)} - \frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 - \cos \Theta)} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 - \cos \Theta)} - \frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 - \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 - \cos \Theta)} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{1}{2} \frac{\cos \beta H}{\beta(1 + \cos \Theta)} + \frac{1}{2} \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 + \cos \Theta)} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Az &= \frac{u}{4\pi r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[-\frac{\cos \beta H}{\beta(1 + \cos \Theta)} + \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 + \cos \Theta)} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{\cos \beta H}{\beta(1 - \cos \Theta)} + \frac{\cos(\beta H \cos \Theta)}{\beta(1 - \cos \Theta)} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Az &= \frac{u}{4\pi \beta r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\cos(\beta H \cos \Theta) \left(\frac{1}{(1 + \cos \Theta)} + \frac{1}{(1 - \cos \Theta)} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \cos \beta H \left(\frac{1}{(1 + \cos \Theta)} + \frac{1}{(1 - \cos \Theta)} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$A_z = \frac{u}{4\pi\beta r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} [\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H] \left(\frac{1 - \cos\Theta + 1 + \cos\Theta}{1 - \cos^2\Theta} \right)]$$

$$A_z = \frac{2u}{4\pi\beta r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H}{\sin^2\Theta} \right]$$

$$A_z = \frac{u}{2\pi\beta r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H}{\sin^2\Theta} \right] \quad (3-19)$$

Una vez calculado A_z , podemos encontrar las expresiones para el campo eléctrico y para el campo magnético. De acuerdo con la figura 3.7, tenemos que:

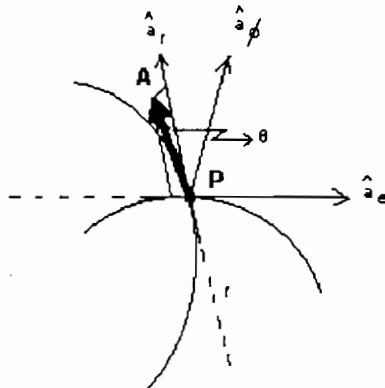


FIG. 3.7

$$\begin{aligned} \hat{A} &= A_z \hat{a}_z \\ \hat{A} &= A_r \hat{a}_r - A_\theta \hat{a}_\theta \\ A_r &= A_z \cos\Theta \\ A_\theta &= -A_z \sin\Theta \\ \hat{A} &= A_z \cos\Theta \hat{a}_r - A_z \sin\Theta \hat{a}_\theta \\ \hat{B} &= \nabla \times \hat{A} \\ \hat{B} &= u \hat{H} \\ u \hat{H} &= \nabla \times \hat{A} \\ \hat{H} &= \frac{1}{u} \nabla \times \hat{A} \end{aligned}$$

$$\nabla_{xA} = \begin{vmatrix} \frac{\hat{a}_r}{r^2 \text{sen}\Theta} & \frac{\hat{a}_\Theta}{r \text{sen}\Theta} & \frac{\hat{a}_\phi}{r} \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \Theta} & \frac{\partial}{\partial \phi} \\ A_r & rA_\Theta & r \text{sen}\Theta A_\phi \end{vmatrix}$$

como sólo existe las componentes A_r y A_Θ ya que $A_\phi = 0$, entonces:

$$\frac{\partial}{\partial \phi} = 0 \quad \text{y} \quad r \text{sen}\Theta A_\phi = 0$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} uH_r &= (\nabla_{xA})_r = 0 \\ uH_\Theta &= (\nabla_{xA})_\Theta = 0 \\ (\nabla_{xA}) &= \frac{\partial}{\partial r} \frac{(rA_\Theta)}{r} \frac{\hat{a}_\phi}{r} - \frac{\partial}{\partial \Theta} \frac{A_r}{r} \frac{\hat{a}_\phi}{r} \\ (\nabla_{xA}) &= \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (rA_\Theta) - \frac{\partial}{\partial \Theta} A_r \right] \frac{\hat{a}_\phi}{r} \\ (\nabla_{xA}) &= \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (-rA_z \text{sen}\Theta) - \frac{\partial}{\partial \Theta} (A_z \cos\Theta) \right] \hat{a}_\phi \end{aligned}$$

ya que únicamente necesitamos la componente del campo de radiación $1/r$, entonces:

$$\frac{\partial}{\partial \Theta} (A_z \cos\Theta) = 0$$

Por lo tanto cuando la corriente está únicamente en la dirección del eje z, tenemos:

$$\begin{aligned} uH_\phi &= -\frac{\partial A_z}{\partial r} \text{sen}\Theta \\ H_\phi &= -\frac{1}{u} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u}{2\pi\beta r} I_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H}{\text{sen}^2\Theta} \right] \right) \text{sen}\Theta \\ H_\phi &= j \frac{I_0 e^{j(\omega t - \beta r)}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H}{\text{sen}\Theta} \right] \end{aligned}$$

La magnitud del campo eléctrico de radiación será:

$$H_{\phi} = \frac{1}{2\pi r} I_0 \left[\frac{\cos(\beta H \cos \Theta) - \cos \beta H}{\sin \Theta} \right] \quad (3 - 20)$$

La intensidad de campo eléctrico de radiación en magnitud será:

$$E_{\Theta} = \eta H_{\phi} \quad (3 - 21)$$

siendo:

$$\eta = 120\pi$$

$$E_{\Theta} = \frac{120\pi I_0}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos \Theta) - \cos \beta H}{\sin \Theta} \right]$$

$$E_{\Theta} = \frac{60 I_0}{r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos \Theta) - \cos \beta H}{\sin \Theta} \right] \quad (3 - 22)$$

3.1.3 CAMPO ELECTROMEGNETICO PRODUCIDO POR CUATRO ELEMENTOS ISOTROPICOS, CADA ELEMENTO CONSTA DE DOS DIPOLOS CUYA CORRIENTE ESTA DESFASADA 90°

Supongamos un punto P lo suficientemente lejano, de tal forma que para grandes valores de r las líneas al punto P son esencialmente paralelas, de tal forma que:

$$R_1 = r_1 - d \cos \Theta$$

$$R_2 = r_2 + d \cos \Theta$$

$$R_3 = r_3 + d \cos \Theta$$

$$R_4 = r_4 - d \cos \Theta$$

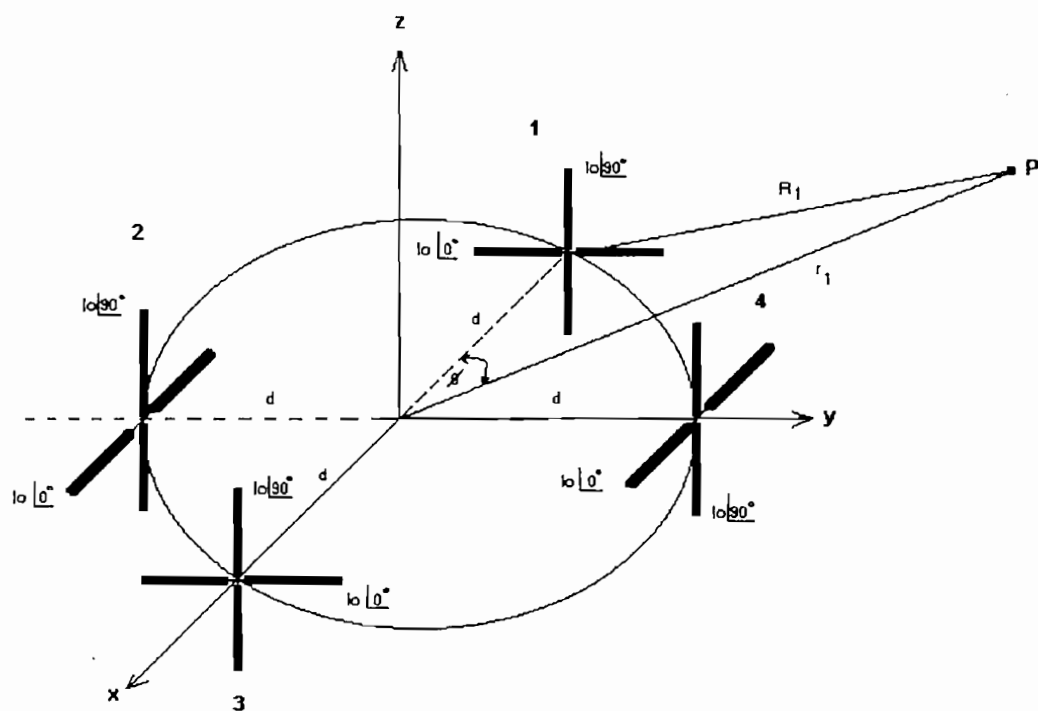


FIG. 3.8

Como los elementos isotrópicos están en el plano xy , como se observa en la figura 3.9:

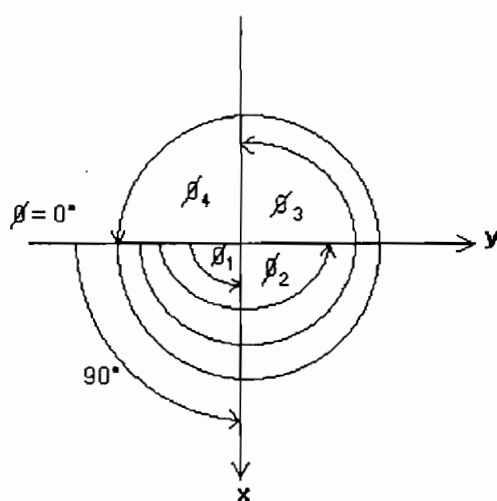


FIG. 3.9

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 0^\circ \\ \phi_2 &= 90^\circ \\ \phi_3 &= 180^\circ \\ \phi_4 &= 270^\circ\end{aligned}$$

En general:

$$R_n = r_n - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (3-23)$$

además:

$$\begin{aligned}R_1 &\approx R_2 \approx R_3 \approx R_4 \\ r_1 &\approx r_2 \approx r_3 \approx r_4\end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$R = r - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (3-24)$$

Analicemos ahora el campo eléctrico producido por cada uno de los elementos del arreglo:

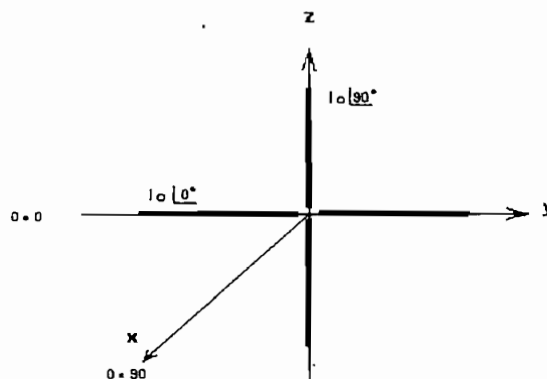


FIG. 3.10

- Para los elementos 1 y 3, partamos de la figura 3.10:

para el eje vertical: E_0

para el eje horizontal:

$$E_0 \left| \frac{\cos((\pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right|$$

$$E_1 = E_0 + jE_0 \left| \frac{\cos((\pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right|$$

$$E_1 = E_0 [1 + jK_1 f(\phi)]$$

$$f(\phi) = \left| \frac{\cos((\pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right| \quad K_1 = \text{constante}$$

$$E_3 = E_1$$

$$E_3 = E_0 + jE_0 \left| \frac{\cos((\pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right|$$

$$E_3 = E_0 [1 + jK_3 f(\phi)]$$

$$K_3 = \text{constante}$$

- Para los elementos 2 y 4 partamos de la figura 3.11:

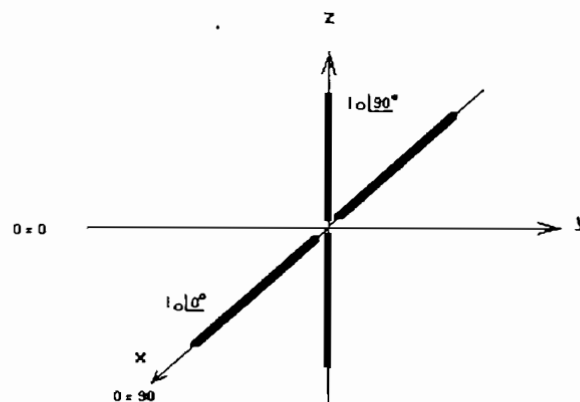


FIG. 3.11

para el eje vertical: E_o

para el eje horizontal:

$$E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right|$$

$$E_2 = E_o + jE_o \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right|$$

$$E_2 = E_o[1 + jK_2 g(\phi)]$$

$$g(\phi) = \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right| \quad K_2 = \text{constante}$$

$$E_4 = E_2$$

$$E_4 = E_o + jE_o \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right|$$

$$E_4 = E_o[1 + jK_4 g(\phi)]$$

$$K_4 = \text{constante}$$

Ahora consideremos que existe un desfaseamiento entre todos los elementos, sea:

α_2 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 2

α_3 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 3

α_4 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 4

Por lo tanto el campo total en el punto P, será la suma de todos los campos producidos por cada uno de los elementos isotrópicos considerando únicamente la componente de radiación, y considerando solo los módulos ya que realmente no nos interesa la orientación:

$$E_T = |E_1 f(\phi)| e^{-j\beta R_1} + |E_2 g(\phi)| e^{-j\beta R_2} e^{j\alpha_2} \\ + |E_3 f(\phi)| e^{-j\beta R_3} e^{j\alpha_3} + |E_4 g(\phi)| e^{-j\beta R_4} e^{j\alpha_4}$$

$$\begin{aligned}
E_T &= |E_1(f(\phi))| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_1))} + |E_2 g(\phi)| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_2))} e^{j\alpha_2} \\
&\quad + |E_3 f(\phi)| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_3))} e^{j\alpha_3} + |E_4 g(\phi)| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_4))} e^{j\alpha_4} \\
E_T &= |E_1(f(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_1)} + |E_2 g(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_2)} e^{j\alpha_2} \\
&\quad + |E_3 f(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_3)} e^{j\alpha_3} + |E_4 g(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_4)} e^{j\alpha_4}
\end{aligned}$$

sea:

$$\begin{aligned}
\psi_1 &= \beta d \cos(\phi - \phi_1) + \alpha_1; \psi_1, \alpha_1 \text{ en radianes} \\
\psi_2 &= \beta d \cos(\phi - \phi_2) + \alpha_2; \psi_2, \alpha_2 \text{ en radianes} \\
\psi_3 &= \beta d \cos(\phi - \phi_3) + \alpha_3; \psi_3, \alpha_3 \text{ en radianes} \\
\psi_4 &= \beta d \cos(\phi - \phi_4) + \alpha_4; \psi_4, \alpha_4 \text{ en radianes}
\end{aligned}$$

en general:

$$\psi_n = \beta d \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

$$\begin{aligned}
E_T &= |E_1(f(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + |E_2 g(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} \\
&\quad + |E_3 f(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + |E_4 g(\phi)| e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_T &= |E_0| \left| 1 + jK_1 \frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right| \left| e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + |E_0| \left| 1 + jK_2 \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right| \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} \\
&\quad + |E_0| \left| 1 + jK_3 \frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right| \left| e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + |E_0| \left| 1 + jK_4 \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right| \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_T &= e^{-j\beta r} E_0 \left[1 + K_1^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} (\cos\psi_1 + j\text{sen}\psi_1) \\
&\quad + \left[1 + K_2^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} (\cos\psi_2 + j\text{sen}\psi_2) \\
&\quad + \left[1 + K_3^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} (\cos\psi_3 + j\text{sen}\psi_3) \\
&\quad + \left[1 + K_4^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} (\cos\psi_4 + j\text{sen}\psi_4) \\
E_T &= e^{-j\beta r} E_0 \left[\cos\psi_1 \left[1 + K_1^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + j\text{sen}\psi_1 \left[1 + K_1^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \right. \\
&\quad + \cos\psi_2 \left[1 + K_2^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + j\text{sen}\psi_2 \left[1 + K_2^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \\
&\quad + \cos\psi_3 \left[1 + K_3^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + j\text{sen}\psi_3 \left[1 + K_3^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \\
&\quad \left. + \cos\psi_4 \left[1 + K_4^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + j\text{sen}\psi_4 \left[1 + K_4^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \right] \\
&\quad |e^{-j\beta r}| = |\cos\beta r - j\text{sen}\beta r| \\
&\quad |e^{-j\beta r}| = (\cos^2\beta r + \text{sen}^2\beta r)^{1/2} \\
&\quad |e^{-j\beta r}| = 1 \\
|E_T| &= |E_0| \left[\cos\psi_1 \left[1 + K_1^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + \cos\psi_2 \left[1 + K_2^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \right. \\
&\quad \left. + \cos\psi_3 \left[1 + K_3^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi} \right)^2 \right]^{1/2} + \cos\psi_4 \left[1 + K_4^2 \left(\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right)^2 \right]^{1/2} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + [\text{sen}\psi_1 [1 + K_1^2 (\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi})^2]^{1/2} + \text{sen}\psi_2 [1 + K_2^2 (\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi})^2]^{1/2} \\
& + \text{sen}\psi_3 [1 + K_3^2 (\frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi})^2]^{1/2} + \text{sen}\psi_4 [1 + K_4^2 (\frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi})^2]^{1/2}]^{1/2}
\end{aligned}$$

llamemos:

$$f_1(\phi) = \frac{\cos((\Pi/2)\cos\phi)}{\text{sen}\phi}$$

$$g_1(\phi) = \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi}$$

$$\begin{aligned}
|E_T| = |E_0| [& [\cos\psi_1 (1 + K_1^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \cos\psi_2 (1 + K_2^2 g_1^2(\phi))^{1/2} \\
& + \cos\psi_3 (1 + K_3^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \cos\psi_4 (1 + K_4^2 g_1^2(\phi))^{1/2}]^2 \\
& + [\text{sen}\psi_1 (1 + K_1^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \text{sen}\psi_2 (1 + K_2^2 g_1^2(\phi))^{1/2} \\
& + \text{sen}\psi_3 (1 + K_3^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \text{sen}\psi_4 (1 + K_4^2 g_1^2(\phi))^{1/2}]^2]^{1/2}
\end{aligned}$$

llamemos:

$$\begin{aligned}
a & = \cos\psi_1 (1 + K_1^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \cos\psi_2 (1 + K_2^2 g_1^2(\phi))^{1/2} + \cos\psi_3 (1 + K_3^2 f_1^2(\phi))^{1/2} \\
& + \cos\psi_4 (1 + K_4^2 g_1^2(\phi))^{1/2} \\
b & = \text{sen}\psi_1 (1 + K_1^2 f_1^2(\phi))^{1/2} + \text{sen}\psi_2 (1 + K_2^2 g_1^2(\phi))^{1/2} + \text{sen}\psi_3 (1 + K_3^2 f_1^2(\phi))^{1/2} \\
& + \text{sen}\psi_4 (1 + K_4^2 g_1^2(\phi))^{1/2}
\end{aligned}$$

donde:

$\sqrt{a^2 + b^2}$ es el factor de arreglo y

$$|E_0| = \frac{60I_0}{r} \left[\frac{\cos(\beta H \cos\Theta) - \cos\beta H}{\text{sen}\Theta} \right]$$

Por lo tanto:

$$|E_T| = |E_0| \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3 - 25)$$

A partir de este desarrollo matemático, se realizó un programa en **QUICK BASIC**, que permita calcular la expresión para el campo eléctrico total en módulo E_T vs. ϕ . Como se pudo analizar en el desarrollo de la expresión para el campo eléctrico el módulo de E_T es función de muchas variables, todas ellas son tomadas en consideración en la entrada de datos para el cálculo de dicha expresión. Esto se detalla de mejor manera en el anexo No. 2, sección 1.

El objetivo de evaluar la expresión para el campo eléctrico es el de encontrar los valores de las variables adecuados para el diseño de las antenas que se construirán a escala y determinar que la circularidad no exceda los 2 dB. Entre otros valores estarán los ángulos de desfasaje, las distancias entre los dipolos, las constantes K_n , etc.

Al analizar los gráficos correspondientes al anexo No. 2, sección 1, vemos que la magnitud del campo eléctrico total varía conforme varía la constante K_n . El módulo del campo eléctrico relativo tiene variaciones que fluctúan entre 0.86 y 1 aproximadamente; y, para nuestro propósito, la magnitud del campo eléctrico total deberá tener variaciones promedio de tal manera que la circularidad no exceda los 2 dB; por lo tanto el gráfico que escogeremos para el modelo de mejores características corresponde al cuadro de datos A2.1-5 con su gráfico A2.1-5 en donde el módulo del campo eléctrico total relativo varía entre 0.84 y 1 aproximadamente.

3.1.4 CAMPO ELECTROMAGNETICO PRODUCIDO POR CUATRO ELEMENTOS ISOTROPICOS, CADA ELEMENTO CONSTA DE DOS DIPOLOS CUYA CORRIENTE ESTA DESFASADA 90° (LOS CAMPOS ELECTRICOS HORIZONTAL Y VERTICAL ESTAN TOMADOS POR SEPARADO).

Supongamos un punto P lo suficientemente lejano, de tal forma que para grandes valores de r las líneas al punto P son esencialmente paralelas, de tal forma que:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= r_1 - d \cos \Theta \\
 R_2 &= r_2 + d \cos \Theta \\
 R_3 &= r_3 + d \cos \Theta \\
 R_4 &= r_4 - d \cos \Theta
 \end{aligned}$$

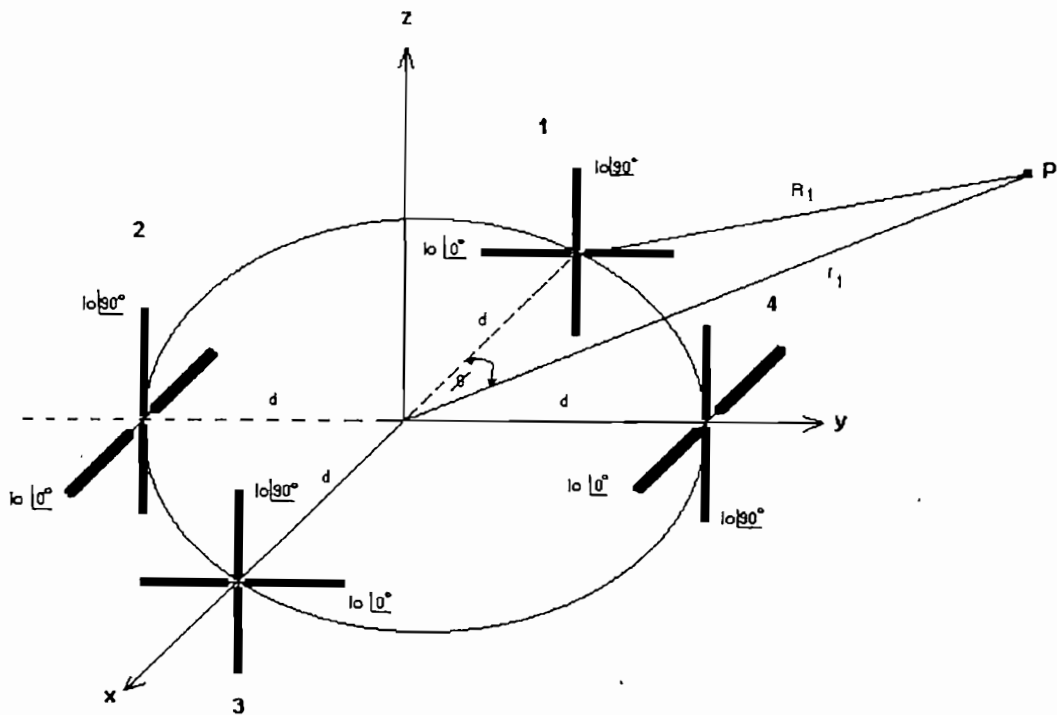


FIG. 3.12

Como los elementos isotrópicos están en el plano xy , como se observa en la figura 3.13:

$$\begin{aligned}\phi_1 &= 0^\circ \\ \phi_2 &= 90^\circ \\ \phi_3 &= 180^\circ \\ \phi_4 &= 270^\circ\end{aligned}$$

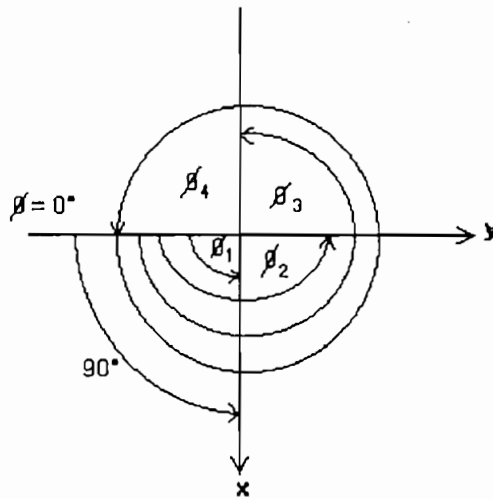


FIG. 3.13

En general:

$$R_n = r_n - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (3-26)$$

además:

$$\begin{aligned}R_1 &\approx R_2 \approx R_3 \approx R_4 \\ r_1 &\approx r_2 \approx r_3 \approx r_4\end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$R = r - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (3-27)$$

Analicemos el campo eléctrico producido por cada uno de los elementos del arreglo:

- Para los elementos 1 y 3, partamos de la figura 3.14:

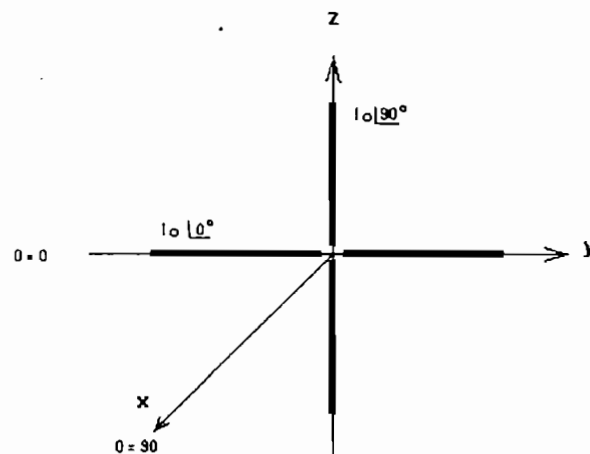


FIG. 3.14

para el eje vertical: E_o

para e eje horizontal:

$$K_1 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right|$$

$$f(\phi) = \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\sin \phi} \right|$$

$K_1 = \text{constante}$

$E_{V1} = E_o$

$E_{H1} = K_1 E_o f(\phi)$

$E_{V3} = E_o$

$E_{H3} = K_3 E_o f(\phi)$

- Para los elementos 2 y 4 partamos de la figura 3.15:

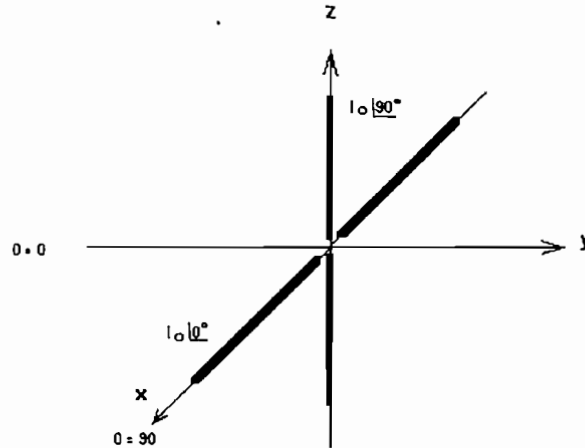


FIG. 3.15

para el eje vertical: E_o

para el eje horizontal:

$$K_2 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right|$$

$$g(\phi) = \left| \frac{\cos((\Pi/2)\text{sen}\phi)}{\cos\phi} \right|$$

$K_2 = \text{constante}$

$E_{V2} = E_o$

$E_{H2} = K_2 E_o f(\phi)$

$E_{V4} = E_o$

$E_{H4} = K_4 E_o f(\phi)$

$K_4 = \text{constante}$

Ahora consideremos que existe un desfaseamiento entre todos los elementos, sea:

α_2 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 2

α_3 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 3

α_4 el desfaseamiento entre los elementos 1 y 4

Calculamos ahora el campo producido por todas las componentes verticales en el punto P, considerando únicamente la componente de radiación, y solo en módulos ya que no interesa la orientación:

$$\begin{aligned}
 E_V &= |E_{V1}| e^{-j\beta R_1} + |E_{V2}| e^{-j\beta R_2} e^{j\alpha_2} + |E_{V3}| e^{-j\beta R_3} e^{j\alpha_3} + |E_{V4}| e^{-j\beta R_4} e^{j\alpha_4} \\
 E_V &= E_0 e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_1))} + E_0 e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_2))} e^{j\alpha_2} \\
 &\quad + E_0 e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_3))} e^{j\alpha_3} + E_0 e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_4))} e^{j\alpha_4} \\
 E_V &= E_0 e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_1)} + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_2)} e^{j\alpha_2} \\
 &\quad + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_3)} e^{j\alpha_3} + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_4)} e^{j\alpha_4}
 \end{aligned}$$

sea:

$$\psi_1 = \beta d \cos(\phi - \phi_1) + \alpha_1; \psi_1, \alpha_1 \text{ en radianes}$$

$$\psi_2 = \beta d \cos(\phi - \phi_2) + \alpha_2; \psi_2, \alpha_2 \text{ en radianes}$$

$$\psi_3 = \beta d \cos(\phi - \phi_3) + \alpha_3; \psi_3, \alpha_3 \text{ en radianes}$$

$$\psi_4 = \beta d \cos(\phi - \phi_4) + \alpha_4; \psi_4, \alpha_4 \text{ en radianes}$$

en general:

$$\psi_n = \beta d \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

$$\begin{aligned}
E_V &= E_0 e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + E_0 e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_V &= E_0 e^{-j\beta r} (\cos\psi_1 + j\text{sen}\psi_1) + E_0 e^{-j\beta r} (\cos\psi_2 + j\text{sen}\psi_2) \\
&\quad + E_0 e^{-j\beta r} (\cos\psi_3 + j\text{sen}\psi_3) + E_0 e^{-j\beta r} (\cos\psi_4 + j\text{sen}\psi_4) \\
|e^{-j\beta}| &= |\cos\beta r - j\text{sen}\beta r| \\
|e^{-j\beta}| &= (\cos^2\beta r + \text{sen}^2\beta r)^{1/2} \\
|e^{-j\beta}| &= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
|E_V| &= |E_0| [(\cos\psi_1 + \cos\psi_2 + \cos\psi_3 + \cos\psi_4)^2 \\
&\quad + (\text{sen}\psi_1 + \text{sen}\psi_2 + \text{sen}\psi_3 + \text{sen}\psi_4)^2]^{1/2} \quad (3-28)
\end{aligned}$$

Ahora calculemos el campo producido por todas las componentes horizontales en el punto P, considerando únicamente la componente de radiación, y sólo en módulos, ya que no interesa la orientación:

$$\begin{aligned}
E_H &= |E_{H1}| e^{-j\beta R_1} + |E_{H2}| e^{-j\beta R_2} e^{j\alpha_2} + |E_{H3}| e^{-j\beta R_3} e^{j\alpha_3} + |E_{H4}| e^{-j\beta R_4} e^{j\alpha_4} \\
E_H &= |E_{H1}| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_1))} + |E_{H2}| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_2))} e^{j\alpha_2} \\
&\quad + |E_{H3}| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_3))} e^{j\alpha_3} + |E_{H4}| e^{-j\beta(r-d\cos(\phi-\phi_4))} e^{j\alpha_4} \\
E_H &= |E_{H1}| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_1)} + |E_{H2}| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_2)} e^{j\alpha_2} \\
&\quad + |E_{H3}| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_3)} e^{j\alpha_3} + |E_{H4}| e^{-j\beta r} e^{j\beta d\cos(\phi-\phi_4)} e^{j\alpha_4}
\end{aligned}$$

sea:

$$\begin{aligned}
\psi_1 &= \beta d\cos(\phi - \phi_1) + \alpha_1; \psi_1, \alpha_1 \text{ en radianes} \\
\psi_2 &= \beta d\cos(\phi - \phi_2) + \alpha_2; \psi_2, \alpha_2 \text{ en radianes} \\
\psi_3 &= \beta d\cos(\phi - \phi_3) + \alpha_3; \psi_3, \alpha_3 \text{ en radianes} \\
\psi_4 &= \beta d\cos(\phi - \phi_4) + \alpha_4; \psi_4, \alpha_4 \text{ en radianes}
\end{aligned}$$

en general:

$$\psi_n = \beta d\cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

$$\begin{aligned}
E_H &= |E_{H1}| e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + |E_{H2}| e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} + |E_{H3}| e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + |E_{H4}| e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_H &= |K_1 E_o(f(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + |K_2 E_o(g(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} \\
&\quad + |K_3 E_o(f(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + |K_4 E_o(g(\phi))| e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_H &= K_1 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_1} + K_2 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_2} \\
&\quad + K_3 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_3} + K_4 E_o \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| e^{-j\beta r} e^{j\psi_4} \\
E_H &= e^{-j\beta r} E_o \left[K_1 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| (\cos \psi_1 + j \text{sen } \psi_1) \right. \\
&\quad + K_2 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| (\cos \psi_2 + j \text{sen } \psi_2) \\
&\quad + K_3 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| (\cos \psi_3 + j \text{sen } \psi_3) \\
&\quad \left. + K_4 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| (\cos \psi_4 + j \text{sen } \psi_4) \right] \\
|e^{-j\beta}| &= |\cos \beta r - j \text{sen } \beta r| \\
|e^{-j\beta}| &= (\cos^2 \beta r + \text{sen}^2 \beta r)^{1/2} \\
|e^{-j\beta}| &= 1 \\
E_H &= E_o \left[\left(K_1 \cos \psi_1 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| + K_2 \cos \psi_2 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + K_3 \cos \psi_3 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| + K_4 \cos \psi_4 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| \right)^2 \right. \\
&\quad \left. + \left(K_1 \text{sen } \psi_1 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| + K_2 \text{sen } \psi_2 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + K_3 \text{sen } \psi_3 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| + K_4 \text{sen } \psi_4 \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right| \right)^2 \right]^{1/2}
\end{aligned}$$

llamando:

$$\begin{aligned}
f_1(\phi) &= \left| \frac{\cos((\Pi/2) \cos \phi)}{\text{sen } \phi} \right| \\
g_1(\phi) &= \left| \frac{\cos((\Pi/2) \text{sen } \phi)}{\cos \phi} \right|
\end{aligned}$$

$$|E_H| = |E_0| \left[(K_1 \cos \psi_1 f(\phi) + K_2 \cos \psi_2 g(\phi) + K_3 \cos \psi_3 f(\phi) + K_4 \cos \psi_4 g(\phi))^2 + (K_1 \sin \psi_1 f(\phi) + K_2 \sin \psi_2 g(\phi) + K_3 \sin \psi_3 f(\phi) + K_4 \sin \psi_4 g(\phi))^2 \right]^{1/2} \quad (3 - 29)$$

Con este desarrollo matemático, se realizó un programa en **QUICK BASIC**, que permita calcular la expresión para el campo eléctrico horizontal en módulo y para el campo eléctrico vertical en módulo, pero tomados por separado, para de esta manera tener una herramienta más de ayuda en evaluar las diferentes variables de las cuales son función estos campos. Las mismas variables que intervienen en el desarrollo del campo eléctrico total, como se explicó en la sección anterior, intervienen en el desarrollo de las expresiones para los campos eléctricos parciales horizontal y vertical. Las mencionadas variables son tomadas en consideración en la entrada de datos para el cálculo de dichas expresiones. Esto se detalla de mejor manera en el anexo No. 2, secciones 2 y 3 correspondientes a los campos vertical y horizontal respectivamente.

El objetivo de evaluar las expresiones para los campos eléctricos horizontal y vertical por separado, es el de encontrar los valores de las variables adecuados para el diseño de las antenas que se construirán a escala para garantizar que la circularidad no exceda los 2 dB. Entre otros valores estarán los ángulos de desfase, las distancias entre los dipolos, las constantes K_n , etc.

Al analizar los gráficos correspondientes al anexo No. 2, secciones 2 y 3 para los campos vertical y horizontal respectivamente, vemos que la magnitud de las componentes de los campos eléctricos vertical y horizontal varían conforme varía la constante K_n . El módulo de la componente del campo eléctrico vertical relativo tiene variaciones muy pequeñas que fluctúan entre 0.96 y 1 aproximadamente, mientras que el módulo de la componente del campo eléctrico horizontal relativo tiene variaciones entre 0.78 y 1 aproximadamente. Si sumamos los gráficos correspondientes a las componentes horizontal y vertical del campo eléctrico tendremos el gráfico

correspondiente al módulo del campo eléctrico total. De esta manera verificamos que las condiciones por las que escogimos el gráfico para el campo eléctrico total son las mismas para las componentes del campo eléctrico vertical y horizontal, lo cual se refleja en los cuadros A2.2-5 y su gráfico A2.2-5 para la componente del campo eléctrico vertical y el cuadro A2.3-5 y su gráfico A2.3-5 para la componente del campo eléctrico horizontal.

3.2 IMPEDANCIA.-

Existe una variedad de tratamientos electromagnéticos rigurosos para desarrollar fórmulas que permitan determinar numéricamente los valores de las partes real e imaginaria de una antena, pero tales métodos si bien tienen importancia científica están fuera de los objetivos del presente trabajo de tesis; por lo cual nos limitaremos a evaluar matemáticamente la expresión de la impedancia de una antena considerando parte real y parte imaginaria.

3.2.1 EVALUACION DE LA EXPRESION PARA DETERMINAR NUMERICAMENTE LOS VALORES DE LAS PARTES REAL E IMAGINARIA DE LA IMPEDANCIA DE UNA ANTENA.

La siguiente expresión proviene de un trabajo desarrollado en base a resultados obtenidos en infinidad de antenas:¹⁰

$$Z_b = Z_{oav} \frac{HsenG + j(F - N)SENG - j(2 Z_{oav} - M)COSG}{(2 Z_{oav} + M)SENG + (F + N)COSG - jHCOSG} \quad (3 - 30)$$

$$Z_b = Z_{oav} \frac{HsenG + j[(F - N)SENG - (2 Z_{oav} - M)COSG]}{[(2 Z_{oav} + M)SENG + (F + N)COSG] - jHCOSG}$$

¹⁰ SHELKUNOF, S.A.
Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape
 Proc. IRE, Vol 29
 Sept. 1941

Para separar parte real e imaginaria, multiplico por su conjugada:

$$\begin{aligned}
 Z_b &= Z_{oav} \frac{H \operatorname{sen} G + j[(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G] - j H \operatorname{cos} G} * \\
 &\quad \frac{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G] + j H \operatorname{cos} G}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G] + j H \operatorname{cos} G} \\
 Z_b &= Z_{oav} \frac{[H \operatorname{sen} G + j[(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]] *}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \\
 &\quad \frac{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G] + j H \operatorname{cos} G}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G] + j H \operatorname{cos} G} \\
 Z_b &= Z_{oav} \frac{H \operatorname{sen} G [(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \\
 &\quad + \frac{j H^2 \operatorname{sen} G \operatorname{cos} G + j [(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \\
 &\quad + \frac{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \\
 &\quad - \frac{H \operatorname{cos} G [(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \quad (3 - 31)
 \end{aligned}$$

Parte real:

$$\begin{aligned}
 Z_{br} = R_b = Z_{oav} &\frac{H \operatorname{sen} G [(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \\
 &- \frac{H \operatorname{cos} G [(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} \quad (3 - 32)
 \end{aligned}$$

Parte imaginaria:

$$\begin{aligned}
 Z_b = X_b = Z_{oav} &\frac{H^2 \operatorname{sen} G \operatorname{cos} G + [(F - N) \operatorname{sen} G - (2 Z_{oav} - M) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]^2 + H^2 \operatorname{cos}^2 G} * \\
 &\quad \frac{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]}{[(2 Z_{oav} + M) \operatorname{sen} G + (F + N) \operatorname{cos} G]} \quad (3 - 33)
 \end{aligned}$$

donde: Z_{oav} se conoce como la impedancia característica promedio de una antena y corresponde a un parámetro que relaciona el largo de una antena a su radio mediante la ecuación:

$$Z_{oav} = 60 \ln\left(\frac{2H}{a} - 1\right) \quad \text{para monopolo} \quad (3-34)$$

$$Z_{oav} = 120 \ln\left(\frac{2H}{a} - 1\right) \quad \text{para dipolo}$$

H = altura del monopolo o semilongitud del dipolo

a = radio de la antena

$Z_b = R_b + jX_b$ impedancia de base o del punto de excitación de la antena

R_b = resistencia de base o de excitación

X_b = reactancia de base o de excitación

$G = \beta H$ = altura eléctrica del monopolo o semilongitud eléctrica del dipolo (grados o radianes).

$$F = 60Si2G + 30(Ci4G - \ln G - G)\text{sen}2G - 30\text{cos}2G(Si4G)$$

$$H = 60(G + \ln 2G - Ci2G) + 30(G + \ln G - 2Ci2G + Ci4G)\text{cos}2G + 30(Si4G - 2Si2G)\text{sen}2G$$

$$M = 60(\ln 2G - Ci2G + G - 1 + \text{cos}2G)$$

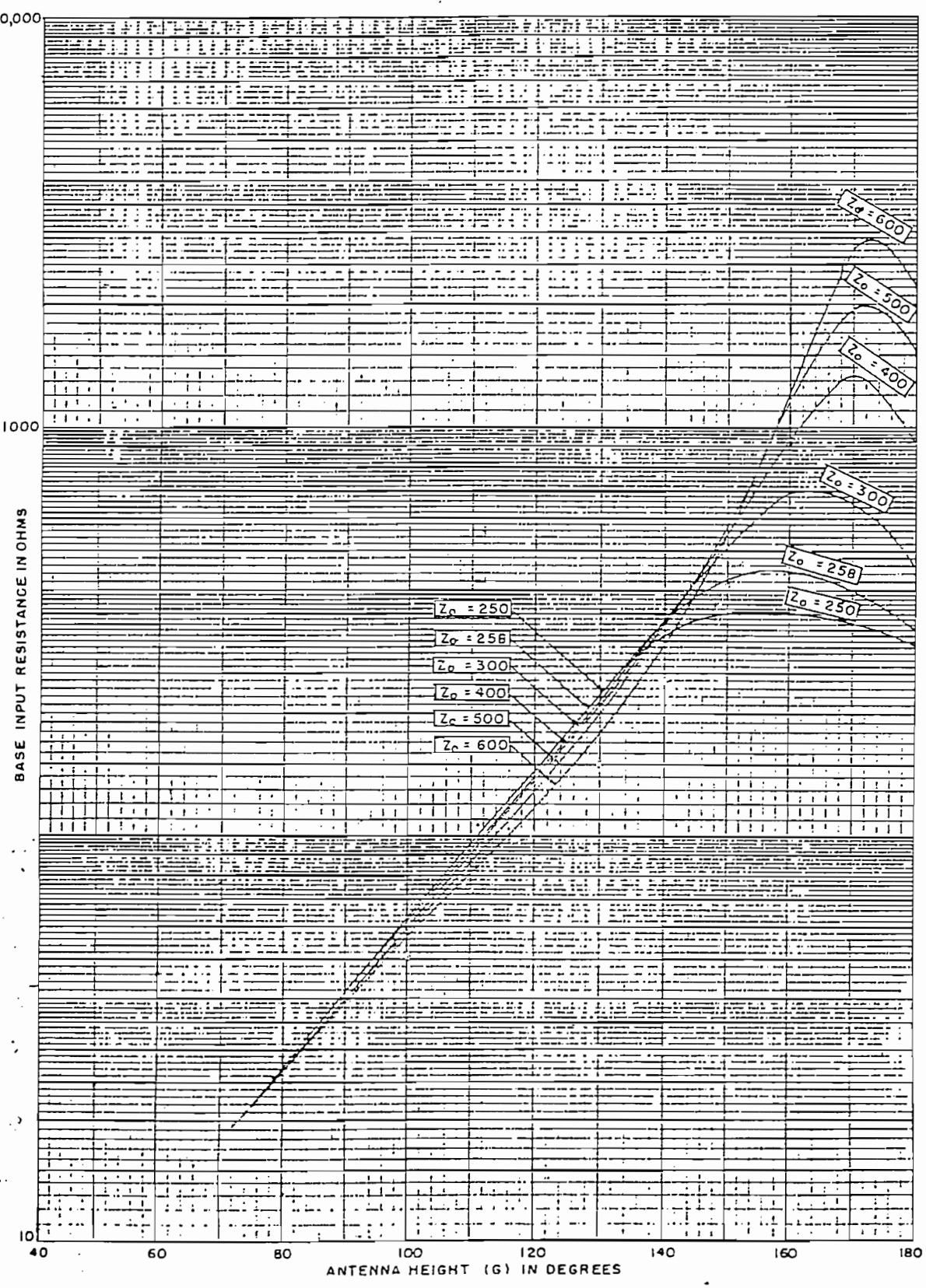
$$N = 60(Si2G - \text{sen}2G)$$

$$G = 0.5772157 = \text{constante de Euler}$$

Si = función seno integral

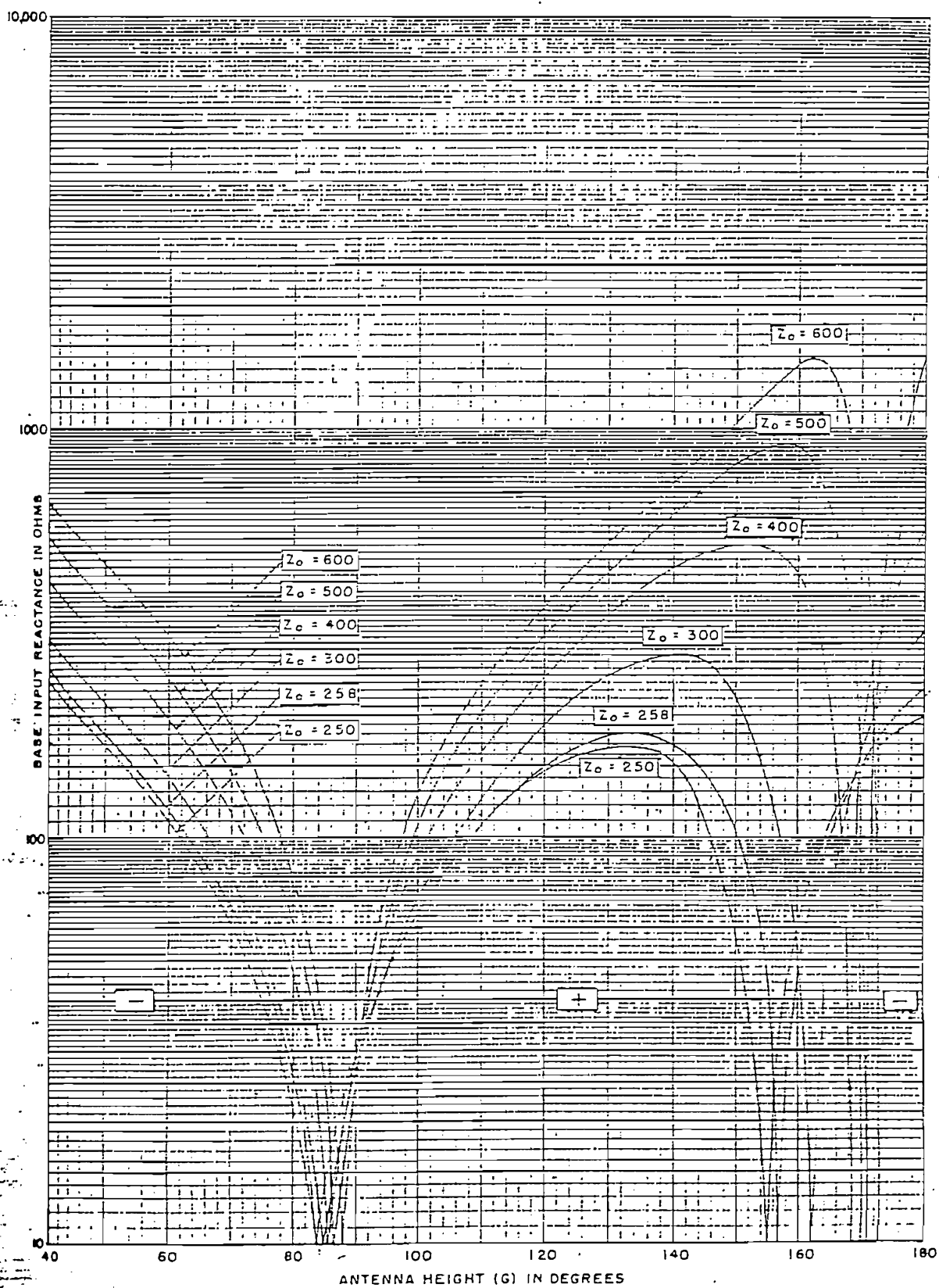
Ci = función coseno integral

Los resultados de mayor aproximación con valores medidos en infinidad de antenas se presentan en las figuras 3.16 y 3.17, los mismos que están calculados para antenas monopolo y provienen de las expresiones para calcular la impedancia de una antena en parte real (R_b), y en parte imaginaria (X_b). Para el caso de antenas dipolo simplemente se duplican estos valores.



BASE INPUT RESISTANCE OF CYLINDRICAL ANTENNAS
OVER A PERFECTLY CONDUCTING GROUND PLANE

FIG. 3.16



BASE INPUT REACTANCE OF CYLINDRICAL ANTENNAS
OVER A PERFECTLY CONDUCTING GROUND PLANE

FIG. 3.17

En la figura 3.16, los signos indican regiones de comportamiento capacitivo (-) o inductivo (+) de la antena. El punto de tope de las curvas con el eje de las abscisas nos da la altura de la antena en grados (βH), mientras que el punto de tope de las curvas con el eje de las ordenadas nos da la reactancia de base o de excitación.

En la figura 3.17, el eje horizontal representa la altura de la antena en grados (βH), mientras que el eje vertical representa la resistencia de base o de excitación.

De acuerdo con las figuras 3.16 y 3.17, tenemos curvas cuya impedancia característica promedio Z_{oav} varía entre 250Ω y 600Ω .

Para efectos prácticos de las antenas que se construirán a escala la impedancia característica promedio Z_{oav} deberá ser menor que 250Ω . Por lo que fue necesario realizar un programa en **QUICK BASIC** a partir del desarrollo matemático de la impedancia de una antena en parte real (R_b), y en parte imaginaria (X_b). El objetivo es obtener gráficamente estas relaciones y en base a la impedancia característica promedio Z_{oav} obtener la altura de la antena en grados (βH) y la resistencia y reactancia de base respectivamente, para así determinar la altura de los dipolos que conformarán la antena. Todos los detalles del cálculo y la entrada de datos se explican mejor en el anexo No. 3.

Luego de analizar gráficamente los resultados obtenidos para diferentes valores de impedancia característica promedio Z_{oav} , y después de realizar algunos cálculos entre parejas de impedancias (Z_1 y Z_2) que cumplan con las condiciones requeridas como son: que la relación entre las impedancias Z_1/Z_2 sea aproximadamente 0.80 para garantizar que la circularidad no exceda los 2 dB, y que estén desfasadas 90° ; se ha decidido que los valores ideales con los que se trabajará para el diseño de los modelos a escala son: $Z_{oav} = 245 \Omega$ y $Z_{oav} = 250 \Omega$.

3.2.2 RELACION DE LAS CORRIENTES EN BASE DE LAS IMPEDANCIAS PARA OBTENER LA CONDICION DE DESFASAMIENTO DE 90°.

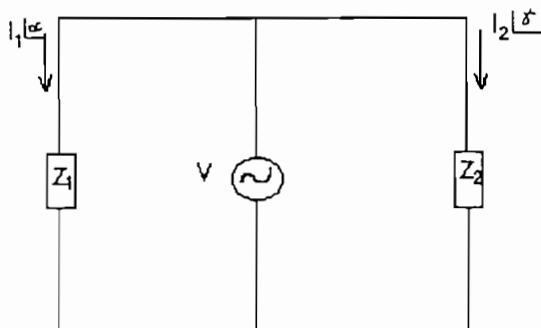


FIG. 3.18

A partir del circuito de la figura 3.18 se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} \quad I_2 = \frac{V}{Z_2}$$

$$|\alpha - \gamma| = 90^\circ$$

$$I_1 \approx 0.80 I_2$$

$$\frac{V}{Z_1} \approx 0.80 \frac{V}{Z_2}$$

Por lo tanto:

$$\frac{R_2 + jX_2}{R_1 - jX_1} \approx 0.80 \underline{\pm 90^\circ} \quad \text{ó} \quad \frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} \approx 0.80 \underline{\pm 90^\circ}$$

(3 - 35)

Lo importante es que se cumpla la relación de aproximadamente $0.80 \angle \pm 90^\circ$, sin importar qué impedancia está en numerador o denominador, ya que únicamente cambiará la posición del dipolo, sea vertical u horizontal.

De aquí en adelante, a la impedancia característica promedio Z_{oav} simplemente se le llamará impedancia característica Z_o .

A continuación se presentan los valores más representativos que cumplen con las condiciones antes mencionadas, previo a ello se intentó con varias parejas de impedancias, sin obtener los resultados deseados.

Para $Z_0 = 250 \Omega$:

$$Z_1 = R_1 - jX_1 = 22.76 - j43.61 \Omega \quad \beta_H = 74.80^\circ$$

Para $Z_0 = 245 \Omega$:

$$Z_2 = R_2 + jX_2 = 54.51 + j27.26 \Omega \quad \beta_H = 91.16^\circ$$

$$\frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} \approx 0.80 \angle \pm 90^\circ$$

$$\frac{22.76 - j43.61}{54.51 + j27.26} \approx 0.80 \angle -89^\circ \quad (3-36)$$

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos, Z_1 y Z_2 cumplen con las condiciones establecidas.

3.3 POLARIZACION.-

A partir de los resultados anteriores, veamos cómo se comportan los campos eléctricos horizontal y vertical; y, cómo afectan éstos en la polarización.

Llamemos a Z_1 la impedancia del monopolo horizontal, y a Z_2 la impedancia del monopolo vertical como se observa en la figura 3.19.

* Características del monopolo horizontal Z_H :

$Z_0 = 250 \Omega$:

$$Z_H = Z_1 = R_1 - jX_1 = 22.76 - j43.61 \Omega$$

$$\beta_H = 74.80^\circ$$

* Características del monopolo vertical Z_V :

$Z_0 = 245 \Omega$:

$$Z_V = Z_2 = R_2 + jX_2 = 54.51 + j27.26 \Omega$$

$$\beta_H = 91.16^\circ$$

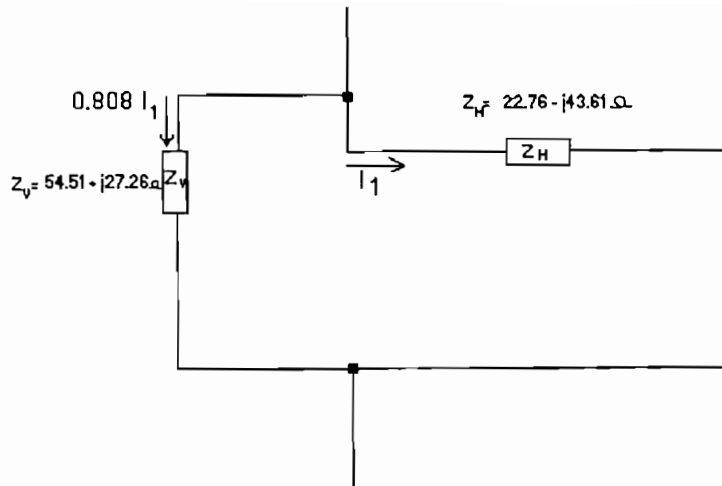


FIG. 3.19

Sea Z_L el paralelo entre Z_V y Z_H , de tal forma que:

$$Z_L = \frac{Z_V * Z_H}{Z_V + Z_H}$$

$$Z_L = 37.95 \angle -23.92^\circ \Omega$$

$$Z_L = 34.7 - j15.5 \Omega$$

Supongamos que $I_1 = 1$ A, entonces:

$$P_H = (I_1)^2 * (22.76) = 22.76 \text{ w}$$

$$P_V = (0.80I_1)^2 * (54.51) = 34.9 \text{ w}$$

$$E_H = k (22.76)^{1/2} = 4.77 \text{ k}$$

$$E_V = k (34.9)^{1/2} = 5.9 \text{ k}$$

$$\frac{E_H}{E_V} = 0.808 \quad (3 - 37)$$

Por lo tanto en este caso también se cumple que los campos eléctricos vertical y horizontal están en una relación de 0.808 lo que no afectará en nada a la polarización, garantizando de esta forma que la circularidad no exceda los 2 dB.

3.4 SELECCION DEL MODELO DE MEJORES CARACTERISTICAS.-

Ahora bien, la idea es acoplar la impedancia de carga Z_L al equipo de medición. Previamente se realizaron varios análisis de algunos modelos de acoplamiento, los mismos que no resultaron ser prácticos ya que se obtenían impedancias características demasiado pequeñas en los diferentes tramos de la línea.

El modelo que proporcionó mejores características es el correspondiente a la figura 3.20.

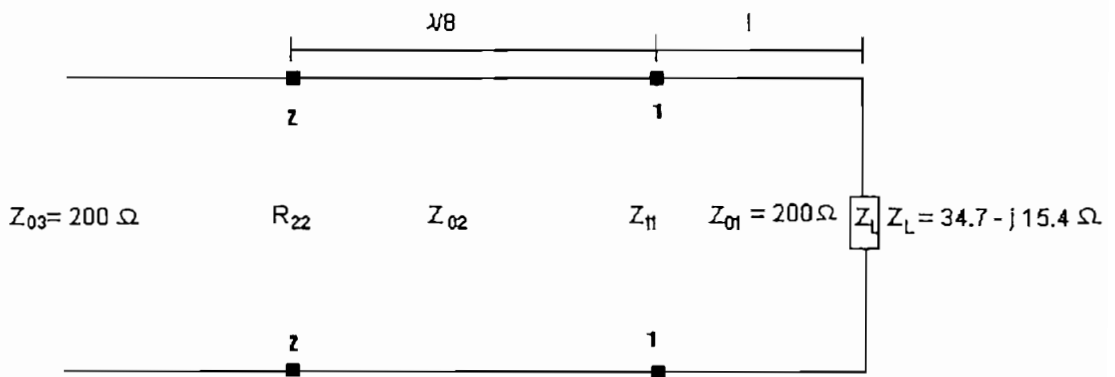


FIG. 3.20

Donde l es una línea menor a $\lambda/4$, la misma que luego es acoplada a una línea de $\lambda/8$. La ventaja de este método de acoplamiento, es que la línea de $\lambda/8$ trabaja de tal manera que a la salida se obtiene únicamente parte real como se observará en el siguiente análisis de acuerdo con la figura 3.21.

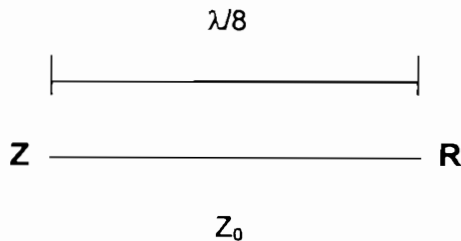


FIG. 3.21

$$\begin{aligned}
R &= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0}{Z_0 + jZ_L} \\
R &= Z_0 \frac{(R_L + jX_L) + jZ_0}{Z_0 + j(R_L + jX_L)} \\
R &= \frac{Z_0 R_L + j(Z_0 X_L + Z_0^2)}{(Z_0 - X_L) + jR_L} \\
R &= \frac{[Z_0 R_L + j(Z_0 X_L + Z_0^2)][(Z_0 - X_L) - jR_L]}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2} \\
R &= \frac{Z_0 R_L (Z_0 - X_L) - jZ_0 R_L^2 + j(Z_0 X_L + Z_0^2)(Z_0 - X_L)}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2} \\
&\quad + \frac{R_L (Z_0 X_L + Z_0^2)}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2}
\end{aligned}$$

Para que la línea de $\lambda/8$ trabaje como tal, la parte imaginaria debe ser nula, por lo tanto:

$$\begin{aligned}
(Z_0 X_L + Z_0^2)(Z_0 - X_L) - Z_0 R_L^2 &= 0 \\
Z_0^2 X_L - Z_0 X_L^2 + Z_0^3 - Z_0^2 X_L - Z_0 R_L^2 &= 0 \\
Z_0 X_L - X_L^2 + Z_0^2 - Z_0 X_L - R_L^2 &= 0 \\
Z_0^2 - R_L^2 - X_L^2 &= 0 \\
Z_0^2 &= R_L^2 + X_L^2
\end{aligned}$$

entonces la impedancia característica será igual a:

$$Z_0 = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (3-38)$$

Ahora trabajando en la parte real tendremos:

$$\begin{aligned}
R &= \frac{Z_0 R_L (Z_0 - X_L) + R_L (Z_0 X_L + Z_0^2)}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2} \\
R &= \frac{Z_0^2 R_L - Z_0 R_L X_L + Z_0 R_L X_L + Z_0^2 R_L}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2}
\end{aligned}$$

$$R = \frac{2 Z_0^2 R_L}{(Z_0 - X_L)^2 + R_L^2} \quad (3 - 39)$$

Regresando a la figura 3.20, Z_L es la impedancia de carga e igual a:

$$Z_L = 34.7 - j15.4 \Omega$$

Z_{03} es la impedancia característica del último tramo de la línea e igual a 200Ω . Z_{01} es la impedancia característica de la línea de longitud l menor a $\lambda/4$. El valor de Z_{01} se varió entre 180Ω y 220Ω , los resultados para el modelo de mejores características se obtuvo con $Z_{01} = 200 \Omega$.

El análisis se presenta a continuación, cuyos valores son encontrados en la carta de Smith de la figura 3.22

$$Z_{01} = 200 \Omega$$

$$z_L = \frac{Z_L}{Z_{01}}$$

$$z_L = 0.1735 - j0.0077$$

donde z_L es la impedancia de carga normalizada, la misma que después de localizada en la carta de Smith, trazamos una semicircunferencia de radio constante en la parte superior de la carta, puesto que nos interesa que la longitud de la línea en este tramo sea menor que $\lambda/4$. Sobre esta semicircunferencia tenemos varias posibilidades de encontrar valores para Z_{11} , Z_{02} y R_{22} , pero los valores que más se ajustan a las condiciones preestablecidas son:

$$z_{11} = 0.182 + j0.28 \quad l = 0.0561\lambda$$

$$Z_{11} = z_{11} Z_{01}$$

$$Z_{11} = 36.4 + j56 \Omega$$

donde z_{11} es la impedancia normalizada entre los puntos 1-1, Z_{11} es la impedancia entre los puntos 1-1 y l es la longitud de la línea en este tramo como función de λ , menor a $\lambda/4$.

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

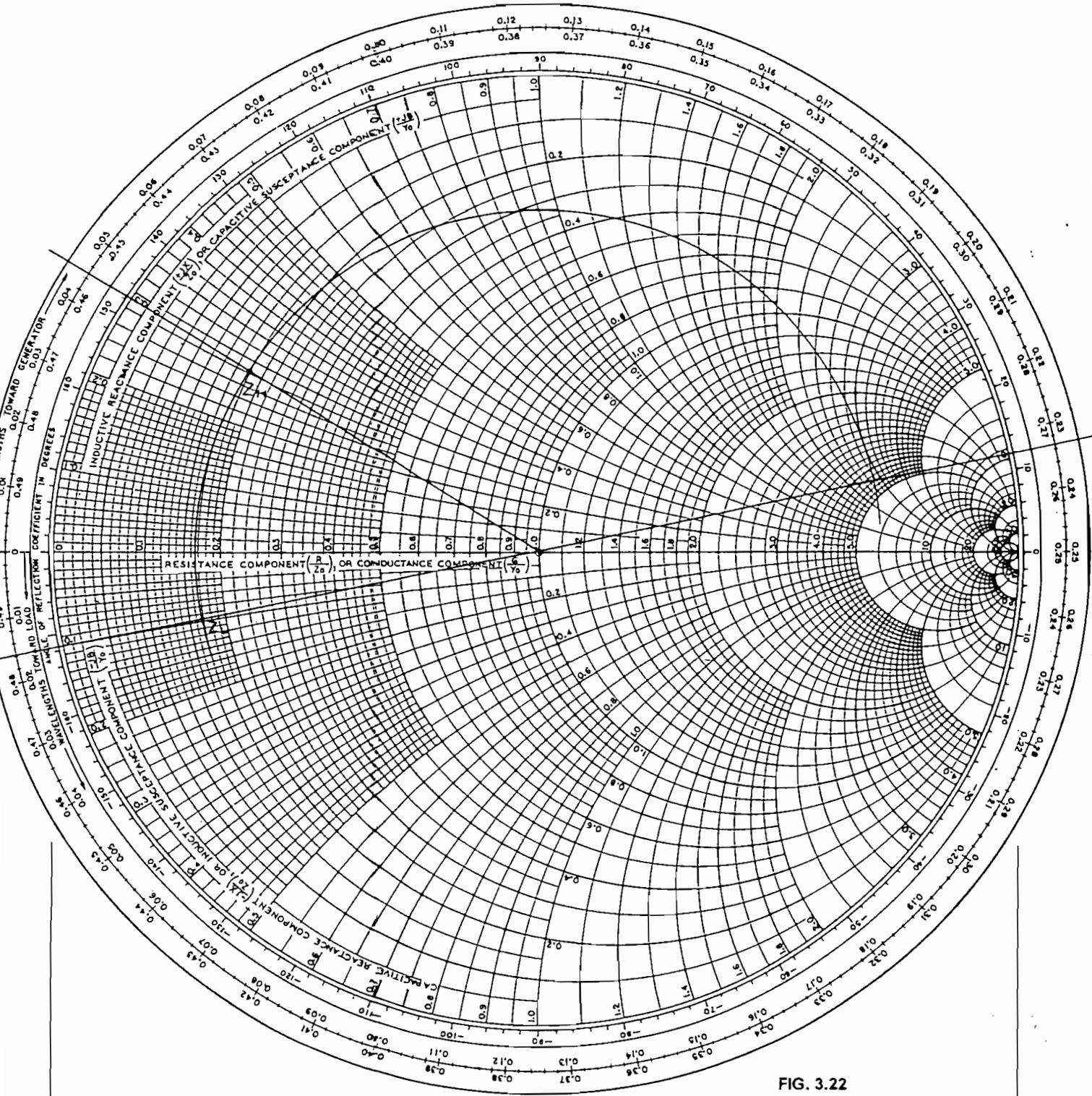
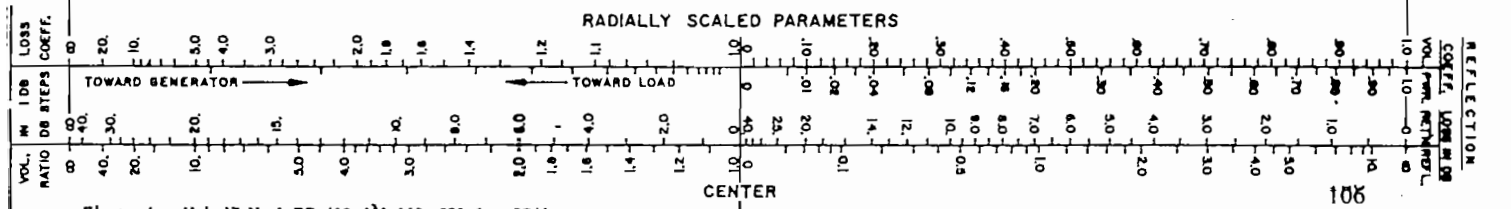


FIG. 3.22



Z_{02} es la impedancia característica de la línea de $\lambda/8$, la misma que está dada por la expresión (3 – 38):

$$\begin{aligned}Z_{02} &= \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \\Z_{02} &= \sqrt{36.4^2 + 56^2} \\Z_{02} &= 66.8 \Omega\end{aligned}$$

R_{22} es la resistencia de salida de la línea de $\lambda/8$, la misma que calculamos de la expresión (3 – 39):

$$\begin{aligned}R_{22} &= \frac{2 Z_{02}^2 R_L}{(Z_{02} - X_L)^2 + R_L^2} \\R_{22} &= \frac{2(66.8)^2 (36.4)}{(66.8 - 56)^2 + 36.4^2} \\R_{22} &= 225.34 \Omega\end{aligned}$$

De esta forma R_{22} es aproximadamente igual a Z_{03} .

CAPITULO IV

CAPITULO IV

4.- ARREGLOS PARA RADIO DIFUSION FM Y TV.

En este capítulo se presentará el diseño de varios modelos de antenas y arreglos de antenas a escala para transmisión con polarización circular. Se analizará los resultados obtenidos a partir de los modelos de mejores características.

4.1 TIPOS DE ARREGLOS RECOMENDADOS.-

4.1.1 DISEÑO DE UN MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA CON CUATRO DIPOLOS PARA TRANSMISION CON POLARIZACION CIRCULAR.-

Para el presente diseño, partiremos de la figura 4.1.

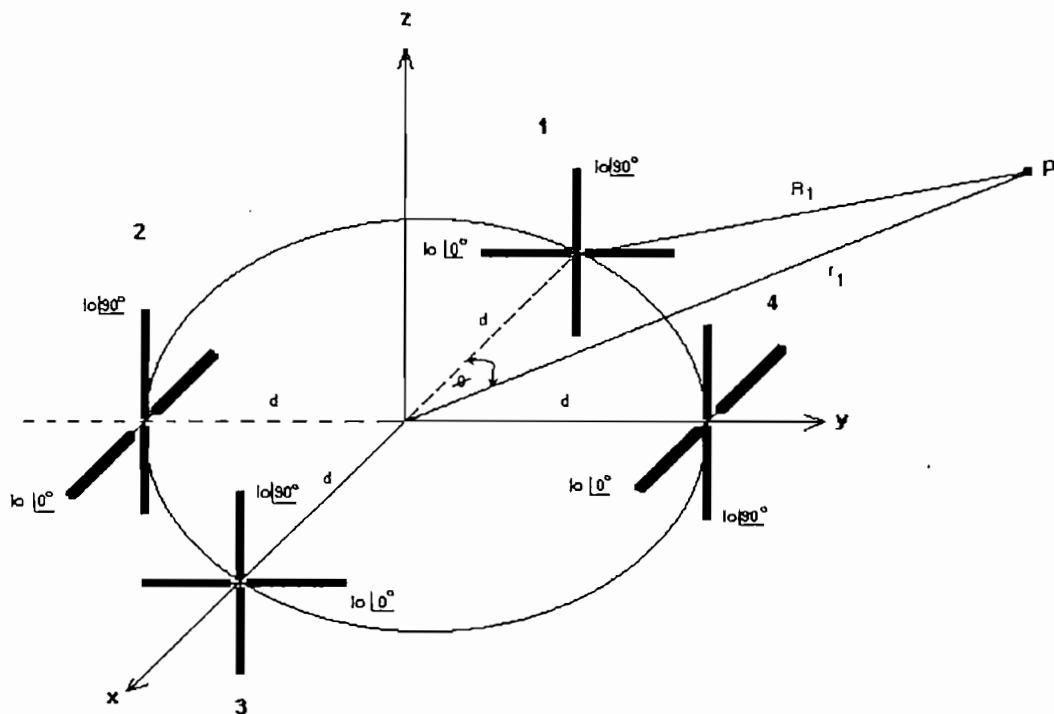


FIG. 4.1

Supongamos un punto P lo suficientemente lejano, de tal forma que para grandes valores de r las líneas al punto P son esencialmente paralelas, de tal forma que en general se tiene:

$$R_n = r_n - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (4-1)$$

Como los elementos isotrópicos están en el plano xy, como se observa en la figura 4.2:

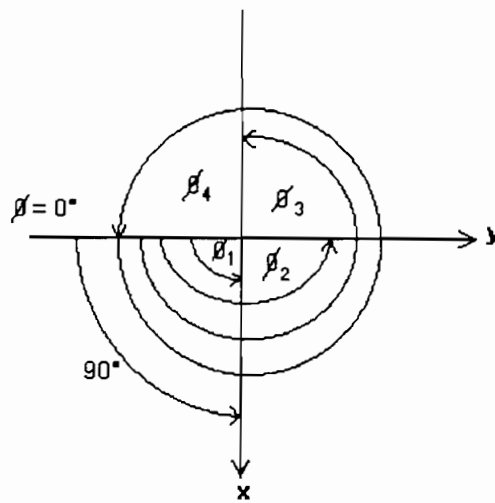


FIG. 4.2

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 0^\circ \\ \phi_2 &= 90^\circ \\ \phi_3 &= 180^\circ \\ \phi_4 &= 270^\circ \end{aligned}$$

El desfase que existe entre todos los elementos es:

α_1 = el desfase del elemento 1 con respecto a sí mismo

α_2 = el desfase entre los elementos 1 y 2

α_3 = el desfase entre los elementos 1 y 3

α_4 = el desfase entre los elementos 1 y 4

Entonces:

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_2 = 0$$

$$\alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 = 0$$

La distancia d entre el centro del arreglo y cada uno de los elementos es:

$$d = d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = 0.2 \lambda$$

La constante K , que es la relación entre el campo eléctrico vertical y el campo eléctrico horizontal es:

$$K = K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 0.80$$

DESARROLLO PARA UN SOLO ELEMENTO:

1. Frecuencia.-

La frecuencia de trabajo se ha escogido en 563 MHz, que corresponde a la frecuencia central del canal 29 en UHF. El canal 29 tiene un rango de frecuencia entre 560 y 566 MHz y una potencia de salida de 5 Kw. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{300}{f(\text{MHz})} \quad (\text{m}) & \beta &= \frac{2\pi}{\lambda} \\ \lambda &= \frac{300}{563} & & \\ \lambda &= 0.533 \quad \text{m} & & \end{aligned} \quad (4-2)$$

2. Relación de corrientes en base a impedancias para obtener la condición de desfaseamiento de 90°.-

Refiriéndonos a la figura 4.3, tenemos las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{V}{Z_1} & I_2 &= \frac{V}{Z_2} \\
 |\alpha - \gamma| &= 90^\circ \\
 I_1 &\approx 0.80 I_2 \\
 \frac{V}{Z_1} &\approx 0.80 \frac{V}{Z_2}
 \end{aligned}$$

(4-3)

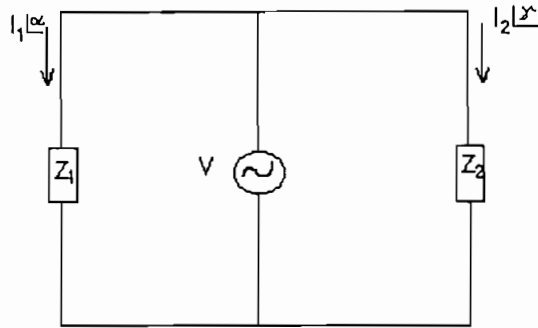


FIG.4.3

Por lo tanto:

$$\frac{Z_2}{Z_1} \approx 0.80 \quad \text{o} \quad \frac{Z_1}{Z_2} \approx 0.80 \quad (4-4)$$

Pero para el presente diseño se ha usado la relación:

$$\frac{Z_1}{Z_2} \approx 0.80$$

es decir:

$$\frac{R_1 - jX_1}{R_2 - jX_2} \approx 0.80 \quad | \pm 90^\circ \quad (4-5)$$

Entonces para los monopolos horizontal y vertical tenemos:

- Características del monopolo horizontal Z_H :

$$Z_0 = 250 \, \Omega:$$

$$Z_H = Z_1 = R_1 - jX_1 = 22.76 - j43.61 \, \Omega$$

$$\beta_H = 74.80^\circ$$

- Características del monopolo vertical Z_V

$$Z_0 = 245 \Omega:$$

$$Z_V = Z_2 = R_2 + jX_2 = 54.51 + j27.26 \Omega$$

$$\beta_H = 91.16^\circ$$

$$\frac{Z_H}{Z_V} = \frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} = \frac{22.76 - j43.61}{54.51 + j26.27} \approx 0.80 \angle -89^\circ \quad (4-6)$$

De esta manera se cumple en forma muy aproximada las relaciones entre el monopolo vertical y el horizontal, tanto en magnitud como en fase.

3. Relación de los campos eléctricos vertical y horizontal.-

En la figura 4.4 supongamos que:

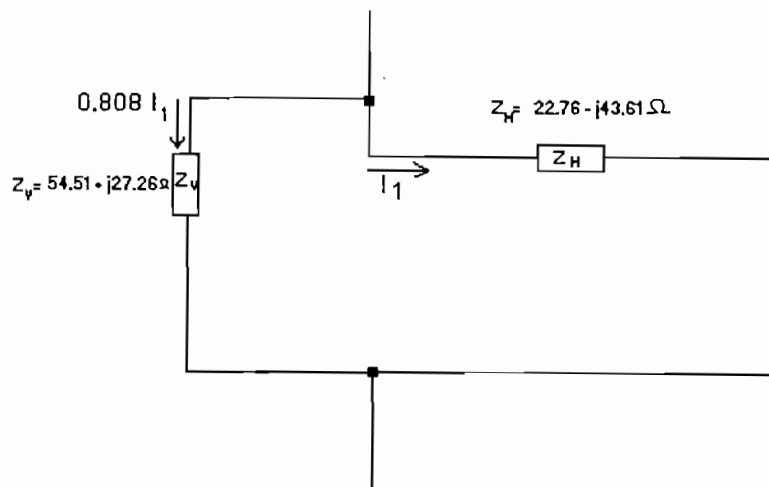


FIG. 4.4

$I_1 = 1 \text{ A}$, entonces:

$$P_H = (I_1)^2 \cdot (22.76) = 22.76 \text{ w}$$

$$P_V = (0.80 I_1)^2 \cdot (54.51) = 34.9 \text{ w}$$

$$E_H = k (22.76)^{1/2} = 4.77 \text{ k}$$

$$E_V = k (34.9)^{1/2} = 5.9 \text{ k}$$

Donde k es simplemente una constante. Entonces para garantizar la circularidad de 2 dB se tiene que:

$$\frac{E_H}{E_V} = 0.808$$

Sea Z_L el paralelo entre Z_V y Z_H , de tal forma que:

$$Z_L = \frac{Z_V * Z_H}{Z_V + Z_H}$$

$$Z_L = 37.95 \angle -23.92^\circ \Omega$$

$$Z_L = 34.7 - j15.5 \Omega \quad (4-7)$$

4. Cálculo de la longitud de línea que se necesita para acoplar la carga Z_L con una línea de $\lambda/8$.

Este cálculo se explicó detalladamente en la sección 3.4 del capítulo 3, sin embargo aquí lo mencionaremos brevemente.

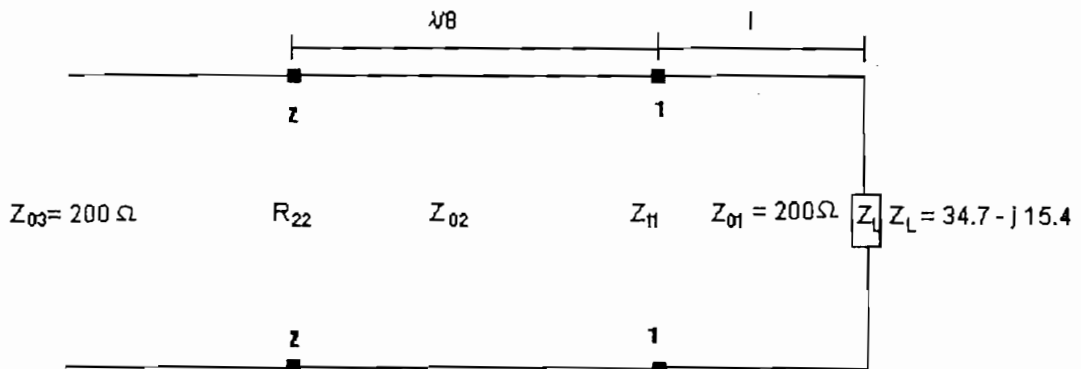


FIG. 4.5

Referiéndonos a la figura 4.5, tenemos que acoplar la impedancia de carga Z_L al equipo de medición. l es una línea menor a $\lambda/4$, la misma que luego es acoplada a una línea de $\lambda/8$. La ventaja de este método de acoplamiento, es que la línea de $\lambda/8$ trabaja de tal manera que a la salida se obtiene únicamente parte real.

Z_L es la impedancia de carga e igual a:

$$Z_L = 34.7 - j15.4 \Omega$$

Z_{03} es la impedancia característica del último tramo de la línea e igual a 200Ω . Z_{01} es la impedancia característica de la línea de longitud l menor a $\lambda/4$, e igual a 200Ω .

Partiendo de estos valores, se obtuvieron los siguientes resultados en la carta de Smith de la figura 3.22 (capítulo 3):

$$\begin{aligned} Z_{01} &= 200 \Omega \\ z_L &= \frac{Z_L}{Z_{01}} \\ z_L &= 0.1735 - j0.0077 \end{aligned} \quad (4-8)$$

donde z_L es la impedancia de carga normalizada, la misma que después de localizada en la carta de Smith, trazamos una semicircunferencia de radio constante en la parte superior de la carta, puesto que nos interesa que la longitud de la línea en este tramo sea menor que $\lambda/4$. Pero ahora tenemos dos posibilidades, la primera es considerar una línea para cada elemento; y, la segunda considerando una línea en paralelo con los cuatro elementos de la figura 4.1, pero en ambos casos la idea es tener 200Ω a la salida (Z_{03}).

a) Considerando una línea para cada elemento:

En la carta de Smith de la figura 3.22 (capítulo 3), los valores que más se ajustan a las condiciones preestablecidas para Z_{11} , Z_{02} y R_{22} son:

$$\begin{aligned} z_{11} &= 0.182 + j0.28 & l &= 0.0561\lambda \\ Z_{11} &= z_{11} Z_{01} \\ Z_{11} &= 36.4 + j56 \Omega \end{aligned} \quad (4-9)$$

donde z_{11} es la impedancia normalizada entre los puntos 1-1, Z_{11} es la impedancia entre los puntos 1-1 y l es la longitud de la línea en este tramo como función de λ , menor a $\lambda/4$.

Z_{02} es la impedancia característica de la línea de $\lambda/8$, la misma que está dada por la expresión (3 – 38):

$$\begin{aligned} Z_{02} &= \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \\ Z_{02} &= \sqrt{36.4^2 + 56^2} \\ Z_{02} &= 66.8 \Omega \end{aligned} \quad (4-10)$$

R_{22} es la resistencia de salida de la línea de $\lambda/8$, la misma que calculamos de la expresión (3 – 39):

$$\begin{aligned} R_{22} &= \frac{2 Z_{02}^2 R_L}{(Z_{02} - X_L)^2 + R_L^2} \\ R_{22} &= \frac{2(66.8)^2(36.4)}{(66.8 - 56)^2 + 36.4^2} \\ R_{22} &= 225.34 \Omega \end{aligned} \quad (4-11)$$

De esta forma R_{22} es aproximadamente igual a Z_{03} .

b) Considerando una línea en paralelo con los cuatro elementos:

En la carta de Smith de la figura 4.6, los valores que más se ajustan a las condiciones preestablecidas para Z_{11} , Z_{02} y R_{22} son:

$$\begin{aligned} z_{11} &= 0.25 + j0.68 & l &= 0.11\lambda \\ Z_{11} &= z_{11}Z_{01} & & (4-12) \\ Z_{11} &= 50 + j136 \Omega & & \end{aligned}$$

donde z_{11} es la impedancia normalizada entre los puntos 1-1, Z_{11} es la impedancia entre los puntos 1-1 y l es la longitud de la línea en este tramo como función de λ , menor a $\lambda/4$.

Z_{02} es la impedancia característica de la línea de $\lambda/8$, la misma que está dada por la expresión (3 – 38):

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

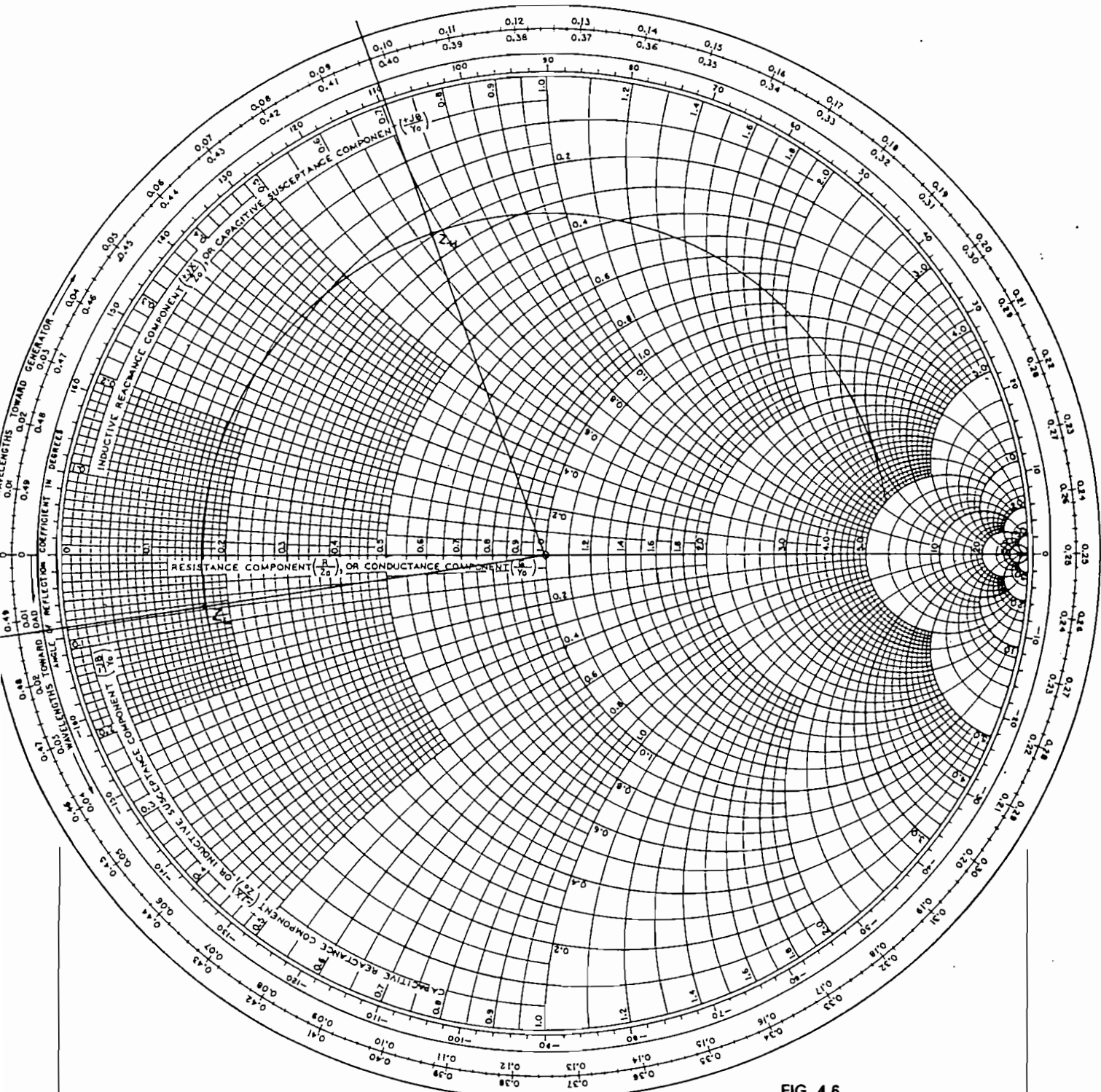
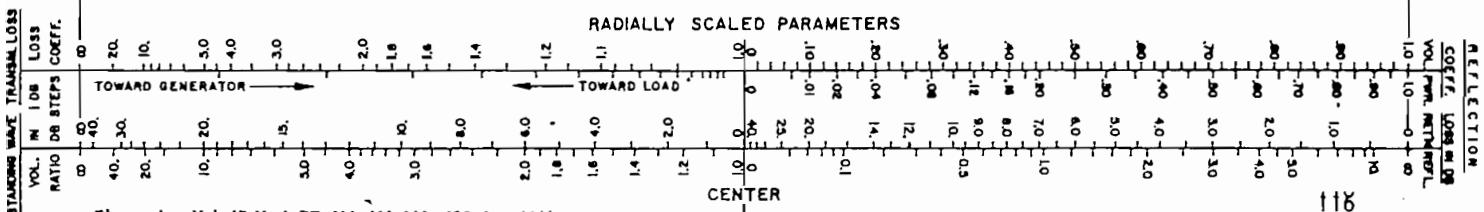


FIG. 4.6



$$\begin{aligned}
 Z_{02} &= \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \\
 Z_{02} &= \sqrt{50^2 + 136^2} \\
 Z_{02} &= 145 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4-13}$$

R_{22} es la resistencia de salida de la línea de $\lambda/8$, la misma que calculamos de la expresión (3-39):

$$\begin{aligned}
 R_{22} &= \frac{2Z_{02}^2 R_L}{(Z_{02} - X_L)^2 + R_L^2} \\
 R_{22} &= \frac{2(145)^2 (50)}{(145 - 136)^2 + 50^2} \\
 R_{22} &= 814.6 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4-14}$$

De esta forma R_{22} es aproximadamente igual a Z_{03} considerando que los 4 elementos de la figura 4.1 están en paralelo.

De estas dos posibilidades analizadas, para el diseño escogeremos la segunda, es decir considerando que los 4 elementos de la figura 4.1 están en paralelo.

5. Cálculo de la altura de los monopolos.-

Para cable sólido No. 10, el diámetro del cable en pulgadas y en centímetros es:

$$d = 0.1019 \text{ pulg}^{11}$$

$$d = 0.258826 \text{ cm}$$

Siendo a el radio del cable, entonces:

$$a = d / 2$$

$$a = 0.129413 \text{ cm}$$

¹¹ SINGER, Bertrand B.
Fundamentos de Matemáticas para Electricidad y Electrónica
 Mc.Graw Hill Company
 Segunda Edición, 1966, Pag. 328

a) Para el monopolo vertical:

$$Z_{0AV} = 245 \ \Omega$$

$$Z_{0AV} = 60 \left[\ln \left(\frac{2H}{a} \right) - 1 \right]$$

$$\ln \left(\frac{2H}{a} \right) = \frac{245}{60} + 1$$

$$\frac{2H}{a} = 161.31086 \quad (4 - 15)$$

$$H = 10.44 \text{ cm}$$

$$\beta H = 91.16^\circ = 1.591042 \text{ rad}$$

$$H = 13.496 \text{ cm}$$

b) Para el monopolo horizontal:

$$Z_{0AV} = 250 \ \Omega$$

$$Z_{0AV} = 60 \left[\ln \left(\frac{2H}{a} \right) - 1 \right]$$

$$\ln \left(\frac{2H}{a} \right) = \frac{250}{60} + 1$$

$$\frac{2H}{a} = 175.3243 \quad (4 - 16)$$

$$H = 11.35 \text{ cm}$$

$$\beta H = 74.80^\circ = 1.3055062 \text{ rad}$$

$$H = 11.075 \text{ cm}$$

La verdadera altura que debemos tomar en cuenta para la realización misma del diseño es la calculada a partir de βH . Para el caso horizontal, la altura H calculada a partir de Z_{0AV} y de βH son prácticamente las mismas, por lo tanto para los monopolos horizontales se utilizará conductor sólido No. 10.

Para el caso vertical, como las alturas H difieren tanto al ser calculadas a partir de Z_{0AV} como de βH , entonces como ya se mencionó anteriormente, la verdadera altura H es la que se calcula a partir de βH . Así con este valor de H calcularemos en Z_{0AV} el valor de a (radio del monopolo), para saber el conductor que será utilizado en los monopolos

verticales.

Para el monopolo vertical:

$$H = 13.496 \text{ cm}$$

$$Z_{0AV} = 245 \ \Omega$$

$$Z_{0AV} = 60 \left[\ln \left(\frac{2H}{a} \right) - 1 \right]$$

$$\ln \left(\frac{2H}{a} \right) = \frac{245}{60} + 1$$

$$\frac{2(13.496)}{a} = 161.31086$$

$$a = 0.167329 \text{ cm}$$

$$a = 0.065877594 \text{ pulg}$$

$$d = 2a$$

$$d = 2(0.065877594 \text{ pulg})$$

$$d = 0.1317551889 \text{ pulg}$$

(4-17)

Por lo tanto el diámetro de 0.1318 pulg corresponde a cable sólido No. 8.

6. Relación de distancia entre los conductores y diámetro de los mismos.-

Para calcular la relación que existe entre la distancia de separación entre los conductores y el diámetro de los mismos, partimos de la expresión (4-18), de acuerdo con la figura 4.7:

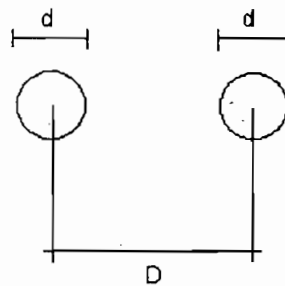


FIG. 4.7

$$Z_0 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (4-18)$$

La longitud de línea l, de acuerdo con la figura 4.5; que se necesita para acoplar la carga Z_L con la línea de $\lambda/8$ es $l = 0.11 \lambda$ (menor a $\lambda/4$), y la impedancia característica de este tramo es $Z_{o1} = 200 \Omega$, entonces:

$$Z_o = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$200 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$\frac{D}{d} = \cosh \left(\frac{200}{120} \right) \quad (4 - 19)$$

$$\frac{D}{d} = 2.742$$

Ahora, la línea de $\lambda/8$, corresponde a la misma línea de los monopolos verticales, cuya impedancia característica es $Z_{oH} = 245 \Omega$, por lo tanto:

$$Z_{oH} = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$245 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$\frac{D}{d} = \cosh \left(\frac{245}{120} \right) \quad (4 - 20)$$

$$\frac{D}{d} = 3.917$$

Por lo tanto, toda esta parte del acoplamiento se realizará con cable sólido No.8, respetando la relación D/d en cada uno de los tramos.

Para que la relación D/d se mantenga, se separará con una placa aislante, que será bakelita.

Los monopolos horizontales irán soldados a las L's que formarán los monopolos verticales y las líneas de acoplamiento para finalmente tener una impedancia característica Z_{o3} de 200Ω en cada uno de los elementos, como se muestra en la figura 4.8.

Las longitudes de los tramos de las líneas de acoplamiento en cm son las siguientes:

$$0.11 \lambda = (0.11)(0.533 \text{ m})$$

$$= 0.05863 \text{ m}$$

$$= 5.863 \text{ cm}$$

$$\lambda/8 = (0.125)(0.533 \text{ m})$$

$$= 0.066625 \text{ m}$$

$$= 6.66625 \text{ cm}$$

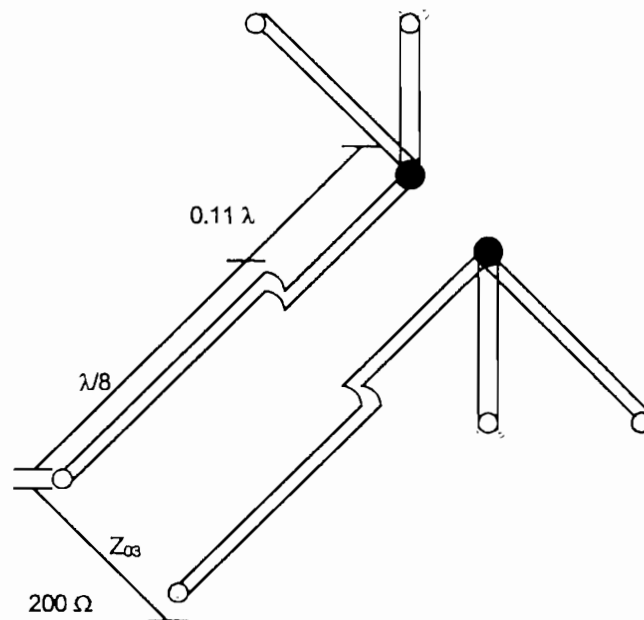


FIG. 4.8

A la antena se la montó en un soporte de madera en forma de cruz, para que sostenga a cada uno de los dipolos y poder realizar las medidas correspondientes sin contratiempos.

4.1.2 DISEÑO DE UN MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA HELICOIDAL PARA TRANSMISION CON POLARIZACION CIRCULAR.-

La configuración de radiación que proporciona una antena helicoidal es circularmente polarizada. Este tipo de antena está compuesta por dos lazos bifilares helicoidales, orientados en una relación ortogonal sobre un eje común y envueltas en un volumen común. Los terminales de cada lazo son alimentados de tal manera de conseguir 180° de desfaseamiento entre ellos; mientras que las corrientes en los dos lazos están en cuadratura de fase (desfasadas 90°).

1. Características físicas.-

Primeramente veamos qué es un lazo bifilar. Partamos de la figura 4.9, la misma que representa un lazo cuadrado de cable cuyo perímetro es una longitud de onda (λ), cada lado de este cuadrado tiene una longitud de $\lambda/4$, en donde los terminales de alimentación están abiertos en la mitad del lado inferior.

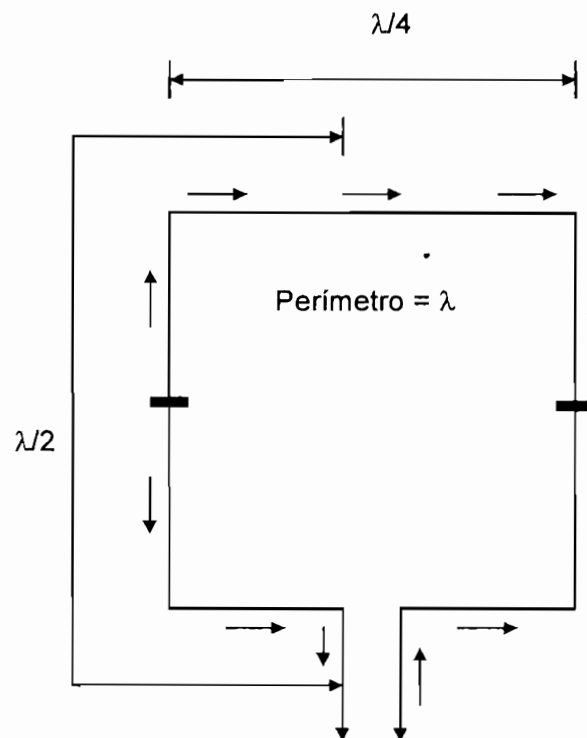


FIG. 4.9 Radiador de lazo cuadrado horizontalmente polarizado. Las flechas pequeñas representan la dirección del flujo de corriente.

En la figura 4.9 se muestra la distancia $\lambda/2$, la misma que forma un lazo de entrada balanceado y requiere una línea de alimentación de dos hilos balanceada con corrientes de entrada - salida.

Para visualizar mejor el desarrollo de la antena helicoidal, imaginemos insertar un cilindro imaginario de diámetro $D = \lambda/4$ dentro del lazo. Entonces, manteniendo fija la parte inferior del lazo, giremos la parte superior una media vuelta con respecto a la inferior, como se indica en la figura 4.10.

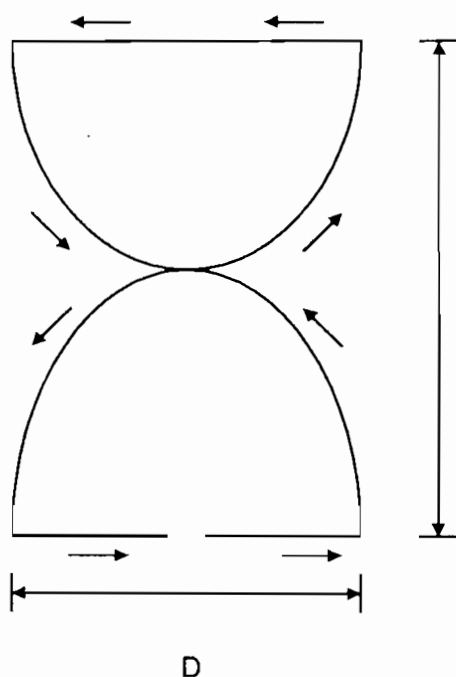


FIG. 4.10 Lazo bifilar helicoidal de media vuelta

Cada uno de los dos lados verticales del lazo cuadrado, ahora forma una hélice de media vuelta curvando alrededor de la superficie del cilindro imaginario. Sin embargo debido a las trayectorias curvas de cada uno de los lados verticales, la distancia entre la parte superior e inferior del lazo es menor que $\lambda/4$.

Con estas proporciones particulares de giro, algunas de las características de radiación no son particularmente atractivas. Sin embargo, algunos parámetros físicos

del lazo se podrán seleccionar para obtener características que hagan de este modelo especialmente atractivo. Tales parámetros incluyen la longitud eléctrica de los conductores, el número de vueltas, el diámetro D del cilindro, la longitud l . Además, para una longitud dada de conductor, la relación longitud/ diámetro del cilindro, es también una variable importante, controlada por el diámetro y el número de vueltas.

2. Características eléctricas.-

El lazo cuadrado de perímetro $P = 1\lambda$ (figura 4.9), es básicamente un arreglo de dos dipolos, en el cual el elemento superior es alimentado desde el elemento inferior. En este lazo, las corrientes de los lados superior e inferior, fluyen en la misma dirección. Los campos horizontalmente polarizados producidos por las corrientes tanto en los lados superior como inferior entonces están en fase. Los dos campos se suman para formar una configuración de radiación broadside (convencional figura en forma de ocho). Los lóbulos bidireccionales en la configuración forman ángulos rectos con respecto al plano del lazo. El cero en la configuración aparece bidireccionalmente sobre una línea horizontal que está en el plano del lazo en el centro de los lados verticales, entre los lados superior e inferior.

En los lados verticales del lazo, la corriente en la mitad superior de cada lado fluye en dirección opuesta a la correspondiente mitad inferior. Consecuentemente, los campos verticalmente polarizados producidos por ambas mitades de cada lado vertical están mutuamente fuera de fase, y suman cero en todas las direcciones. Esta cancelación de los campos verticales produce una radiación verticalmente polarizada nula.

Por otro lado, en el lazo bifilar teniéndolo girado media vuelta, las corrientes en los lados superior e inferior fluyen en direcciones opuestas debido a la rotación física de media vuelta del lado superior. Esta relación de corrientes se puede observar en la figura 4.10. Así, las corrientes producidas en los lados superior e inferior están ahora fuera de fase, formando una configuración de radiación end-fire.

En la dirección más ancha al plano formado por los lados inferior y superior, los campos ahora se cancelan completamente. Como en un arreglo ordinario end-fire, nos da como resultado radiación cero en la dirección más ancha, donde la máxima radiación aparece con el lazo cuadrado. Los lóbulos convencionales de la radiación end-fire provenientes de la contribución de los lados superior e inferior ahora ocurren hacia la parte superior e inferior de la antena como se muestra en la figura 4.10. Esta radiación es horizontalmente polarizada.

Las corrientes que fluyen en las partes helicoidales del lazo mantienen la misma configuración de flujo de corriente como en la figura 4.9. Sin embargo, las posiciones físicas de cada segmento de corriente en los lados verticales girados, ahora han sido cambiados a una nueva posición y a una nueva orientación en las trayectorias helicoidales. Esto da como resultado una posición correspondiente diferente y un vector de dirección para cada campo elemental producido por los elementos helicoidales de corriente. Como se esperaba, la adición de todos estos campos elementales resulta ser un campo compuesto consistente tanto de campos horizontalmente polarizados como verticalmente polarizados; es decir, sus campos están en cuadratura de fase, requerimiento necesario para obtener radiación circularmente polarizada.

En la figura 4.11 se muestra la antena helicoidal formada por los dos lazos bifilares, girados media vuelta cada uno y con las características descritas anteriormente. Los dos lazos bifilares forman un arreglo cuadrifilar.

En la figura 4.12 se muestra un lazo bifilar girado media vuelta, cuyo sistema de alimentación incluye los medios para obtener la relación de corrientes de fase requeridas (90° de desfasamiento), sin requerir de componentes adicionales para obtener excitaciones separadas de fase diferencial. Esto se consigue alimentando a cada lazo bifilar a través de un balun infinito, que se explicará más adelante, en la sección 4.3 (Requerimientos de Balun's).

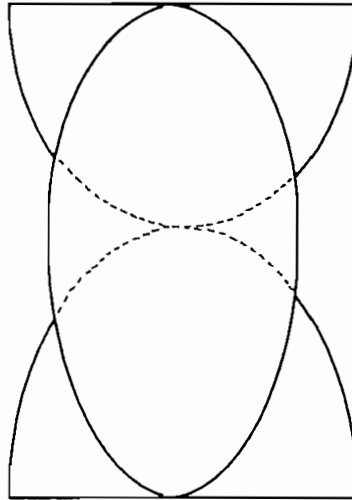


FIG 4.11

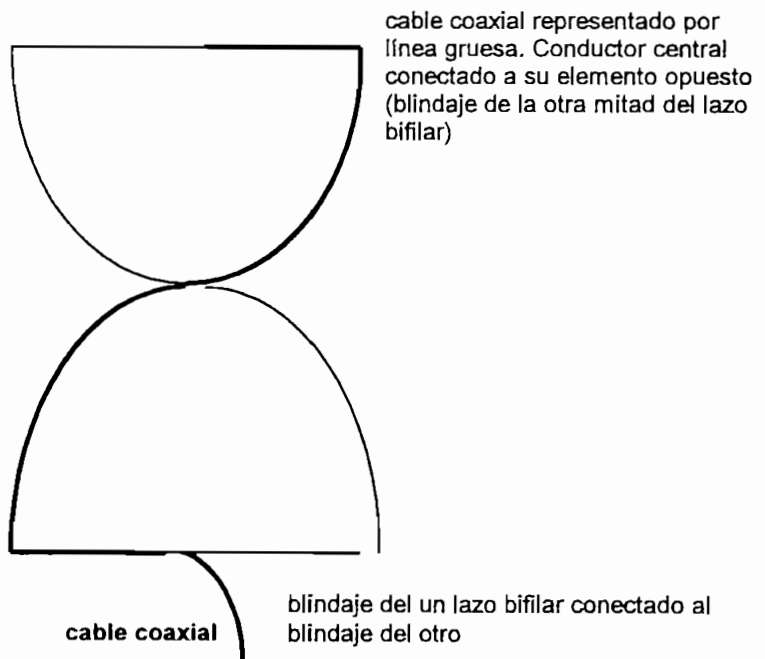


FIG 4.12 Lazo bifilar de media vuelta con alimentación de balun infinito

3. Condiciones de diseño.-

Los dos lazos bifilares del arreglo cuadrifilar requieren tener entre ellos una relación de corrientes en cuadratura de fase (90° de desfaseamiento). Los lazos

bifilares ortogonales son diseñados de tal manera que el un lazo es más largo relativo a la frecuencia de resonancia deseada y por lo tanto inductivo; mientras que el otro lazo es más pequeño y por ende capacitivo. Mediante este método, los dos lazos son alimentados en paralelo conectando los terminales de ambos lazos juntos en el punto de alimentación, como se muestra en la figura 4.13.

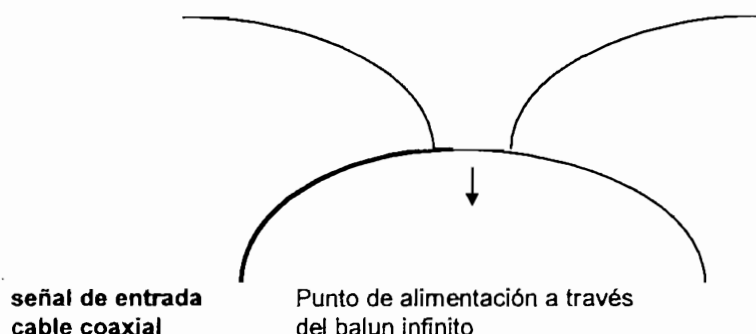


FIG. 4.13 Arreglo de alimentación para la fase mutua de 90° entre los lazos.

Este método requiere solo una línea de alimentación por medio de cable coaxial y un arreglo de balun. Es evidente que la mitad del un lazo es la línea de alimentación coaxial, mientras que las otras tres mitades de los lazos son simplemente cable sólido.

Al lazo más largo (inductivo) se lo diseña de tal manera que a la frecuencia de operación, la componente reactiva X_L de la impedancia terminal del lazo sea igual a su componente resistiva R . De manera similar, al lazo más pequeño (capacitivo) se lo diseña de forma que su componente reactiva X_C sea igual a la componente resistiva R a la frecuencia de operación. La relación $\pm X = R$ es muy importante, ya que para obtener la corriente relativa de fase de 90 ° entre los dos lazos, la corriente del lazo más grande debe estar en atraso 45° y la más pequeña debe adelantarse 45°.

Para que la corriente de fase del lazo más largo se atrase ó la del lazo más pequeño se adelante en 45°, sus ángulos de fase deben ser 45°, o tener un arctg de

± 1 . Esto ocurre solo cuando $\pm X = R$. Cuando los dos lazos son alimentados en paralelo, las corrientes relativas en los lazos difieren en fase 90° , sin la necesidad de requerir componentes adicionales para obtener excitaciones de fase diferenciales separadas.

Experimentalmente se ha determinado que las dimensiones que producen la correcta relación de fase entre los lazos bifilares son:¹²

Lazo Pequeño (capacitivo):

$$D = 0.156 \lambda$$

$$l = 0.238 \lambda$$

$$\text{Perímetro: } 1.016 \lambda$$

Lazo Largo (inductivo):

$$D = 0.173 \lambda$$

$$l = 0.260 \lambda$$

$$\text{Perímetro: } 1.120 \lambda$$

Donde D = diámetro del cilindro imaginario sobre el cual los lazos bifilares se envuelven.

l = longitud axial, como se muestra en la figura 4.10.

4. Frecuencia.-

La frecuencia de trabajo se ha escogido en 563 MHz; es decir la misma frecuencia que se utilizó para el diseño del modelo a escala para una antena con cuatro dipolos, que corresponde a la frecuencia central del canal 29 en UHF. El canal 29 tiene un rango de frecuencia entre 560 y 566 MHz y una potencia de salida de 5 Kw. Por lo tanto:

¹² The ARRL Antenna Book
Published by the American Radio Relay League, 15th Edition, Chapter 20

$$\lambda = \frac{300}{f(\text{MHz})} \quad (\text{m})$$

$$\lambda = \frac{300}{563} \quad (4 - 21)$$

$$\lambda = 0.533 \quad \text{m}$$

5. Diseño:

Para el diseño de la antena helicoidal, se ha utilizado cable coaxial de 50Ω , con las siguientes dimensiones, y de acuerdo con la figura 4.9:

Lazo Pequeño (capacitivo):

$$D = 0.156 \lambda = (0.156)(0.533 \text{ m}) = 8.31 \text{ cm}$$

$$l = 0.238 \lambda = (0.238)(0.533 \text{ m}) = 12.68 \text{ cm}$$

$$\text{Perímetro: } 1.016 \lambda = (1.016)(0.533 \text{ m}) = 54.15 \text{ cm}$$

Lazo Largo (inductivo):

$$D = 0.173 \lambda = (0.173)(0.533 \text{ m}) = 9.22 \text{ cm}$$

$$l = 0.260 \lambda = (0.260)(0.533 \text{ m}) = 13.86 \text{ cm}$$

$$\text{Perímetro: } 1.120 \lambda = (1.120)(0.533 \text{ m}) = 59.7 \text{ cm}$$

Como cilindro imaginario se ha utilizado un cilindro de PVC, para que sirva de soporte de los lazos bifilares que son girados media vuelta con respecto a su base.

4.1.3 ARREGLOS DE ANTENAS.-

A partir del diseño de un modelo a escala de una antena con cuatro dipolos; desarrollado en la sección 4.1.1, podemos diseñar otro modelo a escala con las mismas características y bajo las mismas condiciones, de tal forma de conseguir un arreglo de antenas formado por dos modelos a escala de dos antenas con cuatro dipolos cada una. Las dos antenas estarán conectadas en paralelo a través de la

línea de alimentación y un balun. De esta manera es posible conseguir también configuraciones de radiación circularmente polarizadas.

Por otro lado, partiendo del diseño de un modelo a escala de una antena helicoidal; desarrollado en la sección 4.1.2, es posible realizar un arreglo de antenas formado por dos antenas helicoidales de las mismas características. Las dos antenas helicoidales estarán conectadas en paralelo a la línea de alimentación, para así obtener transmisión con polarización circular.

4.2 ANALISIS DE CONFIGURACIONES DE RADIACION E IMPEDANCIAS.-

4.2.1 CONFIGURACIONES DE RADIACION.-

La configuración de radiación de una antena, es sin lugar a dudas una de las más importantes características, constituyendo en realidad configuraciones tridimensionales o espaciales, cuya determinación requiere de un elevado número de mediciones sobre todo el espacio alrededor de la antena. Esta limitación se resuelve realizando las mediciones de intensidad de campo eléctrico en los planos principales de radiación conocidos como plano E y plano H.

El plano E corresponde al plano paralelo al vector de campo eléctrico que pasa a través de la antena en la dirección del máximo principal.

El plano H es un plano perpendicular al plano E que pasa por la antena en la dirección del máximo principal.

La presentación de los resultados de las configuraciones se realizan principalmente en términos de intensidad de campo relativo en diagramas polares, como se puede observar en todos los resultados obtenidos de los diagramas de configuración del anexo No. 4.

Un requisito importante de considerar para obtener una configuración de radiación exacta, es que ésta debe corresponder al campo lejano, por lo tanto las medidas que se

realicen deben ser con las antenas receptora y transmisora lo suficientemente alejadas entre sí; como efectivamente se realizó en la práctica, al tomar las medidas en la terraza del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica.

La uniformidad de la intensidad de campo es otro de los requisitos importantes para la obtención de la configuración exacta, en principio podría pensarse que si se mantiene constante la salida del generador o que alimenta la antena transmisora, pero en realidad existen influencias externas especialmente causadas por reflexiones que producen una variación apreciable en la intensidad de campo en el sitio de recepción.

Para la configuración correcta de la configuración de radiación se debería considerar únicamente el rayo directo, pero por la forma de radiación de las antenas y las condiciones de propagación, existen contribuciones interferentes que alteran el nivel de la señal recibida en el punto de recepción. De los rayos mencionados, aquellos que provienen de reflexiones en edificios, montañas, etc. pueden ser anulados o minimizados escogiendo adecuadamente el lugar para realizar las medidas, pero el proveniente de reflexión de la tierra está siempre presente y su reducción requiere tomar precauciones especiales como las que se indican a continuación:

- a) Utilizar como antena transmisora una antena de alta ganancia, con lo que se logra que los rayos que se dirigen hacia la tierra están suficientemente atenuados y no contribuyen apreciablemente sobre el rayo directo.
- b) Utilizar altas torres para las antenas o localizarlas sobre edificios altos, de tal manera de dar a la onda reflejada una trayectoria más larga que el rayo directo reduciendo su influencia, por cuanto la intensidad de campo es inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria.
- c) Si la solución anterior exige torres impracticablemente altas, y no hay edificios apropiados, se procede a colocar obstáculos en la tierra, generalmente contruidos con malla de gallinero. El propósito de estos obstáculos es el de desviar los rayos reflejados impidiendo que interfieran en el rayo directo, lo que se conoce como

reflexión difusa.

Teniendo presente todas estas precauciones para obtener configuraciones de radiación exactas, se tomaron las medidas para los diferentes modelos a escala cuyas configuraciones de radiación se presentan detalladamente en el anexo No.4.

Refiriéndonos al anexo No. 4, los gráficos correspondientes al modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos tanto con antena transmisora horizontal como vertical (gráficos A4.1-1B, A4.1-1C, A4.1-2B, A4.1-2C), vemos que los diagramas de radiación son prácticamente omnidireccionales, es decir que la antena irradia igualmente bien en todas las direcciones.

A continuación se describirá los diagramas de radiación para el modelo a escala del arreglo de dos antenas formadas por cuatro dipolos cada una, en esta parte llamaremos arreglo sin codo cuando los dipolos horizontales sean paralelos al plano que contiene el piso de la terraza, ya que en este caso el arreglo es instalado directamente en un tubo de aluminio de 2 m de alto, por lo tanto los dipolos horizontales son paralelos al plano que contiene el piso de la terraza. Llamaremos arreglo con codo cuando los dipolos horizontales sean perpendiculares al plano que contiene el piso de la terraza, ya que en este caso el arreglo es instalado en un tubo de aluminio más pequeño y por medio de un codo es ajustado al tubo de aluminio de 2 m de tal manera que los dipolos horizontales quedan perpendiculares al plano que contiene el piso de la terraza. Por otro lado llamaremos al arreglo en fase cuando la entrada de alimentación de la una antena esté conectada a la entrada de la otra antena; y, llamaremos al arreglo desfasado cuando la entrada de alimentación de la una antena esté conectada a la salida de la otra antena.

Los gráficos A4.2-1B y A4.2-1C correspondientes al arreglo de dos antenas en fase sin codo con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de una longitud de onda, podríamos decir que son bidireccionales, ya que el arreglo irradia principalmente en dos direcciones. Mientras que para el mismo arreglo, con las mismas características pero con antena transmisora vertical, los diagramas de

radiación correspondientes a los gráficos A4.2-2B y A4.2-2C representan prácticamente un arreglo unidireccional.

Cuando el arreglo de las dos antenas está desfasado, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de una longitud de onda (gráficos A4.2-3B y A4.2-3C), diríamos que su configuración de radiación es bidireccional; mientras que cuando tenemos el mismo arreglo con las mismas características pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.2-4B y A4.2-4C), su configuración de radiación es prácticamente omnidireccional.

Los gráficos A4.2-5B y A4.2-5C correspondientes al arreglo de dos antenas en fase, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de una longitud de onda son unidireccionales, mientras que para el mismo arreglo bajo las mismas condiciones pero con antena transmisora vertical, su configuración es bidireccional (gráficos A4.2-6B y A4.2-6C).

Los gráficos A4.2-7B y A4.2-7C correspondientes a dos antenas, desfasadas, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una longitud de onda, podríamos decir que corresponden a diagramas bidireccionales, en forma similar que los gráficos A4.2-8B y A4.2-8C correspondientes al mismo arreglo con las mismas características pero con antena transmisora vertical.

Cuando tenemos un arreglo de dos antenas en fase, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$ (gráficos A4.2-9B y A4.2-9C), vemos que el sistema irradia prácticamente en dos direcciones. Mientras que el arreglo bajo las mismas condiciones pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.2-10B y A4.2-10C), tienen un diagrama de configuración unidireccional.

Los gráficos A4.2-11B y A4.2-11C que corresponden al arreglo de dos antenas desfasadas, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$, tienen una configuración bidireccional, de igual forma para el arreglo con las mismas características, pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.2-12B y A4.2-12C).

Los gráficos A4.2-13B y A4.2-13C correspondientes a un arreglo de dos antenas en fase, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$, tienen una configuración unidireccional. Mientras que los gráficos A4.2-14B y A4.2-14C que corresponden al mismo arreglo de antenas, con las mismas condiciones pero con antena transmisora vertical presentan un diagrama de radiación bidireccional.

Los gráficos A4.2-15B, A4.2-15C, A4.2-16B y A4.2-16C correspondientes a un arreglo de dos antenas desfasadas, con codo, separadas una distancia de $\lambda/2$ con antena transmisora horizontal y vertical respectivamente presentan una configuración de radiación en dos direcciones.

Refiriéndonos a los gráficos A4.3-1B y A4.3-1C que representan los diagramas de configuración para una antena helicoidal con antena transmisora horizontal, podemos observar que esta antena irradia prácticamente igual en todas las direcciones, en forma similar lo hace la misma antena pero teniendo en posición vertical la antena transmisora (gráficos A4.3-2B y A4.3-2C). De esta manera podemos comprobar que los dos lazos bifilares de los que está compuesta la antena helicoidal, sus campos de radiación son idénticos, excepto que la configuración de radiación del un lazo está rotado 90° con respecto al otro, además la configuración de radiación aparece en el campo lejano. Esto es debido a que los dos lazos bifilares están en fase en la dirección axial. En esta dirección los dos campos se suman, mientras que en la dirección opuesta los campos están fuera de fase y por lo tanto se cancelan.

Ahora se analizará los diagramas de radiación para un modelo a escala de un arreglo de dos antenas helicoidales. En este modelo, al mencionar que las antenas helicoidales están dispuestas transversalmente, significa que están como se indica en la figura 4.14.

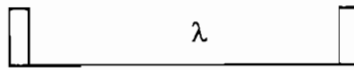


FIG. 4.14

Mencionar que las antenas están dispuestas longitudinalmente, significa que las antenas están como se indica en la figura 4.15.

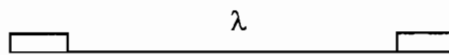


FIG. 4.15

Al mencionar que las antenas están con codo, significa que se ha utilizado una estructura adicional en base de un codo, de tal manera que el arreglo está dispuesto como se indica en la figura 4.16.

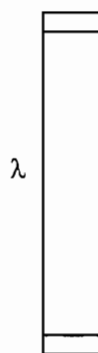


FIG. 4.16

Los gráficos A4.4-1B y A4.4-1C que corresponden a dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con antena transmisora horizontal y separadas una longitud

de onda, presentan una configuración de radiación bidireccional, mientras que el mismo arreglo con las mismas características (gráficos A4.4-2B y A4.4-2C), pero con antena transmisora vertical presenta una configuración unidireccional.

Para un arreglo de dos antenas helicoidales, dispuestas transversalmente, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$ (gráficos A4.4-3B y A4.4-3C), se tiene una configuración de radiación bidireccional, en forma similar se presenta el diagrama de radiación para el mismo arreglo pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.4-4B y A4.4-4C).

Para un arreglo de dos antenas helicoidales, dispuestas longitudinalmente, con antena transmisora horizontal y separadas una longitud de onda, de acuerdo con los gráficos A4.4-5B y A4.4-5C, se tiene una configuración bidireccional, de la misma manera se tiene para el mismo arreglo con las mismas condiciones, pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.4-6B y A4.4-6C).

Los gráficos A4.4-7B y A4.4-7C correspondientes a dos antenas helicoidales, dispuestas longitudinalmente, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$, presentan un diagrama de radiación bidireccional, situación similar sucede con el mismo arreglo, bajo las mismas condiciones, pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.4-8B y A4.4-8C).

Cuando tenemos el arreglo de dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de una longitud de onda, la configuración de radiación es bidireccional (gráficos A4.4-9B y A4.4-9C). Igual situación sucede con el arreglo, bajo las mismas condiciones pero con antena transmisora vertical, de acuerdo con los gráficos A4.4-10B y A4.4-10C.

Finalmente, de acuerdo con los gráficos A4.4-11B y A4.4-11C, que corresponden al arreglo de dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$, tenemos una configuración de radiación bidireccional, situación similar que ocurre con el mismo arreglo, bajo las mismas

características, pero con antena transmisora vertical (gráficos A4.4-12B y A4.4-12C).

4.2.2 IMPEDANCIAS.-

4.2. 2.1 CALCULO DE LA IMPEDANCIA DE UNA ANTENA FORMADA POR CUATRO DIPOLOS.-

Para calcular la impedancia de la antena formada por 4 dipolos, primeramente debemos conocer la constante de propagación Γ , la misma que es función de:

$$\Gamma = \alpha + j\beta \quad (4 - 22)$$

donde: α = constante de atenuación por unidad de longitud

β = constante de fase por unidad de longitud

En otras palabras, lo que primero necesitamos conocer son las características del cable coaxial con el que se trabajará para determinar las configuraciones de radiación, a partir del medidor de señal (medidor de campo eléctrico). Este cable tiene una impedancia característica de 75Ω .

Para determinar las características del cable coaxial, se ha utilizado el programa del anexo No.1, el mismo que nos permite calcular las características de un cable coaxial; para ello necesitamos tener los siguientes datos:

* Cálculo de la frecuencia f a partir de la posición de dos mínimos:

10.1 cm36.85 cm

Sabemos que entre dos mínimos existe $\lambda/2$, por lo tanto:

$$\begin{aligned}\frac{\lambda_0}{2} &= (0.3685 - 0.101) \text{ m} \\ \lambda_0 &= 0.535 \text{ m} \\ f &= \frac{c}{\lambda_0} = \frac{300}{0.535} \\ f &= 560.75 \text{ MHz}\end{aligned}\tag{4-23}$$

De esta manera ya tenemos el valor de la frecuencia, el mismo que sirve para la entrada de datos.

Los datos que se ingresarán en el programa para determinar las características del cable son:

1) para determinar Z_0 del cable coaxial escogemos la opción 1:

a) para determinar Z_{ca} del cable coaxial dejamos sus terminales en circuito abierto y

tomamos las siguientes medidas:

$Z_0 = 50 \Omega$ (parte imaginaria cero), como recordaremos esta impedancia

característica es la correspondiente a la línea ranurada.

$S = 3.81$ (es el valor absoluto de S para Z_{ca} , encontrado a partir de la posición del mínimo de referencia 0.3685 m)

$f = 560.75 \text{ MHz}$

$d_1 = 0.15 \text{ m}$ (tomado a la izquierda del mínimo de referencia de 0.3685 m)

$d_2 = 0$

b) para determinar Z_{cc} del cable coaxial cortocircuitamos sus terminales y tomamos los

siguientes datos:

$S = 1.42$ (es el valor absoluto de S para Z_{cc} , encontrado a partir de la posición del mínimo de referencia 0.3685 m)

$d_1 = 0.295 \text{ m}$ (tomado a la izquierda del mínimo de referencia de 0.3685 m)

$d_2 = 0$

De esta forma resulta $Z_0 \cong 75 \Omega$.

2) para determinar α (constante de atenuación por unidad de longitud), escogemos la opción 2:

$$l = 5.05 \text{ m (longitud del cable coaxial)}$$

$$\text{Entonces } \alpha l = 0.1701 \text{ Np}$$

3) para determinar β (constante de fase por unidad de longitud) y K_v (constante de velocidad), escogemos la opción 3:

$$N = 28 \text{ (es el valor que con mayor aproximación resulta ser } \beta \text{)}$$

entonces tenemos que $\beta l = 17.78 \text{ rad}$ y $K_v \cong 0.66$, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \lambda &= K_v \lambda_0 \\ \lambda &= (0.66)(0.535 \text{ m}) \\ \lambda &= 0.3531 \text{ m} \end{aligned} \quad (4 - 24)$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{tg h } \Gamma l &= \text{tg h } (\alpha + j\beta)l \\ \text{tg h } \Gamma l &= \text{tg h } (0.1701 + j17.78) \end{aligned} \quad (4 - 25)$$

Ahora es necesario encontrar el valor de $\text{tg h } (0.1701 + j17.78)$.

Sabemos que:

$$\begin{aligned} \text{tg h } x &= \frac{\text{sen h } x}{\text{cos h } x} \\ \text{sen h}(x + y) &= \text{sen h } x \text{cos h } y + j \text{cosh } x \text{sen } y \\ \text{cos h}(x + y) &= \text{cos h } x \text{cos h } y + j \text{sen h } x \text{sen } y \end{aligned} \quad (4 - 26)$$

entonces:

$$\text{tg h } (0.1701 + j17.78) = 1.7507 \quad / - 67.65^\circ$$

$$\text{tg h } (0.1701 + j17.78) = 0.6657 - j1.6191 \quad (4 - 27)$$

De esta manera es posible calcular la impedancia Z_t para una antena formada por 4 dipolos, de acuerdo con la figura 4.17. Z_t no es posible calcular por medio del programa del anexo No. 1, ya que en el programa partimos de Z_t para calcular Z_{in} , en nuestro caso partimos en forma inversa, de Z_{in} para encontrar Z_t .

Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial, mientras que Z_t es la impedancia de la antena pero vista a través del cable coaxial de 5.05 m de longitud, la misma que podemos calcular a través de la expresión (4-28):

$$Z_t = Z_0 \frac{Z_0 \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_{in}}{Z_{in} \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_0} \quad (4-28)$$

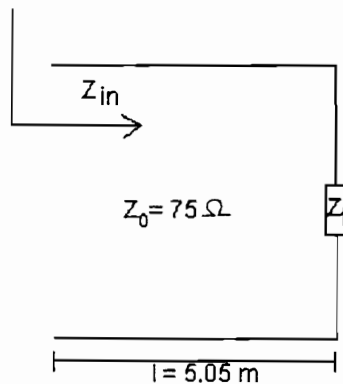


FIG. 4.17

Con los valores de posición de mínimo y de S, calculo Z_{in} en la carta de Smith de la figura 4.18:

l	V
22.65 cm	$V_{\min} = 77$
	$V_{\max} = 81$

NAME	TITLE CALCULO DE IMPEDANCIA DE UNA ANTENA (4 DIPOLOS)	DWG. NO. 4-18
SMITH CHART FORM 5301-7560-N	GENERAL RADIO COMPANY, WEST CONCORD, MASSACHUSETTS	DATE

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

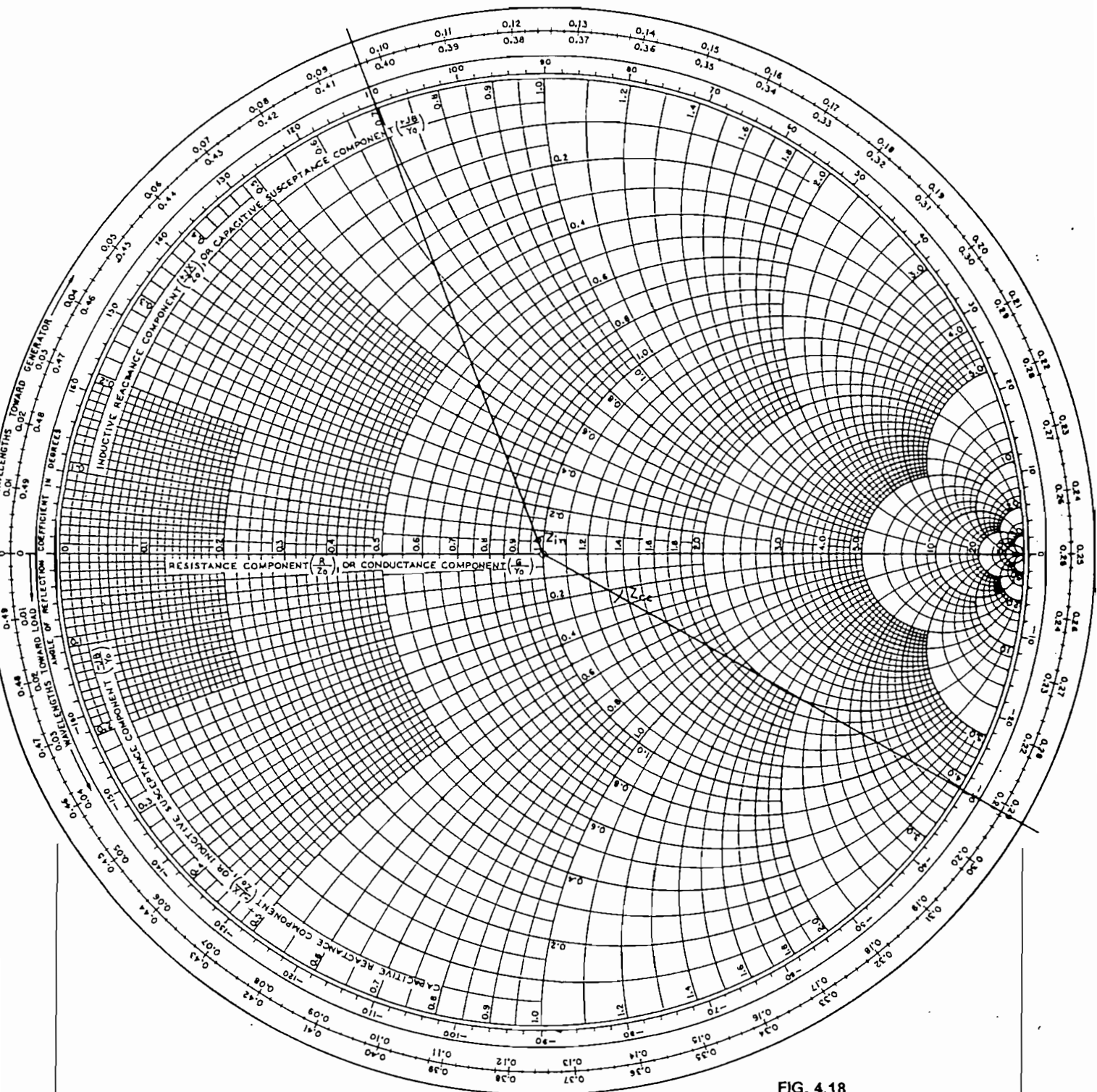
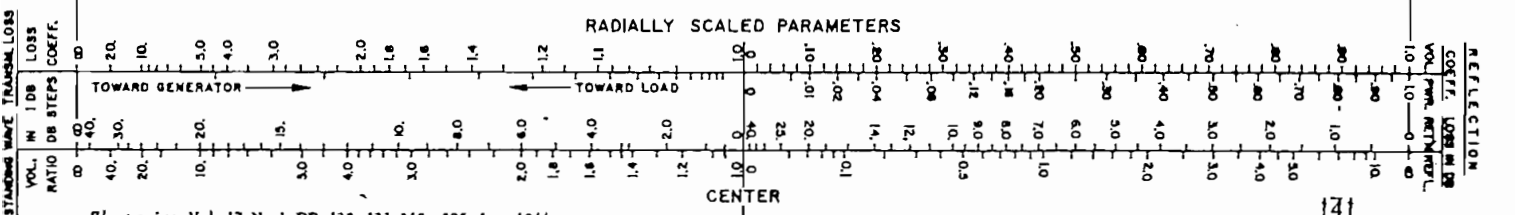


FIG. 4.18



$$S = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{81}{77} = 1.05$$

$\Delta l = \text{posicion min referencia} - \text{posicion min}$

$$\Delta l = 0.3685 \text{ m} - 0.2265 \text{ m} = 0.142 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{0.142 \text{ m}}{0.3531 \text{ m}} = 0.4022 \quad (4 - 29)$$

$$z_{in} = 0.95 + j0.04$$

$$Z_{in} = Z_0 * z_{in}$$

$$Z_{in} = 75(0.98 + j0.03) \ \Omega$$

$$Z_{in} = 73.5 + j2.25 \ \Omega$$

donde $\Delta l/\lambda$ es la longitud eléctrica, z_{in} es la impedancia normalizada y Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial. Con el valor de Z_{in} calculamos Z_t a partir de la expresión (4 – 28) obteniendo:

$$Z_t = 75 (1.05 / 0.02) \ \Omega$$

$$Z_t = 75 (1.04 + j0.00036) \ \Omega$$

$$Z_t = 78 + j0.027 \ \Omega \quad (4 - 30)$$

Como se puede observar, la parte real de Z_t es aproximadamente $75 \ \Omega$ y la parte imaginaria es prácticamente despreciable, por lo que en la práctica podemos utilizar para las medidas de campo eléctrico el cable de $75 \ \Omega$ sin incurrir en mayor error.

Entre la terminación del cable coaxial y la antena formada por los 4 dipolos, existe un balun, cuya relación es de 4/1, por lo tanto luego del balun se verá la impedancia Z_L igual a:

$$Z_L = 4Z_t$$

$$Z_L = 4(78 + j0.027) \ \Omega \quad (4 - 31)$$

$$Z_L = 312 + j0.108 \ \Omega$$

4.2.2.2 CALCULO DE LA IMPEDANCIA DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS

FORMADO POR CUATRO DIPOLOS CADA UNA.-

En vista de que en este caso se utilizará el mismo cable coaxial de 75Ω , las características del cable serán las mismas que las calculadas en la sección anterior, por lo tanto:

$$Z_0 = 75 \Omega$$

$$\alpha l = 0.1701 \text{ Np}$$

$$\beta l = 17.78 \text{ rad}$$

$$K_v = 0.66$$

$$\lambda = 0.3531 \text{ m}$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta$$

$$\operatorname{tg} h \Gamma l = \operatorname{tg} h (\alpha + j\beta)l$$

$$\operatorname{tg} h \Gamma l = \operatorname{tg} h (0.1701 + j17.78)$$

$$\operatorname{tg} h (0.1701 + j17.78) = 0.6657 - j1.6191$$

De esta forma; igual que en la sección anterior, es posible calcular la impedancia Z_t para un arreglo de 2 antenas formado por 4 dipolos cada una, de acuerdo con la figura 4.19.

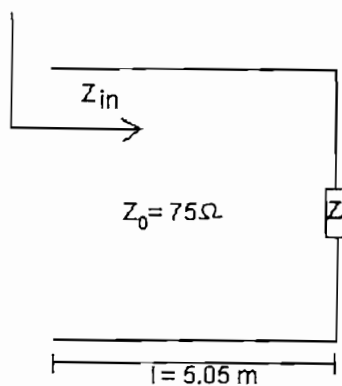


FIG. 4.19

Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial, mientras que Z_t es la impedancia de la antena pero vista a través del cable coaxial de 5.05 m de longitud, la misma que se calcula a través de la expresión (4 – 28):

$$Z_t = Z_0 \frac{Z_0 \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_{in}}{Z_{in} \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_0} \quad (4 - 28)$$

Con los valores de posición de mínimo y de S, calculo Z_{in} en la carta de Smith de la figura 4.20:

l	V
20.9 cm	$V_{\min} = 39.5$
	$V_{\max} = 47$

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{47}{39.5} = 1.19$$

$$\Delta l = \text{posición min referencia} - \text{posición min}$$

$$\Delta l = 0.3685 \text{ m} - 0.209 \text{ m} = 0.1595 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{0.1595 \text{ m}}{0.3531 \text{ m}} = 0.4517 \quad (4 - 32)$$

$$z_{in} = 0.87 + j0.098$$

$$Z_{in} = Z_0 * z_{in}$$

$$Z_{in} = 75(0.87 + j0.098) \Omega$$

$$Z_{in} = 65.25 + j7.35 \Omega$$

donde $\Delta l/\lambda$ es la longitud eléctrica, z_{in} es la impedancia normalizada y Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial. Con el valor de Z_{in} calculamos Z_t a partir de la expresión (4 – 28), obteniendo los siguientes resultados:

$$Z_t = 75 (1.26 / 4.27^\circ) \Omega$$

$$Z_t = 75 (1.256 + j0.094) \Omega$$

$$Z_t = 94.2 + j7.05 \Omega \quad (4 - 33)$$

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

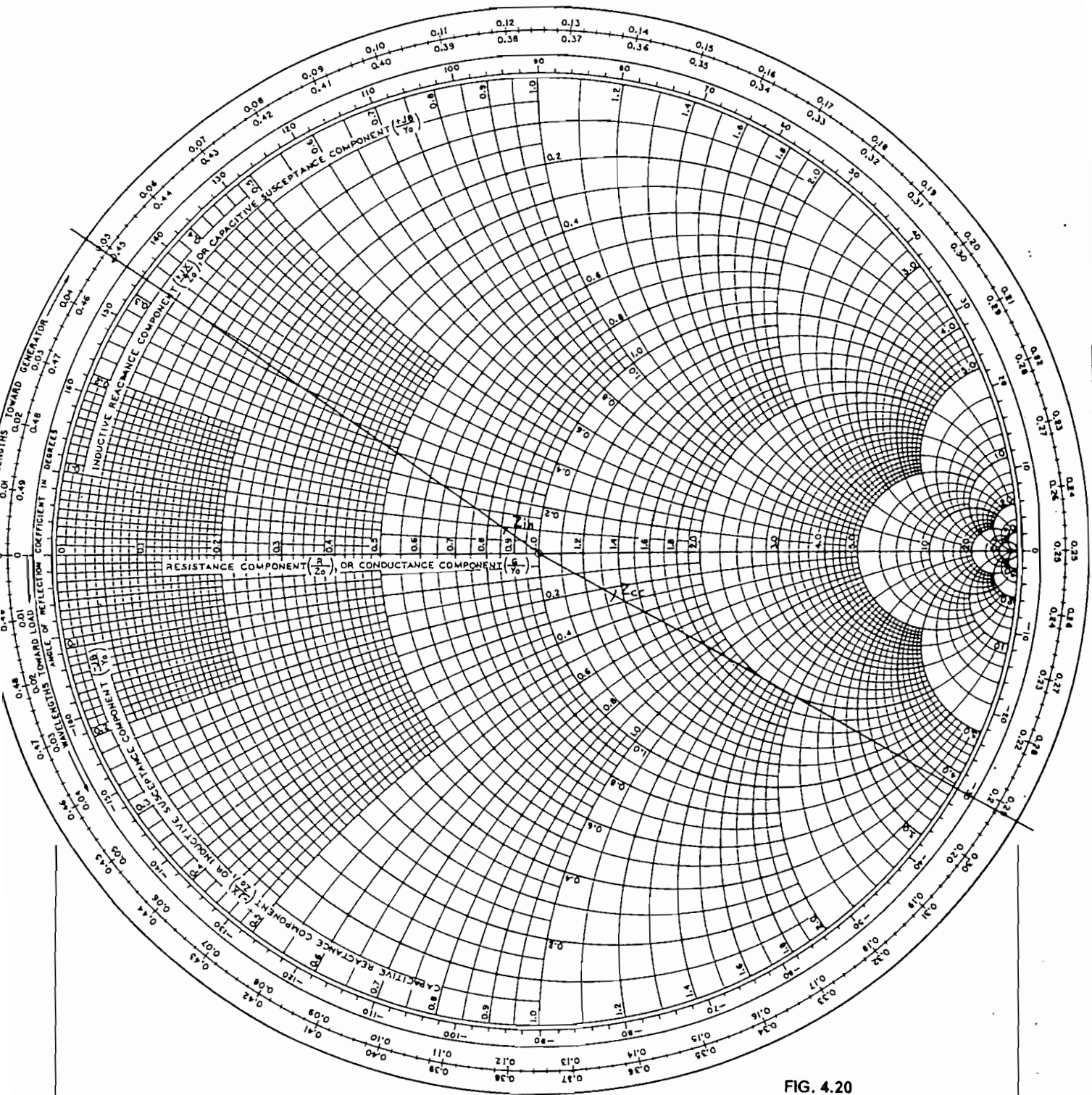
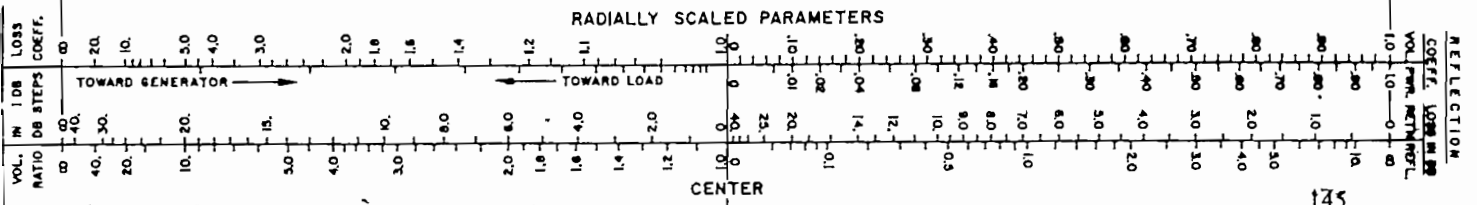


FIG. 4.20



Entre la terminación del cable coaxial y el arreglo de antenas formado por los 4 dipolos cada una, existe un balun, cuya relación es de 4/1, por lo tanto luego del balun se verá la impedancia Z_L igual a:

$$\begin{aligned} Z_L &= 4Z_t \\ Z_L &= 4(94.2 + j7.05) \ \Omega \\ Z_L &= 376.8 + j28.2 \ \Omega \end{aligned} \quad (4 - 34)$$

4.2.2.3 CALCULO DE LA IMPEDANCIA PARA UNA ANTENA HELICOIDAL.-

En este caso también se utilizará el mismo cable coaxial de $75 \ \Omega$, las características del cable serán las mismas que las calculadas en las secciones anteriores, por lo tanto:

$$Z_0 = 75 \ \Omega$$

$$\alpha l = 0.1701 \text{ Np}$$

$$\beta l = 17.78 \text{ rad}$$

$$K_v = 0.66$$

$$\lambda = 0.3531 \text{ m}$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta$$

$$\text{tg h } \Gamma l = \text{tg h } (\alpha + j\beta)l$$

$$\text{tg h } \Gamma l = \text{tg h } (0.1701 + j17.78)$$

$$\text{tg h } (0.1701 + j17.78) = 0.6657 - j1.6191$$

De esta forma; igual que en las secciones anteriores, es posible calcular la impedancia Z_t para una antena helicoidal, de acuerdo con la figura 4.21. Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial, mientras que Z_t es la impedancia de la antena pero vista a través del cable coaxial de 5.05 m de longitud, la misma que se calcula a través de la expresión (4 – 28).

$$Z_i = Z_0 \frac{Z_0 \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_{in}}{Z_{in} \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_0} \quad (4-28)$$

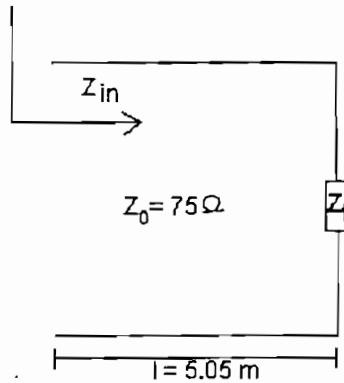


FIG. 4.21

Con los valores de posición de mínimo y de S , calculo Z_{in} en la carta de Smith de la figura 4.22:

I	V
21.1 cm	$V_{\min} = 38$
	$V_{\max} = 52$

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{52}{38} = 1.37$$

$\Delta l =$ posición min referencia - posición min

$$\Delta l = 0.3685 \text{ m} - 0.211 \text{ m} = 0.1575 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{0.1575 \text{ m}}{0.3531 \text{ m}} = 0.446 \quad (4-35)$$

$$z_{in} = 0.78 + j0.16$$

$$Z_{in} = Z_0 * z_{in}$$

$$Z_{in} = 75(0.78 + j0.16) \Omega$$

$$Z_{in} = 58.5 + j12 \Omega$$

donde $\Delta l/\lambda$ es la longitud eléctrica, z_{in} es la impedancia normalizada y Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial. Con el valor de Z_{in}

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

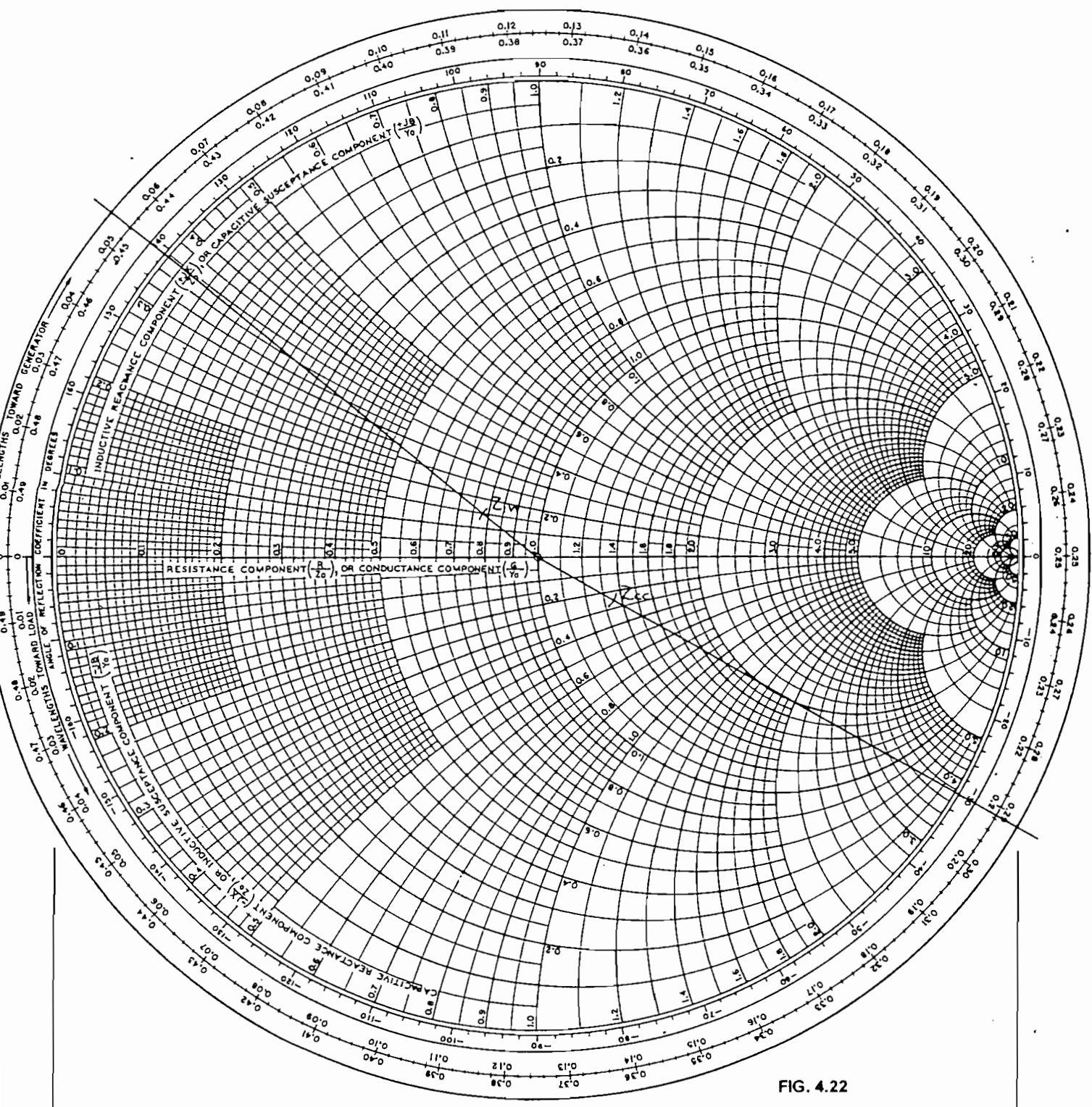
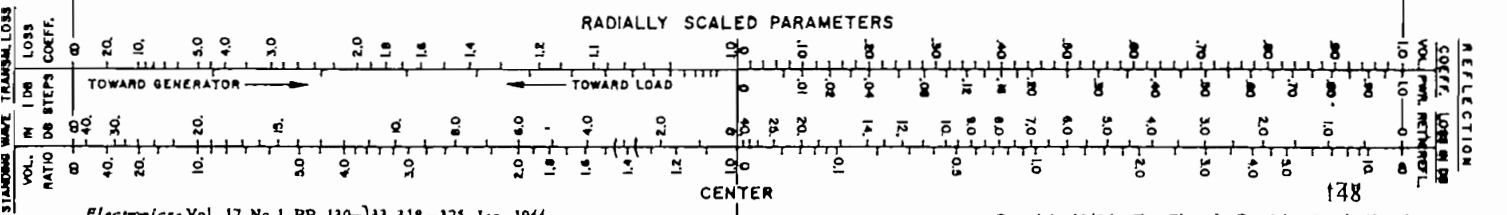


FIG. 4.22



calculamos Z_t a partir de la expresión (4 – 28), obteniendo los siguientes resultados:

$$Z_t = 75 (1.514 / 7.17^\circ) \Omega$$

$$Z_t = 75 (1.502 + j0.189) \Omega$$

$$Z_t = 112.65 + j14.175 \Omega \quad (4 – 36)$$

4.2.2.4 CALCULO DE LA IMPEDANCIA PARA UN ARREGLO DE DOS ANTENAS

HELICOIDALES DISPUESTAS LONGITUDINALMENTE.-

En este caso también se utilizará el mismo cable coaxial de 75Ω , las características del cable serán las mismas que las calculadas en las secciones anteriores, por lo tanto:

$$Z_0 = 75 \Omega$$

$$\alpha l = 0.1701 \text{ Np}$$

$$\beta l = 17.78 \text{ rad}$$

$$K_v = 0.66$$

$$\lambda = 0.3531 \text{ m}$$

$$\Gamma = \alpha + j\beta$$

$$\text{tg h } \Gamma l = \text{tg h } (\alpha + j\beta)l$$

$$\text{tg h } \Gamma l = \text{tg h } (0.1701 + j17.78)$$

$$\text{tg h } (0.1701 + j17.78) = 0.6657 - j1.6191$$

De esta forma; igual que en las secciones anteriores, es posible calcular la impedancia Z_t para una antena helicoidal, de acuerdo con la figura 4.23.

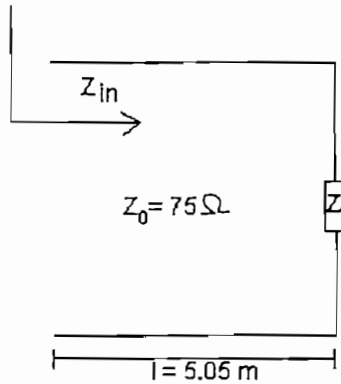


FIG. 4.23

Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial, mientras que Z_t es la impedancia de la antena pero vista a través del cable coaxial de 5.05 m de longitud, la misma que se calcula a través de la expresión (4 – 28):

$$Z_t = Z_0 \frac{Z_0 \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_{in}}{Z_{in} \operatorname{tgh} \Gamma l - Z_0} \quad (4 - 28)$$

Con los valores de posición de mínimo y de S, calculo Z_{in} en la carta de Smith de la figura 4.24:

l	V
15.9 cm	$V_{\min} = 22.5$
	$V_{\max} = 67$

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{67}{22.5} = 2.97$$

$\Delta l = \text{posición min referencia} - \text{posición min}$

$$\Delta l = 0.3685 \text{ m} - 0.159 \text{ m} = 0.2095 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{0.2095 \text{ m}}{0.3531 \text{ m}} = 0.593 \quad 0.593 - 0.5 = 0.093 \quad (4 - 37)$$

$$z_{in} = 0.47 - j0.56$$

$$Z_{in} = Z_0 * z_{in}$$

$$Z_{in} = 75(0.47 - j0.56) \Omega$$

$$Z_{in} = 35.25 - j42 \Omega$$

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

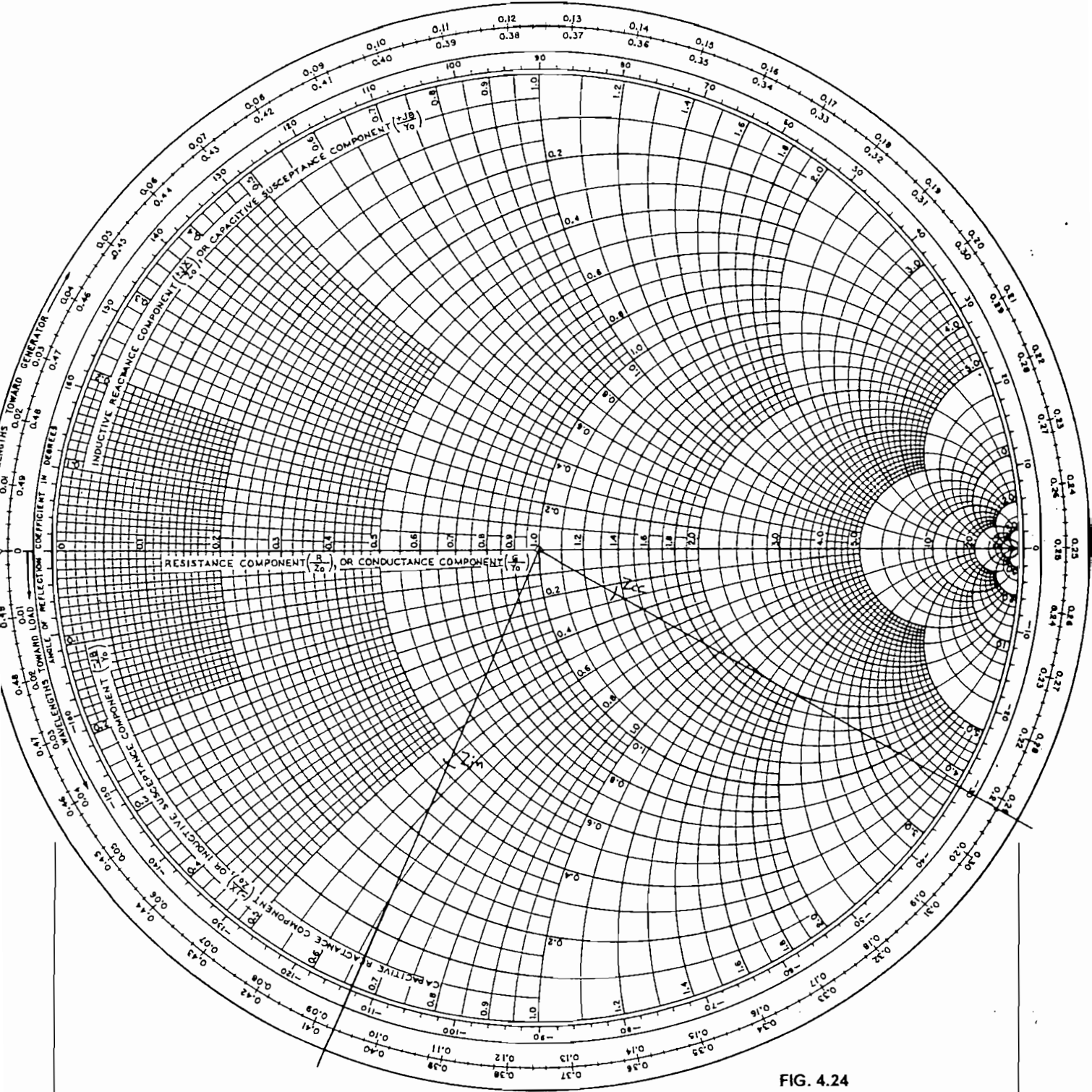
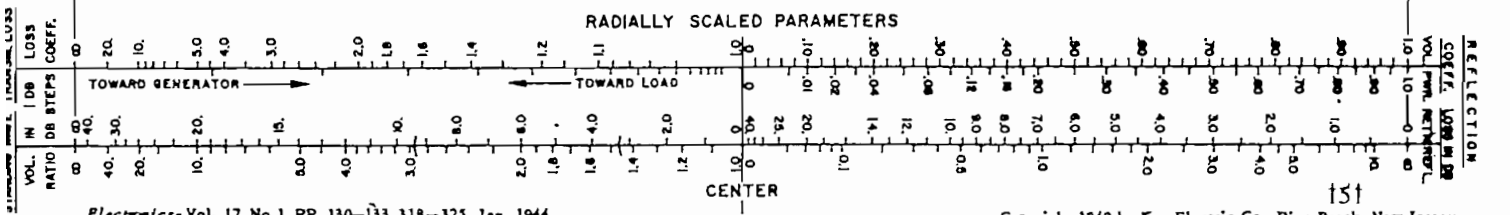


FIG. 4.24



donde $\Delta l/\lambda$ es la longitud eléctrica, z_{in} es la impedancia normalizada y Z_{in} es la impedancia de la antena vista desde los terminales de entrada del cable coaxial. Con el valor de Z_{in} calculamos Z_t de la expresión (4 – 28), obteniendo como resultado lo siguiente:

$$Z_t = 75 (0.5506 \angle 64.97^\circ) \Omega$$

$$Z_t = 75 (0.2329 + j0.498) \Omega$$

$$Z_t = 17.46 + j37.35 \Omega \quad (4 – 38)$$

4.3 REQUERIMIENTOS DE BALUN'S.-

4.3.1 DEFINICION.-

En general podemos decir que para una línea de transmisión en alta frecuencia la carga práctica más importante constituye la antena; y, en la mayoría de los casos será del tipo balanceado, es decir de construcción simétrica con respecto al punto de alimentación.

Por otra parte, normalmente las señales captadas por la antena son muy débiles, de tal forma que es importante transferirlas de la antena al receptor, con la mínima pérdida de energía; lo cual significa que la adaptación de impedancia entre la antena y la línea de transmisión debe ser óptima.

A más de las consideraciones de adaptación de la impedancia verdadera de la antena en el punto de alimentación con la impedancia característica de la línea (si tal adaptación se hace necesaria), toda antena balanceada debe ser alimentada por una línea de transmisión también balanceada, para de esta manera mantener la simetría con respecto a tierra y evitar dificultades que nacen de la presencia de corrientes no balanceadas en la línea, y la consiguiente radiación no deseada de la misma línea de transmisión.

Frecuentemente una antena es alimentada mediante cable coaxial; como es el

caso del presente trabajo de tesis, y el cable coaxial es una línea de transmisión inherentemente desbalanceado, por lo que es necesario recurrir a algún método adecuado para conectar la línea a la antena sin alterar la simetría de ésta última. Lo que exige un circuito capaz de separar la carga balanceada de la línea no balanceada y de permitir al mismo tiempo, la transferencia eficaz de la potencia. Los dispositivos que cumplen con esta finalidad se conocen como: Transformadores, Adaptadores de Impedancia Simétricos - Asimétricos ó comúnmente llamados Balun's.

La palabra Balun, proviene de la contracción de los términos ingleses BALANCED to UNbalanced.

Existe algunas formas de lograr el balance requerido de impedancias, por lo que el método que se elija en cada caso dependerá de factores tales como la frecuencia de trabajo, el grado de desequilibrio de impedancias y la intensidad de la señal.

4.3.2 CLASIFICACION.-

Los balun's se pueden clasificar de acuerdo a varios factores, como por ejemplo por su construcción y por su aplicación, pero principalmente se los clasifica por su respuesta de frecuencia. De esta manera se dividen básicamente en dos tipos:

- Balun's lineales o de banda estrecha
- Balun's de banda ancha

Los primeros generalmente están formados de secciones de líneas de transmisión de una longitud de onda determinada; y, por lo tanto trabajan y responden únicamente a una frecuencia predeterminada o en sus cercanías.

Los balun's de banda ancha, como su nombre lo indica, trabajan y responden dentro de un rango de frecuencia bastante amplio. Generalmente los balun's de banda ancha pueden estar contruidos con una sección de línea de transmisión enrollada en

forma de bobina, ya sea con núcleo de aire o con núcleo de ferrita. A partir de un buen diseño se consigue una separación de frecuencia de 10 ó 20 a 1, y el dispositivo puede ser de varias relaciones de transformación. El ancho de banda de este tipo de balun's está determinado en el extremo de baja frecuencia del margen de funcionamiento por la inductancia de los enrollamientos, mientras que en el extremo de alta frecuencia por la capacidad distribuida del diseño. Al utilizarse un núcleo de ferrita en el dispositivo, se debe tener en cuenta que el limitar el nivel de la señal suele producir saturación.

4.3.3 BALUN PARA UN MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA FORMADA POR CUATRO DIPOLOS.-

El balun que se ha utilizado para realizar las diferentes prácticas con el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos ha sido un balun de banda ancha de tipo comercial con una relación de transformación 4 a 1.

De igual forma, con el arreglo de antenas formado por dos modelos a escala de dos antenas con cuatro dipolos cada una, también se utilizó el mismo tipo de balun.

Experimentalmente se comprobó la relación de transformación del balun de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Se cortocircuita la línea ranurada y se mide la posición de dos mínimos:

12.65 cm39.45 cm

Sabemos que entre dos mínimos existe $\lambda/2$, por lo tanto:

$$\frac{\lambda_0}{2} = (0.3945 - 0.1265) \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 0.536 \text{ m}$$

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{300}{0.536}$$

$$f = 560 \text{ MHz}$$

(4 – 39)

$f = 560 \text{ MHz}$ será la frecuencia de trabajo.

- En los terminales del balun se conecta dos resistencias en serie de 150Ω cada una, se mide la posición de mínimo y S y calculamos Z en la carta de Smith de la figura 4.25:

$$\begin{array}{l} I \\ 23.1 \text{ cm} \end{array} \qquad \begin{array}{l} V \\ V_{\min} = 28.6 \\ V_{\max} = 52 \end{array}$$

$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{52}{28.6} = 1.82$$

$\Delta l =$ posición min referencia - posición min

$$\Delta l = 0.231 \text{ m} - 0.1265 \text{ m} = 0.1045 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{\lambda} = \frac{0.1045 \text{ m}}{0.536 \text{ m}} = 0.4022 \qquad (4 - 40)$$

$$z = 1.43 - j0.58$$

$$Z = Z_0 * z$$

$$Z_{in} = 50(1.43 - j0.58) \Omega$$

$$Z_{in} = 71.5 - j29 \Omega$$

donde $\Delta l/\lambda$ es la longitud eléctrica, z es la impedancia normalizada y Z es la impedancia equivalente de las dos resistencias en serie, vistas en los terminales del balun. Puesto que al colocar las dos resistencias de 150Ω en serie y al trabajar a 560 MHz , se produce un efecto capacitivo, por lo tanto se tiene el circuito equivalente de la figura 4.26.

En el circuito (A) de la figura 4.26 tenemos el paralelo de R y jX_c :

$$R \parallel -jX_c = \frac{-jRX_c}{R - jX_c} \times 2 \qquad (4 - 41)$$

multiplicamos por 2, ya que se trata de dos paralelos idénticos. De esta manera igualamos este paralelo con el valor de la impedancia equivalente:

$$\begin{aligned} \frac{-2jRX_c}{R - jX_c} &= 71.5 - j29 \\ \frac{-2jRX_c(R + jX_c)}{R^2 + X_c^2} &= 71.5 - j29 \qquad (4 - 42) \\ \frac{-j2R^2X_c + 2RX_c^2}{R^2 + X_c^2} &= 71.5 - j29 \end{aligned}$$

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

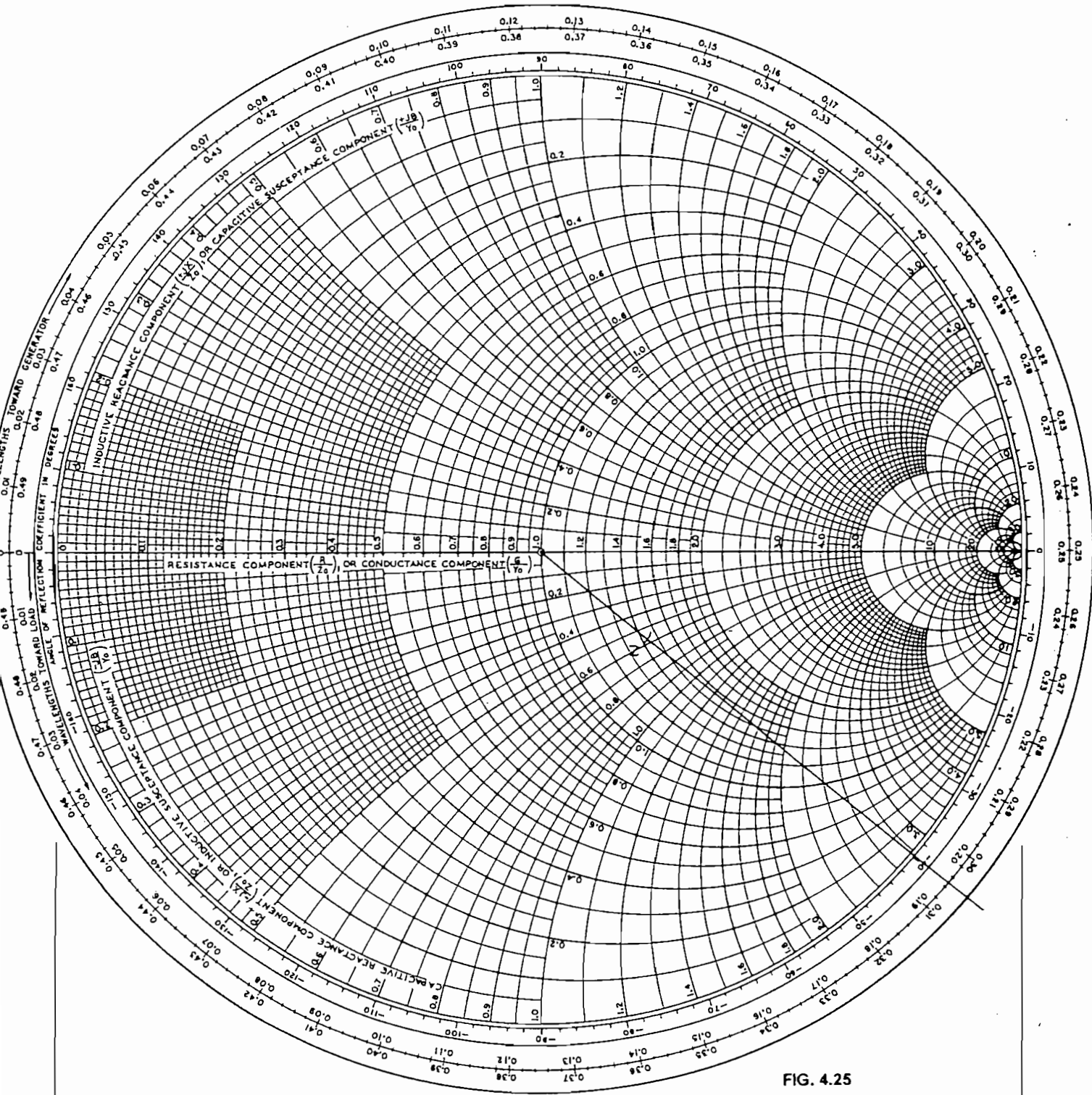
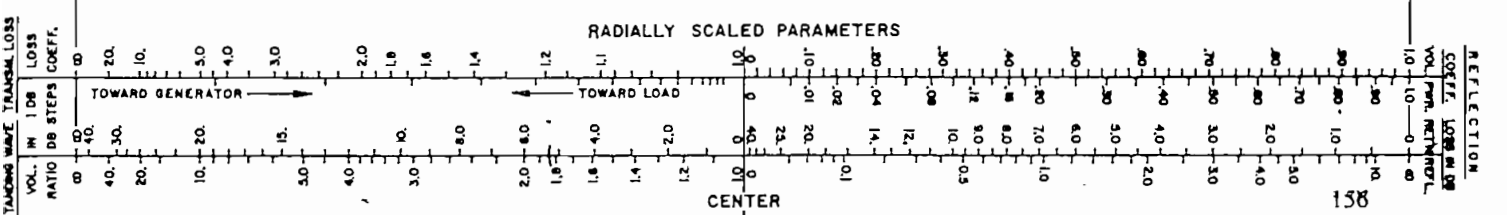


FIG. 4.25



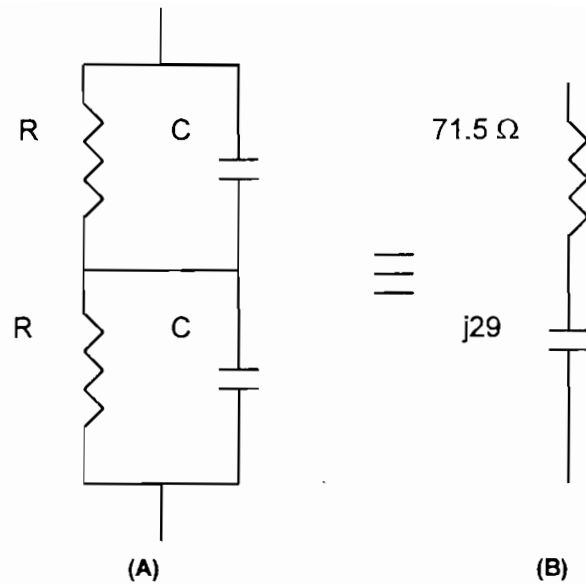


FIG. 4.26

Igualando parte real, parte imaginaria y resolviendo, obtenemos:

$$R = 41.63 \Omega$$

$$C = 2.77 \text{ pF}$$

El valor de capacitancia es un valor muy pequeño producido por la alta frecuencia.

Como son dos resistencias entonces: $R = 2(41.63 \Omega)$

$$R = 83.26 \Omega$$

Este valor de resistencia de 83.26Ω es lo que se ve antes del balun, como se indica en la figura 4.27.

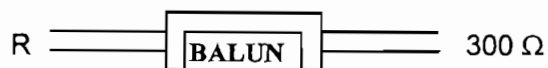


FIG. 4.27

Por lo tanto la relación de transformación será:

$$\frac{300}{R} = \frac{300}{83.26} = 3.61 \cong 4 \quad (4 - 43)$$

Entonces queda demostrado que la relación de transformación del balun es de 4 a 1.

4.3.4 BALUN PARA UN MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA HELICOIDAL.-

Alimentar el arreglo cuadrifilar (antena helicoidal), con una simple y desbalanceada línea coaxial requiere de especial atención. Debido a que los lazos individuales bifilares son dispositivos de entrada balanceada, se requiere algún tipo de balun para balancear las corrientes de entrada - salida hacia los terminales de cada lazo bifilar. En suma, para obtener la característica de radiación unidireccional del arreglo cuadrifilar, los dos lazos bifilares requieren excitaciones separadas teniendo una diferencia de fase relativa de 90° .

Varios tipos de balun's y arreglos circuitales en cuadratura de fase están disponibles para alimentar el arreglo cuadrifilar, tales como el balun doblado, una combinación híbrida de 90° y 180° , etc. Sin embargo para que el conjunto balun - antena no sea pesado físicamente, y para efectos de simplicidad en la construcción se usa una única forma de alimentación a través del balun infinito o también llamado balun inherente, combinado con un método original de mutuo desfasaje entre los dos lazos bifilares para obtener la relación de corriente diferencial de 90° entre los dos lazos.

Veamos ahora en qué consiste el balun infinito o inherente. En el balun infinito, que se muestra en la figura 4.12, se puede observar la línea coaxial de alimentación extendiéndose hacia el lazo y formando la primera mitad del lazo bifilar. Al terminar la línea coaxial, el conductor interno se conecta a su opuesto (blindaje) o segunda mitad del lazo bifilar para formar el punto de alimentación. La otra terminación de la segunda mitad del lazo se conecta al blindaje de la línea de alimentación coaxial. De esta forma el lazo se cierra en los puntos medios de los lados verticales (figura 4.9), donde entra la línea de alimentación. La segunda mitad del lazo es un conductor sólido del mismo diámetro que el blindaje del cable coaxial.

En operación, la corriente que fluye por el conductor interno del cable coaxial emerge al punto de alimentación para fluir en la segunda mitad del lazo. Para que la corriente que fluye sobre el blindaje del cable coaxial, en su arribo al finalizar el cable

coaxial, la única trayectoria para que la corriente fluya es alrededor de la terminación y sobre la superficie del blindaje. Ahora tal corriente de la línea externa de alimentación es la corriente deseable de la antena, debido a que la porción externa del cable coaxial extendiéndose desde el punto de alimentación hacia los puntos medios de los lados verticales del lazo bifilar (figura 4.9), es el radiador.

Externamente, los puntos medios de los lados verticales del lazo bifilar (figura 4.9), limita la terminación de la línea de alimentación y el comienzo del lazo radiador. Debido al efecto skin, las corrientes que fluyen dentro del cable coaxial del lazo están completamente separadas de las corrientes de la antena que fluyen externamente sobre el lazo. Su única relación está en que las corrientes internas de la línea de transmisión emergen al punto de alimentación, donde éstas llegan a ser las corrientes externas de la antena.

Como la línea de alimentación se aleja simétricamente de los puntos medios de los lados verticales del lazo bifilar (figura 4.9), en forma relativa al lazo, las corrientes inducidas sobre la línea de alimentación debido al acoplamiento de cada mitad del lazo son iguales y fluyen en direcciones opuestas. Las corrientes en oposición sobre la línea que se cancelan unas a otras, desacoplan la línea de alimentación del lazo. En otras palabras, desde el punto de vista del radiador del lazo, la fuente de alimentación puede ser considerada como existente directamente entre los dos terminales de entrada del lazo en el punto de alimentación, y la línea de alimentación efectivamente desaparece. De esta manera, la transición del modo corriente en la porción del cable coaxial del lazo, desde un modo interno desbalanceado entrando en los puntos medios de los lados verticales del lazo bifilar (figura 4.9), hacia un modo externo balanceado emergiendo en el punto de alimentación; constituye un mecanismo de balun inherente. Este tipo de balun se conoce también como balun infinito.

Este tipo de balun infinito, también es utilizado en el modelo a escala de un arreglo de dos antenas helicoidales, bajo el mismo principio detallado anteriormente.

4.4 DETERMINACION EXPERIMENTAL.-

4.4.1 MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA FORMADA POR CUATRO DIPOLOS.-

Una vez que se concluyó con el diseño del modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos, se procedió a construirla y a amarla bajo las condiciones de diseño detalladas en la sección 4.1.1. La antena se construyó en un soporte de madera en forma de cruz, en cada uno de sus cuatro terminales se colocaron los dipolos formados por sus monopolos verticales y horizontales y la línea de acoplamiento.

Por otro lado se tiene un soporte de madera en forma de banco, con un agujero en la mitad por donde pasará un tubo de aluminio de aproximadamente 2 m de largo en el que se colocará el modelo a escala de la antena formada por los cuatro dipolos. El soporte de madera (banco) es de forma circular, el mismo que tiene una circunferencia graduada de 0° a 360° en pasos de 5°. El tubo de aluminio tiene un indicador para señalar el ángulo de giro en el soporte de madera.

Para realizar las medidas de campo eléctrico se utilizó un medidor de señal de las siguientes características:

Marca: LEADER (Leader Electronics Corp. Japan)

Serie No.: 4050112

LFC - 945

Signal Level Meter

El medidor de señal está compuesto por:

- Dos escalas una en voltios y otra en dB, la escala en dB va de -35 a -5 dB en pasos de 5 dB; con un selector para escoger una de las dos escalas. Se ha trabajado con la escala en dB.
- Dos selectores uno para el rango de VHF y otro para el rango de UHF. Como la frecuencia de trabajo en nuestro caso es de 563 MHz, entonces se ha utilizado el selector para UHF.

- Un selector para chequear la carga de la batería.
- Un selector para activar o desactivar el parlante, para escuchar las señales que son recibidas. Se ha trabajado siempre con el parlante activado.
- Un selector de ajuste fino para sintonizar la señal.
- Tres selectores para aumentar el rango de atenuación en pasos de 20 dB.
- Un conector para la señal de entrada de 75 Ω . Es por esta razón que se ha empleado cable coaxial de 75 Ω para que exista el debido acoplamiento entre el aparato de medición y la antena.

PROCEDIMIENTO:

Para la parte práctica se trabajó en la terraza del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica donde se ha realizado el siguiente procedimiento:

1. Para comprobar que el diseño del modelo a escala de la antena con cuatro dipolos trabaja a la frecuencia preestablecida, en el medidor de señal se seleccionó 563 MHz y efectivamente se pudo escuchar a través del parlante la señal emitida por el canal 29 de UHF.
2. Una vez que se ha comprobado que el modelo a escala trabaja a la frecuencia de diseño, se utilizó un generador conectado a su fuente de poder, el mismo que suministra la señal con que se alimentará a una antena Yagui. La señal suministrada por este generador puede variar de 250 a 960 MHz. Se ha escogido la frecuencia de 555 MHz para transmitir la señal a través de la antena Yagui, para que no interfiera con la señal del canal 29 de UHF que trabaja a 563 MHz. Por lo tanto, de aquí en adelante la antena Yagui será la antena transmisora y el modelo a escala de la antena con cuatro dipolos será la antena receptora.
3. Instalando a la antena transmisora horizontalmente, en el un extremo de la terraza; y, en el otro extremo de la terraza el modelo a escala conectado al medidor de señal

(medidor de campo eléctrico), giramos 360° en pasos de 10 ° el modelo a escala y tomamos las medidas correspondientes de campo eléctrico en dB, en dos series diferentes. Con estos datos se realiza un cuadro para cada serie en el que consta lo siguiente:

GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-32	-32	0	4.5	0.59566	0.59566	0
10	0.17453	-31	-30.529	5.3831	3.5	0.66834	0.65819	0.11605
20	0.34906	-30.5	-28.661	-10.432	3	0.70795	0.66525	0.24213
.
.
350	6.10865	-31.8	-31.317	5.52201	4.3	0.60954	0.60028	0.10584
360	6.28318	-32	-32	0	4.5	0.59566	0.59566	0

TABLA 4.1

donde: GRAD = ángulo de giro en grados

RAD = ángulo de giro en radianes

E1(dB) = medida de campo eléctrico (lectura) en dB

E1x (dB) = componente en x de la medida de campo eléctrico

E1y (dB) = componente en y de la medida de campo eléctrico

Er1(dB) = campo eléctrico relativo, calculado de la siguiente forma:

$$Er(dB) = E_{max}(dB) - E_{lectura}(dB)$$

Er1(lin) = campo eléctrico relativo lineal, calculado a partir de la relación:

$$Er(lin) = 10^{(Er(dB))/20}$$

E1x(lin) = componente en x de la medida del campo eléctrico

E1y(lin) = componente en y de la medida del campo eléctrico

El gráfico correspondiente a la configuración de radiación, es un gráfico polar de

E1x(lin) y E1y(lin).

Como las mediciones realizadas son para dos series de datos, finalmente se presenta un cuadro resumen, en el que consta:

Er1(dB)	Er2(dB)	Erav(dB)
4.5	5	4.7
4.5	4	4.2
3.5	3.3	3.4
.	.	.
.	.	.
4	6	4.9
4.3	5	4.6

TABLA 4.2

donde: Er1(dB) = campo eléctrico relativo (primera serie)

Er2(dB) = campo eléctrico relativo (segunda serie)

Erav(dB) = campo eléctrico relativo promedio, calculado de acuerdo con la expresión:

$$Erav(dB) = -20 \log \frac{\sum 10^{\frac{-Er_n}{20}}}{n} \quad (4 - 44)$$

donde n es el número de series (en este caso es 2).

Se ha trabajado con valores relativos, ya que de esta forma resulta más fácil el análisis. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.1-1A, A4.1-1B, A4.1-1C y gráficos A4.1-1B, A4.1-1C.

4. Repetimos el numeral 3, pero cambiando la posición de la antena transmisora, es decir ahora la instalamos verticalmente. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.1-2A, A4.1-2B, A4.1-2C y gráficos A4.1-2B, A4.1-2C.

4.4.2 MODELO A ESCALA DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS FORMADO POR CUATRO DIPOLOS CADA UNA.-

Una vez que se terminó con el diseño y construcción de un modelo más de una antena formada por cuatro dipolos, se procedió a armar el arreglo del modelo a escala de las dos antenas formadas por cuatro dipolos cada una, para realizar las mediciones respectivas. Para ello se utilizó soportes similares a los utilizados y descritos en la sección anterior. De igual forma se ha utilizado el mismo equipo de medición, bajo las condiciones ya descritas.

En esta parte llamaremos arreglo sin codo cuando los dipolos horizontales sean paralelos al plano que contiene el piso de la terraza, en este caso el arreglo es instalado directamente en el tubo de aluminio de 2 m por lo tanto los dipolos horizontales son paralelos al plano que contiene el piso de la terraza. Llamaremos arreglo con codo cuando los dipolos horizontales sean perpendiculares al plano que contiene el piso de la terraza, ya que en este caso el arreglo es instalado en un tubo de aluminio más pequeño y por medio de un codo es ajustado al tubo de aluminio de 2 m de tal manera que los dipolos horizontales quedan perpendiculares al plano que contiene el piso de la terraza. Por otro lado llamaremos al arreglo en fase cuando la entrada de alimentación de la una antena esté conectada a la entrada de la otra antena; y, llamaremos al arreglo desfasado cuando la entrada de alimentación de la una antena esté conectada a la salida de la otra antena.

Con estos antecedentes se describe el siguiente procedimiento.

PROCEDIMIENTO:

1. Para comprobar que el diseño del modelo a escala de un arreglo de antenas formadas por cuatro dipolos cada una trabaja a la frecuencia de diseño, en el medidor de señal se seleccionó 563 MHz y efectivamente se pudo escuchar a través del parlante la señal emitida por el canal 29 de UHF.

2. Una vez que se ha comprobado que el modelo a escala del arreglo trabaja a la frecuencia deseada, se instala la antena transmisora al generador de frecuencia con una señal de 555 MHz , para que de esta manera no interfiera con la señal del canal 29 que trabaja a 563 MHz.
3. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas λ (1 longitud de onda). Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-1A, A4.2-1B, A4.2-1C y gráficos A4.2-1B, A4.2-1C.
4. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, sin codo, con antena transmisora vertical y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-2A, A4.2-2B, A4.2-2C y gráficos A4.2-2B, A4.2-2C.
5. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-3A, A4.2-3B, A4.2-3C y gráficos A4.2-3B, A4.2-3C.
6. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, sin codo, con antena transmisora vertical y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-4A, A4.2-4B, A4.2-4C y gráficos A4.2-4B, A4.2-4C.
7. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-5A, A4.2-5B, A4.2-5C y gráficos A4.2-5B, A4.2-5C.
8. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, con codo, con antena transmisora vertical y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-6A,

A4.2-6B, A4.2-6C y gráficos A4.2-6B, A4.2-6C.

9. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-7A, A4.2-7B, A4.2-7C y gráficos A4.2-7B, A4.2-7C.
10. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, con codo, con antena transmisora vertical y separadas λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-8A, A4.2-8B, A4.2-8C y gráficos A4.2-8B, A4.2-8C.
11. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-9A, A4.2-9B, A4.2-9C y gráficos A4.2-9B, A4.2-9C.
12. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, sin codo, con antena transmisora vertical y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-10A, A4.2-10B, A4.2-10C y gráficos A4.2-10B, A4.2-10C.
13. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, sin codo, con antena transmisora horizontal y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-11A, A4.2-11B, A4.2-11C y gráficos A4.2-11B, A4.2-11C.
14. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, sin codo, con antena transmisora vertical y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-12A, A4.2-12B, A4.2-12C y gráficos A4.2-12B, A4.2-12C.
15. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, con codo, con

antena transmisora horizontal y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-13A, A4.2-13B, A4.2-13C y gráficos A4.2-13B, A4.2-13C.

16. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, en fase, con codo, con antena transmisora vertical y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-14A, A4.2-14B, A4.2-14C y gráficos A4.2-14B, A4.2-14C.
17. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-15A, A4.2-15B, A4.2-15C y gráficos A4.2-15B, A4.2-15C.
18. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para un arreglo de dos antenas, desfasadas, con codo, con antena transmisora vertical y separadas $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.2-16A, A4.2-16B, A4.2-16C y gráficos A4.2-16B, A4.2-16C.

4.4.3 MODELO A ESCALA DE UNA ANTENA HELICOIDAL.-

Una vez terminado el diseño y construcción de un modelo a escala de una antena helicoidal bajo las condiciones de diseño detalladas en la sección 4.1.2, se procedió a realizar las mediciones de campo eléctrico. Cabe anotar que la antena fue montada en estructuras similares a las utilizadas para el modelo de antena a escala formada por cuatro dipolos y también se utilizó los mismos equipos de medición ya descritos anteriormente, de acuerdo con el siguiente procedimiento.

PROCEDIMIENTO:

1. Para comprobar que el diseño del modelo a escala de la antena helicoidal trabaja a la frecuencia de diseño, en el medidor de señal se seleccionó 563 MHz y efectivamente se pudo escuchar a través del parlante la señal emitida por el canal 29 de UHF.

2. Una vez que se ha comprobado que el modelo a escala trabaja a la frecuencia de deseada, se instala la antena transmisora al generador de frecuencia con una señal de 555 MHz , para que de esta manera no interfiera con la señal del canal 29 que trabaja a 563 Mhz.
3. Con la antena transmisora instalada en forma horizontal, repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.3-1A, A4.3-1B, A4.3-1C y gráficos A4.3-1B, A4.3-1C.
4. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para una antena helicoidal con antena transmisora vertical. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.3-2A, A4.3-2B, A4.3-2C y gráficos A4.3-2B, A4.3-2C.

4.4.4 MODELO A ESCALA DE ARREGLO FORMADO POR DOS ANTENAS

HELICOIDALES.-

Finalizado el diseño y construcción de una antena helicoidal más, bajo las condiciones de diseño detalladas en la sección 4.1.2, se procedió a armar el arreglo del modelo a escala de las dos antenas helicoidales, para de esta manera realizar las mediciones de campo eléctrico. Este arreglo de antenas fue montado en las mismas estructuras utilizadas para los modelos anteriores y también se utilizó el mismo equipo de medición ya descrito anteriormente.

En este modelo, al mencionar que las antenas helicoidales están dispuestas transversalmente, significa que están de la siguiente manera, como se indica en la figura 4.28.

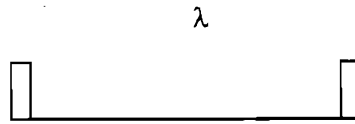


FIG. 4.28

Mencionar que las antenas están dispuestas longitudinalmente, significa que las antenas están como se indica en la figura 4.29.

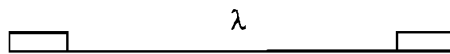


FIG. 4.29

Al mencionar que las antenas están con codo, significa que se ha utilizado una estructura adicional en base a un codo, de tal manera que el arreglo está dispuesto como se indica en la figura 4.30.

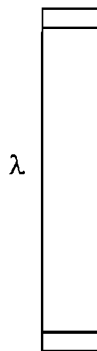


FIG. 4.30

PROCEDIMIENTO:

1. Para comprobar que el diseño del modelo a escala del arreglo de dos antenas helicoidales trabaja a la frecuencia previamente establecida, en el medidor de señal se seleccionó 563 MHz y efectivamente se pudo escuchar a través del parlante la señal emitida por el canal 29 de UHF.

2. Una vez que se ha comprobado que el modelo a escala del arreglo trabaja a la frecuencia deseada, se instala la antena transmisora al generador de frecuencia con una señal de 555 MHz , para que de esta manera no interfiera con la señal del canal 29 que trabaja a 563 MHz.
3. Con la antena transmisora instalada en forma horizontal, repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; en este caso las antenas helicoidales están dispuestas transversalmente y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-1A, A4.4-1B, A4.4-1C y gráficos A4.4-1B, A4.4-1C.
4. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente con antena transmisora vertical y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-2A, A4.4-2B, A4.4-2C y gráficos A4.4-2B, A4.4-2C.
5. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-3A, A4.4-3B, A4.4-3C y gráficos A4.4-3B, A4.4-3C.
6. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente con antena transmisora vertical y separadas una distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-4A, A4.4-4B, A4.4-4C y gráficos A4.4-4B, A4.4-4C.
7. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas longitudinalmente con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-5A, A4.4-5B, A4.4-5C y gráficos A4.4-5B, A4.4-5C.
8. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena

- formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas longitudinalmente con antena transmisora vertical y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-6A, A4.4-6B, A4.4-6C y gráficos A4.4-6B, A4.4-6C.
9. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas longitudinalmente con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-7A, A4.4-7B, A4.4-7C y gráficos A4.4-7B, A4.4-7C.
10. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas longitudinalmente con antena transmisora vertical y separadas una distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-8A, A4.4-8B, A4.4-8C y gráficos A4.4-8B, A4.4-8C.
11. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-9A, A4.4-9B, A4.4-9C y gráficos A4.4-9B, A4.4-9C.
12. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora vertical y separadas una distancia de λ . Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-10A, A4.4-10B, A4.4-10C y gráficos A4.4-10B, A4.4-10C.
13. Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora horizontal y separadas una

distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-11A, A4.4-11B, A4.4-11C y gráficos A4.4-11B, A4.4-11C.

14.Repetimos el numeral 3 del procedimiento para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos; para dos antenas helicoidales dispuestas transversalmente, con codo, con antena transmisora vertical y separadas una distancia de $\lambda/2$. Referirse al anexo No.4, cuadros A4.4-12A, A4.4-12B, A4.4-12C y gráficos A4.4-12B, A4.4-12C.

CAPITULO V

CAPITULO V

5.- DISEÑO DE UNA ANTENA.

En este capítulo se presentará el diseño de una antena de tipo comercial para transmisión con polarización circular cuya frecuencia de trabajo será de 100 MHz. En base a los resultados obtenidos en el capítulo IV, se ha determinado realizar el diseño en base al modelo a escala de la antena formada por cuatro dipolos. Primeramente se presentará el diseño del elemento básico, para luego continuar con el diseño del arreglo, las redes de acoplamiento y balun's. Finalmente se realizará una estimación de costos de lo que implicaría construir una antena de este tipo.

5.1 DISEÑO DEL ELEMENTO BASICO.-

Para el diseño del elemento básico, partiremos del diseño de un modelo a escala de una antena con cuatro dipolos para transmisión con polarización circular, desarrollado en el capítulo anterior en la sección 4.1.1. Para ello se hará uso de una de las herramientas más útiles para los ingenieros de antenas, y es la posibilidad de escalar los diseños.

El escalamiento de los modelos de antenas es una consecuencia directa de la linealidad de las ecuaciones de Maxwell, en las que una estructura electromagnética con determinadas propiedades a una frecuencia de trabajo f , tendrá idénticamente las mismas propiedades a otra frecuencia de trabajo nf , con tal que todas las dimensiones lineales sean escaladas por la relación $1/n$. Así, el diseño de una antena que trabaja en un rango de frecuencias determinado puede trabajar en cualquier otro rango de frecuencias sin tener que rediseñar nuevamente, mientras se cumpla un exacto escalamiento de sus dimensiones.

Muy aparte de la posibilidad de transferir las relaciones de diseño es la habilidad de realizar estudios de configuraciones de radiación en modelos a escala, los mismos que tienen un tamaño conveniente y manejable.

En la mayor parte de antenas, el escalamiento es un asunto muy simple. A continuación se muestra cómo las dimensiones y las propiedades electromagnéticas varían como función del factor de escalamiento:¹³

Calidad	Sistema a escala completo	Sistema modelo
Longitud	L_F	$L_M = L_F/n$
Frecuencia	f_F	$f_M = nf_F$
Constante dieléctrica	ϵ_F	$\epsilon_M = \epsilon_F$
Conductividad	σ_F	$\sigma_M = \sigma_F$
Permeabilidad	μ_F	$\mu_M = \mu_F$

TABLA 5.1

Como se podrá observar que todas las cantidades pueden ser escaladas satisfactoriamente, excepto por la conductividad. La conductividad presenta un problema, debido a que no es constante con respecto a la frecuencia, pero es posible introducir algunos artificios para compensar este fenómeno, uno de ellos constituye limar al material. Si la antena en sus dimensiones completas se la construye en aluminio o cobre, entonces no es posible obtener materiales que tengan conductividades que estén en un orden de magnitud superior. Afortunadamente, pérdidas por conductividad afectan la operación en la mayoría de antenas en un

¹³ JASIK, Henry
Antenna Engineering Handbook
 McGraw Hill, 1ª edición, 1961
 Pag. 2-51

mínimo grado, de esta forma el escalamiento de la conductividad no es usualmente serio. Para muy pocas clases de antenas, como antenas de conductores muy largos, donde las pérdidas de conductividad de la antena y de la tierra juegan un papel importante en las propiedades de radiación de la antena, será necesario proceder con considerable cautela antes de realizar estudios de escalamiento con modelos. Pero este no es nuestro caso.

Mientras sea verdad que un modelo a escala exacto tendrá exactamente las mismas configuraciones de radiación e impedancia de entrada que a escala completa, no siempre es posible obtener un escalamiento perfecto. Esto se produce particularmente en líneas de transmisión. Ligeras discrepancias en el escalamiento afectarán las propiedades de impedancia, más que las propiedades de radiación. Generalmente la tendencia de las características de impedancia se determina en el modelo a escala, pero el acoplamiento de impedancia final se lo puede completar en la antena de escala completa.

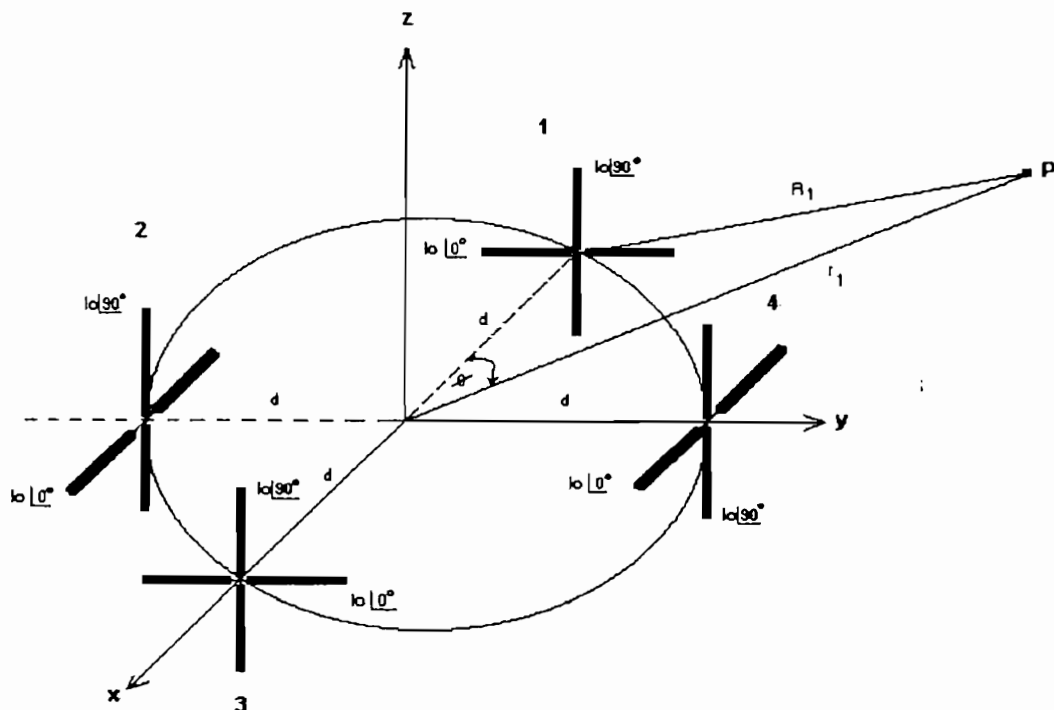


FIG. 5.1

De esta forma, aplicando las características del escalamiento, partamos de la figura 5.1.

Supongamos un punto P lo suficientemente lejano, de tal forma que para grandes valores de r las líneas al punto P son esencialmente paralelas, de tal forma que en general se tiene:

$$R_n = r_n - d \cos(\phi - \phi_n) \quad (5-1)$$

Como los elementos isotrópicos están en el plano xy, como se observa en la figura 5.2:

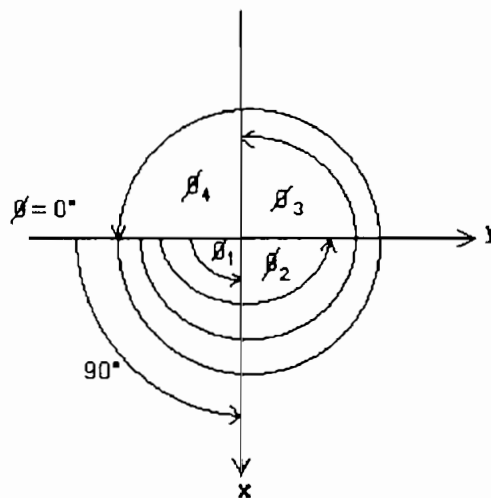


FIG. 5.2

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 0^\circ \\ \phi_2 &= 90^\circ \\ \phi_3 &= 180^\circ \\ \phi_4 &= 270^\circ \end{aligned}$$

El desfase que existe entre todos los elementos es:

α_1 = el desfase del elemento 1 con respecto a sí mismo

α_2 = el desfase entre los elementos 1 y 2

α_3 = el desfase entre los elementos 1 y 3

α_4 = el desfase entre los elementos 1 y 4

Entonces:

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_2 = 0$$

$$\alpha_3 = 0$$

$$\alpha_4 = 0$$

De acuerdo con la tabla 5.1, veamos el valor que tendrá n (factor de escalamiento), si para el modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos, la frecuencia de trabajo es de 563 MHz y la antena que estamos diseñando trabajará a 100 MHz, entonces:

$$\begin{aligned}n &= \frac{f_M}{f_F} \\n &= \frac{563}{100} && (5 - 2) \\n &= 5.63\end{aligned}$$

La distancia d entre el centro del arreglo y cada uno de los elementos es:

$$d = d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = 0.2 n \lambda_M$$

$$d = 0.2 (5.63)(0.5328 \text{ m})$$

$$d = 0.6 \text{ m}$$

$$d = 60 \text{ cm}$$

La constante K , que es la relación entre el campo eléctrico vertical y el campo eléctrico horizontal para que la circularidad no exceda los 2 dB es:

$$K = K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 0.80$$

DESARROLLO PARA UN SOLO ELEMENTO:

1. Frecuencia.-

La frecuencia de trabajo que se ha escogido es 100 MHz por lo tanto:

$$\lambda_M = \frac{300}{f(\text{MHz})} \quad (\text{m}) \qquad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_M}$$

$$\lambda_M = \frac{300}{100}$$

$$\lambda_M = 3 \text{ m} \qquad (5-3)$$

2. Relación de corrientes en base a impedancias para obtener la condición de desfaseamiento de 90°.-

Refiriéndonos a la figura 5.3, tenemos las siguientes relaciones:

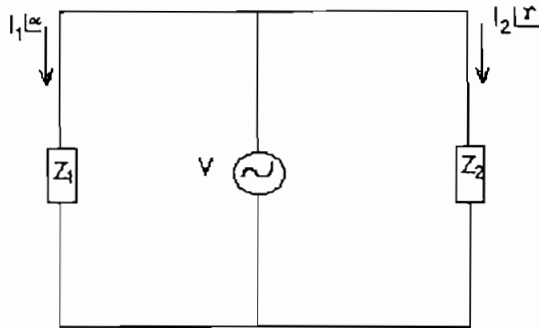


FIG. 5.3

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} \quad I_2 = \frac{V}{Z_2}$$

$$|\alpha - \gamma| = 90^\circ$$

$$I_1 \approx 0.80 I_2$$

$$\frac{V}{Z_1} \approx 0.80 \frac{V}{Z_2} \qquad (5-4)$$

Por lo tanto:

$$\frac{Z_2}{Z_1} \approx 0.80 \quad \text{o} \quad \frac{Z_1}{Z_2} \approx 0.80$$

Pero para el presente diseño se ha tomará la relación:

$$\frac{Z_1}{Z_2} \approx 0.80$$

es decir:

$$\frac{R_1 - jX_1}{R_2 - jX_2} \approx 0.80 \quad \underline{\pm 90^\circ} \quad (5-5)$$

Entonces para los monopolos horizontal y vertical tenemos:

- Características del monopolo horizontal Z_H :

$$Z_0 = 250 \Omega$$

$$Z_H = Z_1 = R_1 - jX_1 = 22.76 - j43.61 \Omega$$

$$\beta_H = 74.80^\circ$$

- Características del monopolo vertical Z_V :

$$Z_0 = 245 \Omega$$

$$Z_V = Z_2 = R_2 + jX_2 = 54.51 + j27.26 \Omega$$

$$\beta_H = 91.16^\circ$$

$$\frac{Z_H}{Z_V} = \frac{R_1 - jX_1}{R_2 + jX_2} = \frac{22.76 - j43.61}{54.51 + j26.27} \approx 0.80 \quad \underline{-89^\circ} \quad (5-6)$$

De esta manera se cumple en forma muy aproximada las relaciones entre el monopolo horizontal y el vertical, tanto en magnitud como en fase.

3. Relación de los campos eléctricos horizontal y vertical.-

En la figura 5.4 supongamos que:

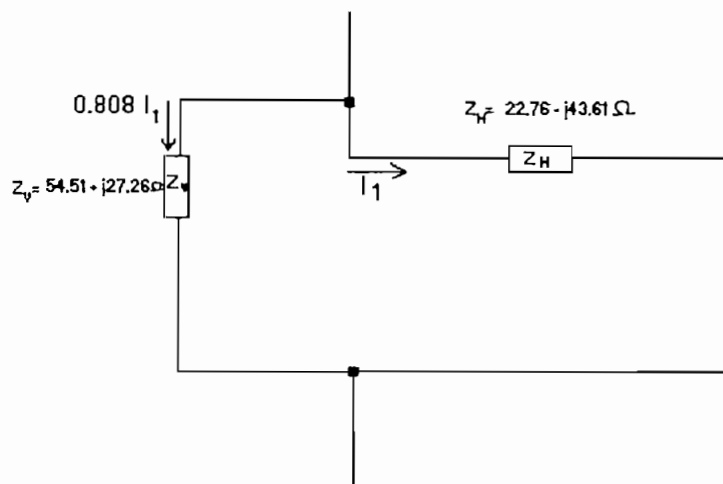


FIG. 5.4

$I_1 = 1$ A, entonces:

$$P_H = (I_1)^2 \cdot (22.76) = 22.76 \text{ w}$$

$$P_V = (0.80I_1)^2 \cdot (54.51) = 34.9 \text{ w}$$

$$E_H = k (22.76)^{1/2} = 4.77 \text{ k}$$

$$E_V = k (34.9)^{1/2} = 5.9 \text{ k}$$

Donde k es simplemente una constante. Entonces para garantizar que la circularidad no exceda los 2 dB:

$$\frac{E_H}{E_V} = 0.808 \quad (5-7)$$

Sea Z_L el paralelo entre Z_V y Z_H , de tal forma que:

$$Z_L = \frac{Z_V \cdot Z_H}{Z_V + Z_H}$$
$$Z_L = 39.75 \text{ } / -23.92^\circ \text{ } \Omega$$
$$Z_L = 34.7 - j15.4 \text{ } \Omega$$

4. Cálculo de la altura de los monopolos.-

En el capítulo IV, en la sección 4.1.1 correspondiente al diseño de un modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos, vimos que las alturas o longitudes correspondientes a los monopolos horizontal y vertical son:

$$\text{monopolo horizontal } H_H = 11.075 \text{ cm}$$

$$\text{monopolo vertical } H_V = 13.496 \text{ cm}$$

Ahora de acuerdo con la tabla 5.1, el escalamiento de las longitudes está dado por la relación:

$$L_M = L_F / n \quad (5-8)$$

donde: L_M = Longitud del modelo a escala

L_F = Longitud a la frecuencia de trabajo (100 MHz)

n = relación de frecuencias = 5.63

Por lo tanto las longitudes o alturas que tendrán los monopolos del presente diseño serán:

monopolo horizontal $H_H = 5.63$ (11.075 cm) = 62.35 cm

monopolo vertical $H_V = 5.63$ (13.496 cm) = 75.98 cm

Ahora corresponde calcular el diámetro de cada uno de los elementos, para lo cual partimos de las siguientes relaciones que ya conocemos:

a) Para el monopolo horizontal:

$$Z_{0AV} = 250 \Omega$$

$$Z_{0AV} = 60 \left[\ln \left(\frac{2H_H}{a_H} \right) - 1 \right]$$

$$\ln \left(\frac{2H_H}{a_H} \right) = \frac{250}{60} + 1$$

$$\frac{2H_H}{a_H} = 175.3243$$

(5 - 9)

$$\frac{H_H}{a_H} = 87.66$$

$$a_H = \frac{H_H}{87.66} \quad H_H = 62.35 \text{ cm}$$

$$a_H = \frac{62.35 \text{ cm}}{87.66}$$

$$a_H = 7.11 \text{ mm}$$

Siendo a_H el radio del monopolo horizontal, por lo tanto su diámetro será:

$$d_H = 2 a_H$$

$$d_H = 2 (7.11 \text{ mm})$$

$$d_H = 14.22 \text{ mm}$$

b) Para el monopolo vertical:

$$\begin{aligned}
Z_{0AV} &= 245 \Omega \\
Z_{0AV} &= 60 \left[\ln \left(\frac{2H_V}{a_V} \right) - 1 \right] \\
\ln \left(\frac{2H_V}{a_V} \right) &= \frac{245}{60} + 1 \\
\frac{2H_V}{a_V} &= 161.31086 \\
\frac{H_V}{a_V} &= 80.65 \\
a_V &= \frac{H_V}{80.65} & H_V &= 75.98 \text{ cm} \\
a_V &= \frac{75.98 \text{ cm}}{80.65} \\
a_V &= 9.42 \text{ mm}
\end{aligned}
\tag{5-10}$$

Siendo a_V el radio del monopolo vertical, por lo tanto su diámetro será:

$$d_V = 2 a_V$$

$$d_V = 2 (9.42 \text{ mm})$$

$$d_V = 18.84 \text{ mm}$$

Los monopolos tanto horizontal como vertical pueden ser contruidos con tubos de aluminio que encontramos en el mercado, para el monopolo horizontal se puede utilizar tubo de aluminio de ½ pulgada de diámetro, es decir de 12.7 mm; y, para el monopolo vertical se puede utilizar tubo de aluminio de ¾ de pulgada de diámetro, es decir de 19.05 mm. En la Empresa CEDAL se averiguó la posibilidad de limar el tubo de aluminio para el monopolo vertical al diámetro requerido, es decir para tener un diámetro de 18.84 mm, lo cual es posible hacerlo para cumplir con las condiciones de diseño. En cuanto al monopolo horizontal tenemos una diferencia de 1.52 mm por defecto, lo cual no afectará las condiciones de diseño en mayor forma.

5.2 DISEÑO DEL ARREGLO.-

A partir del diseño de una de una antena formada por cuatro dipolos; desarrollado en la sección 5.1, podemos diseñar varias antenas con las mismas características y bajo las mismas condiciones, de tal forma de conseguir un arreglo de antenas.

De acuerdo con los resultados obtenidos con el modelo a escala formado por dos antenas de cuatro dipolos cada una, entonces resulta conveniente diseñar una antena más, de idénticas características que la anterior, para así formar un arreglo de dos antenas que estarán conectadas en paralelo a través de la línea de alimentación y un balun. De tal manera de conseguir configuraciones de radiación circularmente polarizadas.

5.3 DISEÑO DE REDES DE ACOPLAMIENTO Y BALUN'S.-

Una vez que se ha diseñado los elementos básicos del arreglo de antenas como son los dipolos horizontales y verticales; detallados en la sección 5.1, se planteará ahora el diseño de las redes de acoplamiento y balun's. En cuanto a las redes de acoplamiento, partiremos del diseño del modelo a escala de una antena formada por cuatro dipolos, detallado en el capítulo IV, sección 4.1.1.

1. Cálculo de la longitud de línea que se necesita para acoplar la carga Z_L con una línea de $\lambda/8$.-

Refiriéndonos a la figura 5.5, tenemos que acoplar la impedancia de carga Z_L al equipo de transmisión. l es una línea menor a $\lambda/4$, la misma que luego es acoplada a una línea de $\lambda/8$. La ventaja de este método de acoplamiento, es que la línea de $\lambda/8$ trabaja de tal manera que a la salida se obtiene únicamente parte real.

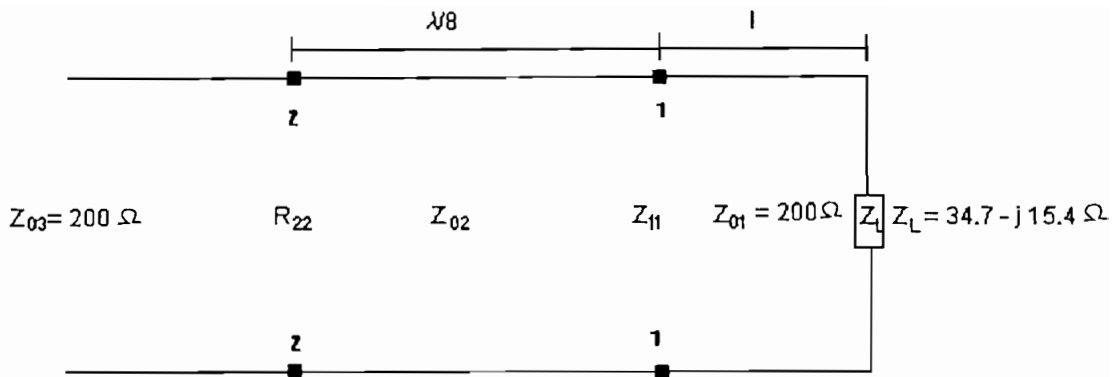


FIG. 5.5

La impedancia de carga Z_L es la impedancia resultante del paralelo formado por las impedancias de los dipolos horizontal y vertical, de tal forma que:

$$Z_L = 34.7 - j15.4 \Omega$$

Z_{03} es la impedancia característica del último tramo de la línea e igual a 200Ω . Z_{01} es la impedancia característica de la línea de longitud l menor a $\lambda/4$, e igual a 200Ω .

Partiendo de estos valores, se obtuvieron los siguientes resultados en la carta de Smith de la figura 3.22 (capítulo 3):

$$Z_{01} = 200 \Omega$$

$$z_L = \frac{Z_L}{Z_{01}}$$

$$z_L = 0.1735 - j0.0077$$

donde z_L es la impedancia de carga normalizada, la misma que después de localizada en la carta de Smith, trazamos una semicircunferencia de radio constante en la parte superior de la carta, puesto que nos interesa que la longitud de la línea en este tramo sea menor que $\lambda/4$. Pero ahora tenemos dos posibilidades, la primera es considerar una línea para cada elemento; y, la segunda considerando una línea en paralelo con los cuatro elementos de la figura 5.1, pero en ambos casos la idea es tener 200Ω a la salida (Z_{03}).

a) Considerando una línea para cada elemento:

En la carta de Smith de la figura 3.22 (capítulo 3), los valores que más se ajustan a las condiciones preestablecidas para Z_{11} , Z_{02} y R_{22} son:

$$\begin{aligned}z_{11} &= 0.182 + j0.28 & l &= 0.0561\lambda \\Z_{11} &= z_{11} Z_{01} \\Z_{11} &= 36.4 + j56 \Omega\end{aligned}$$

donde z_{11} es la impedancia normalizada entre los puntos 1-1, Z_{11} es la impedancia entre los puntos 1-1 y l es la longitud de la línea en este tramo como función de λ , menor a $\lambda/4$.

Z_{02} es la impedancia característica de la línea de $\lambda/8$, la misma que está dada por la expresión (3 – 38):

$$\begin{aligned}Z_{02} &= \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \\Z_{02} &= \sqrt{36.4^2 + 56^2} & (5 - 11) \\Z_{02} &= 66.8 \Omega\end{aligned}$$

R_{22} es la resistencia de salida de la línea de $\lambda/8$, la misma que calculamos de la expresión (3 – 39):

$$\begin{aligned}R_{22} &= \frac{2 Z_{02}^2 R_L}{(Z_{02} - X_L)^2 + R_L^2} \\R_{22} &= \frac{2(66.8)^2(36.4)}{(66.8 - 56)^2 + 36.4^2} & (5 - 12) \\R_{22} &= 225.34 \Omega\end{aligned}$$

De esta forma R_{22} es aproximadamente igual a Z_{03} .

b) Considerando una línea en paralelo con los cuatro elementos:

En la carta de Smith de la figura 5.6, los valores que más se ajustan a las condiciones preestablecidas para Z_{11} , Z_{02} y R_{22} son:

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

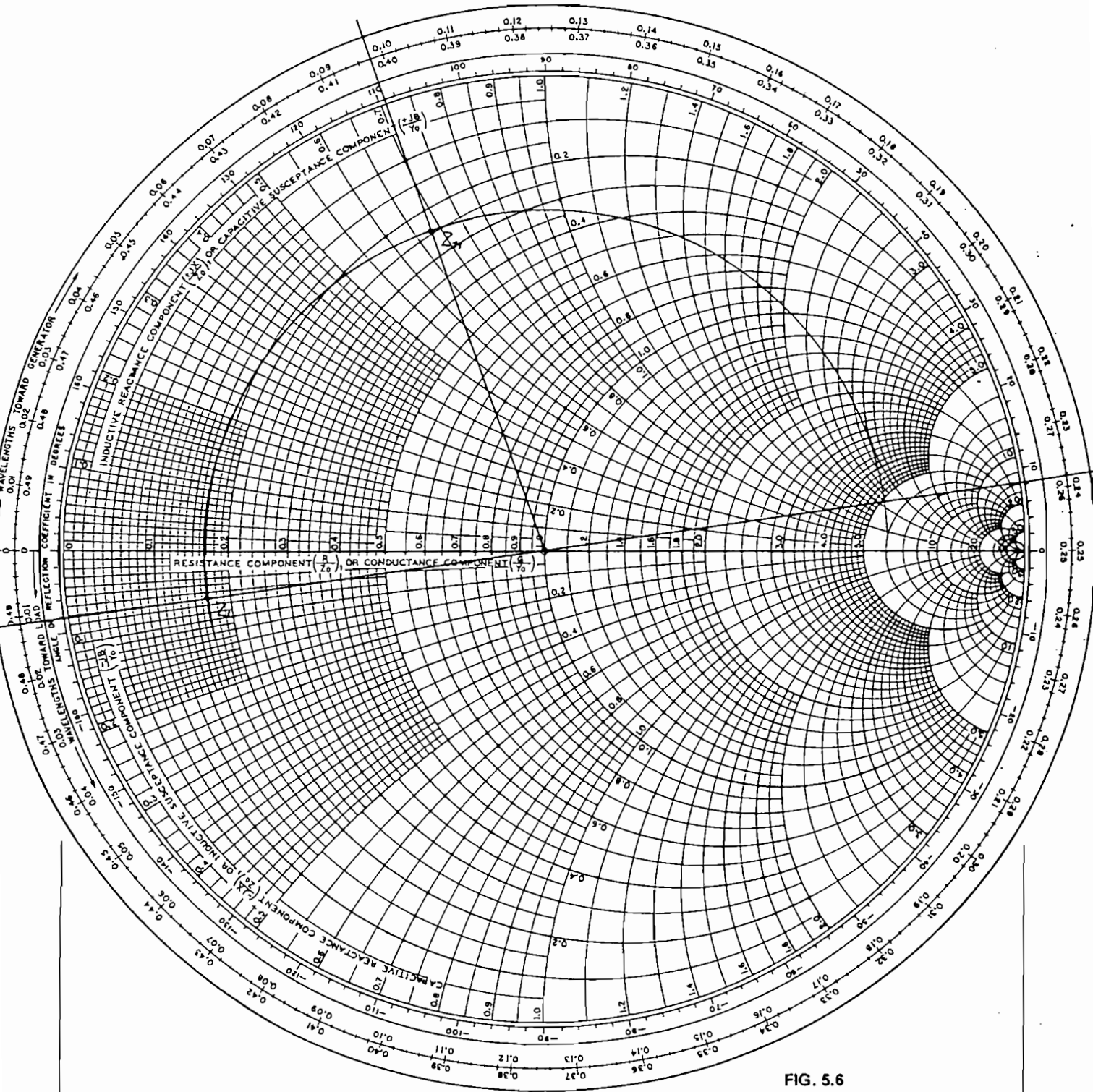
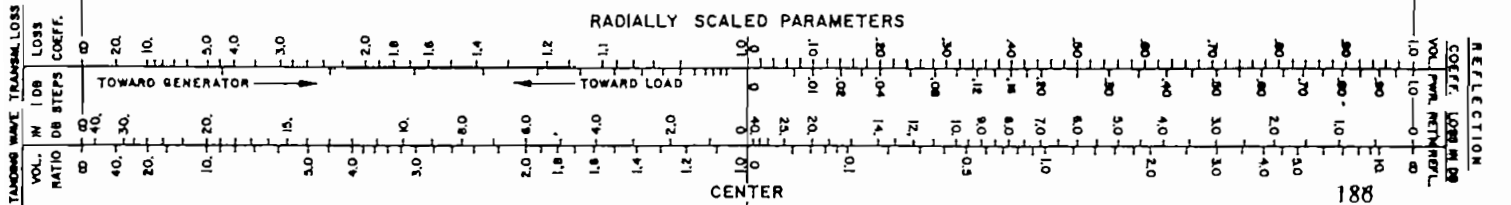


FIG. 5.6



$$z_{11} = 0.25 + j0.68 \quad l = 0.11\lambda$$

$$Z_{11} = z_{11}Z_{01}$$

$$Z_{11} = 50 + j136 \Omega$$

donde z_{11} es la impedancia normalizada entre los puntos 1-1, Z_{11} es la impedancia entre los puntos 1-1 y l es la longitud de la línea en este tramo como función de λ , menor a $\lambda/4$. Z_{02} es la impedancia característica de la línea de $\lambda/8$, la misma que está dada por la expresión (3 – 38):

$$Z_{02} = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

$$Z_{02} = \sqrt{50^2 + 136^2} \quad (5 - 13)$$

$$Z_{02} = 145 \Omega$$

R_{22} es la resistencia de salida de la línea de $\lambda/8$, la misma que calculamos de la expresión (3 – 39):

$$R_{22} = \frac{2Z_{02}^2 R_L}{(Z_{02} - X_L)^2 + R_L^2}$$

$$R_{22} = \frac{2(145)^2 (50)}{(145 - 136)^2 + 50^2} \quad (5 - 14)$$

$$R_{22} = 814.6 \Omega$$

De esta forma R_{22} es aproximadamente igual a Z_{03} considerando que los 4 elementos de la figura 5.1 están en paralelo.

De estas dos posibilidades analizadas, para el diseño escogeremos la segunda, es decir considerando que los 4 elementos de la figura 5.1 están en paralelo.

2. Relación de distancia entre los tubos de aluminio y diámetro de los mismos.-

Para calcular la relación que existe entre la distancia de separación entre los tubos de aluminio y el diámetro de los mismos, partimos de la siguiente relación, de acuerdo con la figura 5.7:

$$Z_0 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (5 - 15)$$

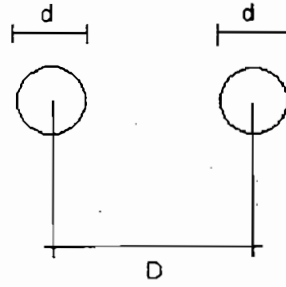


FIG. 5.7

La longitud de línea l, de acuerdo con la figura 5.5; que se necesita para acoplar la carga Z_L con la línea de $\lambda/8$ es $l = 0.11 \lambda$ (menor a $\lambda/4$), y la impedancia característica de este tramo es $Z_{01} = 200 \Omega$, entonces:

$$Z_0 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$200 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$\frac{D}{d} = \cosh \left(\frac{200}{120} \right)$$

$$\frac{D}{d} = 2.742 \quad (5 - 16)$$

Como este tramo de línea de acoplamiento corresponde a la misma línea de los monopolos verticales, cuyo diámetro del tubo de aluminio es de 18.84 mm, entonces la distancia de separación en esta parte será:

$$D = 2.742 (18.84 \text{ mm})$$

$$D = 5.16 \text{ cm}$$

Ahora, la línea de $\lambda/8$, corresponde también a la misma línea de los monopolos verticales, cuya impedancia característica es $Z_{0H} = 245 \Omega$, por lo tanto:

$$Z_{0H} = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$245 = 120 \cosh^{-1} \left(\frac{D}{d} \right)$$

$$\frac{D}{d} = \cosh \left(\frac{245}{120} \right) \quad (5 - 17)$$

$$\frac{D}{d} = 3.917$$

$$D = 3.917 (18.84 \text{ mm})$$

$$D = 7.37 \text{ cm}$$

De esta manera, toda esta parte del acoplamiento se realizará con tubo de aluminio de $\frac{3}{4}$ de pulgada, respetando la relación D/d en cada uno de los tramos.

Los monopolos horizontales pueden ir soldados o sujetos con remaches a las L's que forman los monopolos verticales y las líneas de acoplamiento para finalmente tener una impedancia característica Z_{03} de 200Ω en cada uno de los elementos, como se muestra en la figura 5.8.

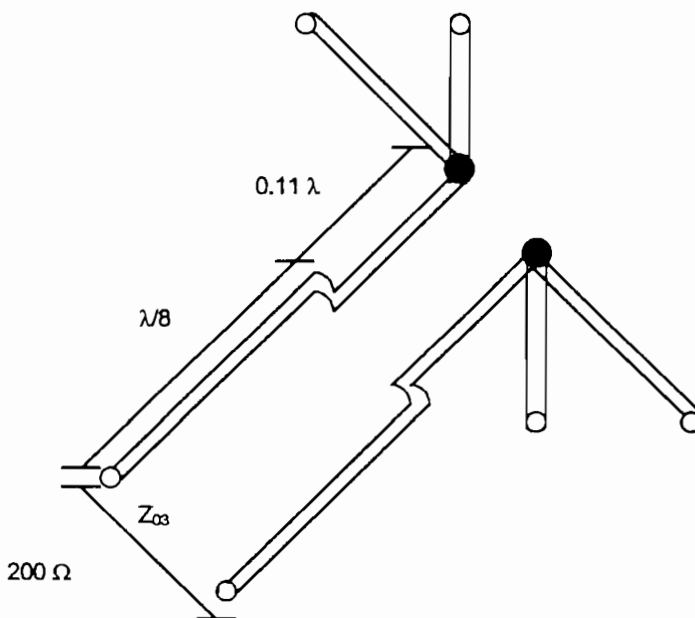


FIG. 5.8

Las longitudes de los tramos de las líneas de acoplamiento en cm son las siguientes:

$$0.11 \lambda = (0.11)(3 \text{ m})$$

$$= 0.33 \text{ m}$$

$$= 33 \text{ cm}$$

$$\lambda/8 = (0.125)(3 \text{ m})$$

$$= 0.375 \text{ m}$$

$$= 37.5 \text{ cm}$$

Para efectos de construcción de las antenas; se ha pensado, basados en el hecho de que los monopolos verticales y las líneas de acoplamiento $l < \lambda/4$ y la línea de $\lambda/8$ serán construidas con el mismo tubo de aluminio de $\frac{3}{4}$ de pulgada, entonces esta sección puede estar formada por una sola pieza, haciendo los dobleces necesarios para dar la forma del diseño. Además, como es necesario unir los monopolos (de acuerdo al diseño) para que sean alimentados al equipo de transmisión, es posible utilizar una pequeña sección del mismo tubo de aluminio ($\frac{3}{4}$ de pulgada), como punto de alimentación, de tal manera de formar dos monopolos verticales con sus respectivas líneas de acoplamiento a partir de una sola pieza (tubo de aluminio).

A continuación se presentarán las longitudes de cada tramo, para de esta manera realizar los cálculos correspondientes para determinar la longitud de tubo de aluminio de $\frac{3}{4}$ de pulgada:

$$\text{longitud del monopolo vertical} = 2 \times 75.98 \text{ cm}$$

$$\text{línea de acoplamiento } l < \lambda/4 = 2 \times 33 \text{ cm}$$

$$\text{línea de acoplamiento de } \lambda/8 = 2 \times 37.5 \text{ cm}$$

$$\text{longitud de la sección para alimentación } l = 10 \text{ cm}$$

Se multiplica por dos (2), la longitud del monopolo vertical y cada una de las líneas de acoplamiento ya que como se explicó anteriormente, de una sola pieza de tubo de

aluminio se formarán dos monopolos.

$$\text{longitud total} = 302.96 \text{ cm} = 3.0296 \text{ m}$$

En el mercado cada tubo de aluminio tiene una longitud de 6.40 m, por lo tanto para los monopolos verticales con sus líneas de acoplamiento y de alimentación se podrán formar de un sólo tubo dos pares de monopolos verticales, cada par interconectado entre sí a través de sus líneas de acoplamiento y la línea de alimentación de acuerdo con la figura 5.9. Los monopolos horizontales, como ya se mencionó anteriormente irán soldados o sujetos con remaches a los monopolos verticales. De acuerdo con este diseño, no es necesario pensar en un soporte para los dipolos ya que la misma configuración tal como se la ha planteado sirve de soporte. Así se tiene ya una antena formada por cuatro dipolos. De igual manera se procederá para la construcción de la otra antena para configurar el arreglo de dos antenas con cuatro dipolos cada una.

Una vez que se ha concluido la construcción de las dos antenas, éstas irán en un soporte de aluminio de forma cuadrangular. Este soporte no necesariamente debe ser de aluminio, podría ser de cualquier otro material. Las antenas irán sujetas al soporte mediante abrazaderas.

Debido a que la antena así diseñada es balanceada, es decir de construcción simétrica con respecto al punto de alimentación, se hace necesario el diseño de un balun. Por otra parte, normalmente las señales captadas por la antena son muy débiles, de tal forma que es importante transferirlas de la antena al receptor o transferirlas del transmisor a la antena con la mínima pérdida de energía; lo cual significa que la adaptación de impedancia entre la antena y la línea de transmisión debe ser óptima.

A más de las consideraciones de adaptación de la impedancia verdadera de la antena en el punto de alimentación con la impedancia característica de la línea (si tal adaptación se hace necesaria), toda antena balanceada debe ser alimentada por una línea de transmisión también balanceada, para de esta manera mantener la simetría con respecto

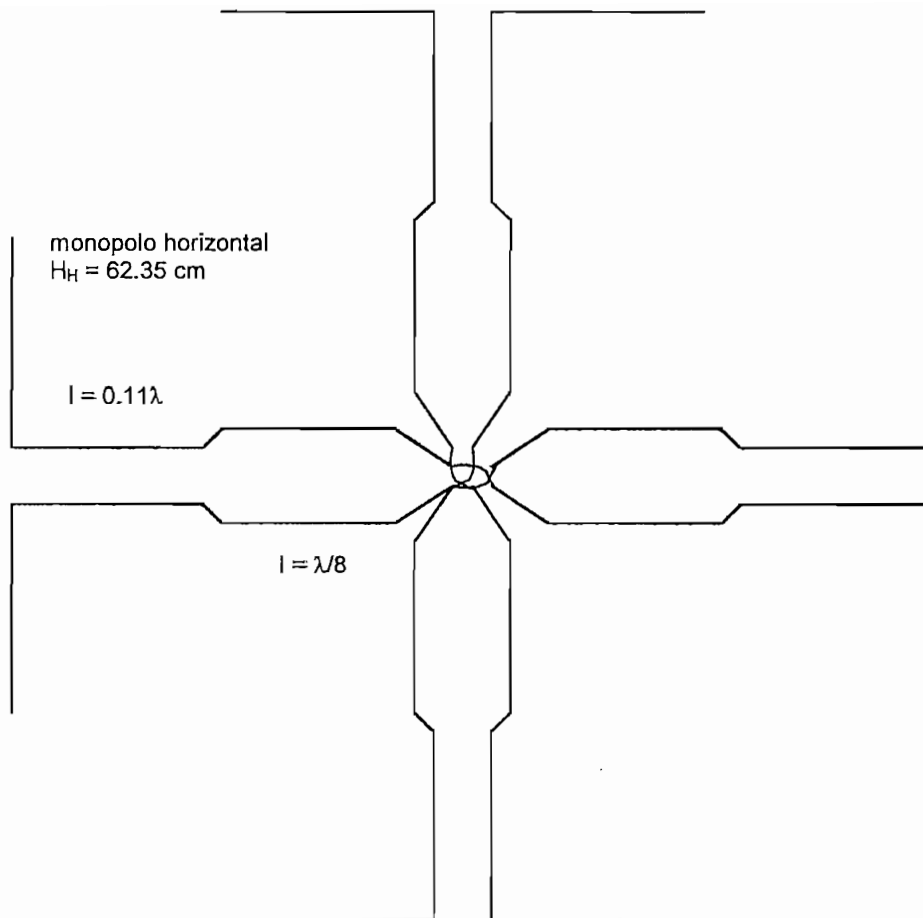


FIG. 5.9 Vista superior de la antena formada por cuatro dipolos

a tierra y evitar dificultades que nacen de la presencia de corrientes no balanceadas en la línea, y la consiguiente radiación indeseada de la misma línea de transmisión.

Frecuentemente una antena es alimentada mediante cable coaxial; como es el caso del presente diseño, y el cable coaxial es una línea de transmisión inherentemente desbalanceado, por lo que es necesario recurrir a algún método adecuado para conectar la línea a la antena sin alterar la simetría de ésta última. Lo que exige un circuito capaz de separar la carga balanceada de la línea no balanceada y de permitir al mismo tiempo, la transferencia eficaz de la potencia.

Por lo tanto, el balun que se requerirá para el presente diseño estará formado por dos conectores tipo N, a cada uno de los cuales irá conectada la señal de la antena. Entre los dos conectores se colocará una sección de cable coaxial de $\lambda/2$. De estos dos conectores, será uno el que lleve la señal a un tercer conector tipo N, el mismo que irá conectado al balun de la otra antena. Los dos balun's estarán conectados entre sí a través de otro conector tipo N en forma de T a donde llegará la alimentación del transmisor. El balun de cada una de las antenas puede ir dentro de una caja o cajetín que será instalado en el centro del arreglo de cada antena formada por los cuatro dipolos. En la figura 5.10 se puede apreciar la conexión entre los conectores tipo N para formar el balun.

Por otra parte, la separación de las dos antenas será de $\lambda/2$, es decir de 1.5 m; que corresponden a configuraciones de radiación del modelo de mejores características.

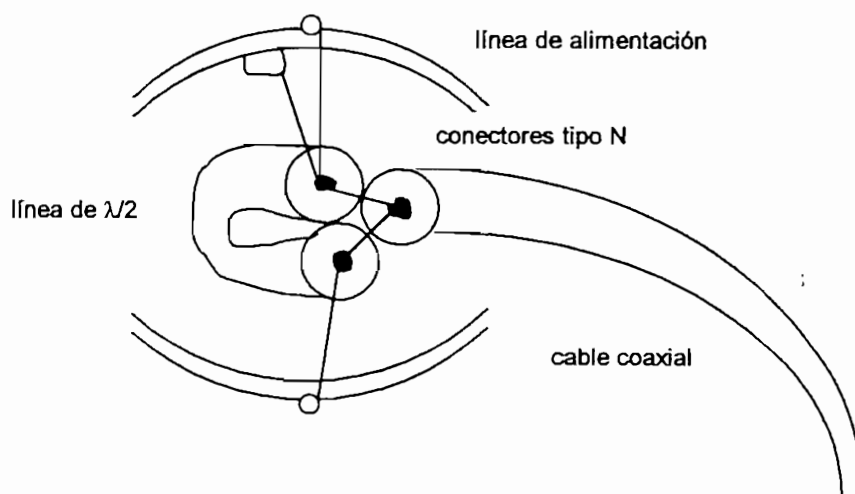


FIG.5.10

5.4 ESTIMACION DE COSTOS.-

A continuación, en la tabla 5.2 se presenta una lista detallada de cada uno de los materiales que serán utilizados para la construcción del arreglo formado por dos antenas de cuatro dipolos cada una, de tal manera de obtener un valor estimativo y referencial de su costo total.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO (Suces)
1	Tubo de aluminio de $\frac{3}{4}$ "	4	109.160,00
2	Tubo de aluminio de $\frac{1}{2}$ "	2	58.200,00
3	Tubo de aluminio cuadr. $\frac{7}{8}$ "	1	35.000,00
4	Abrazaderas	6	10.000,00
5	Remaches	40	10.000,00
6	Cajetin	2	6.000,00
7	Conectores tipo N	6	35.000,00
8	Conectores tipo N (forma T)	1	6.500,00
9	Cable coaxial	20 m	90.000,00
10	Mano de obra	—	300.000,00
11	Varios	—	100.000,00
TOTAL:			S/. 759.860,00

TABLA 5.2

Se observa entonces que el costo total del diseño y construcción del arreglo de dos antenas formadas por cuatro dipolos cada una, asciende a setecientos cincuenta y nueve mil ocho cientos sesenta suces (S/. 759.860,00).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en las diversas pruebas experimentales realizadas con los modelos de antenas a escala, a lo largo de todo este proceso de investigación que ha constituido la elaboración del presente trabajo de tesis, es posible puntualizar las siguientes conclusiones:

- La observación y evaluación del Patrón de Onda Estacionaria constituye uno de los medios más adecuados para conocer el valor de SWR, parámetro que permite determinar las principales características de líneas de transmisión en alta frecuencia, tales como:

- impedancia característica Z_0
- atenuación α
- constante de fase β
- velocidad de propagación K_v

entre otras. Para lo cual resulta de mucha utilidad el programa desarrollado en lenguaje C a través del programa **BORLAN C++ ver. 3.00**, ya que en la parte inicial del presente trabajo de tesis nos permitió calcular las características del cable coaxial con el cual se trabajó en la parte experimental.

- En alta frecuencia la realización de trabajos experimentales a nivel de diseño y construcción, presenta muchas dificultades que no son usuales cuando este trabajo se lo realiza en baja frecuencia. Tal es el caso de los fenómenos de radiación e interferencia que en alta frecuencia son considerablemente significativos y en muchas ocasiones perjudiciales, de tal manera que el trabajo de diseño necesariamente debe ir acompañado de un proceso de compensación o eliminación de estos factores

adversos presentes sólo en alta frecuencia. Por esta razón, el trabajo de diseño en alta frecuencia constituye en sí mismo un trabajo mucho más elaborado.

- El diseño y construcción de los modelos a escala parecería ser a simple vista, sencillo y fácil. Sin embargo debido a las condiciones del diseño que se deben cumplir tanto eléctricas como mecánicas, este proceso de diseño y construcción de los modelos a escala se complicó y tomó mucho más tiempo del esperado para su ejecución. Tal es el caso de la determinación de la impedancia característica que deben cumplir los monopolos, para lo cual fue necesario elaborar previamente un programa en **QUICK BASIC** que nos permita determinar gráficamente las partes real e imaginaria de la impedancia de una antena, analizar los diferentes gráficos obtenidos, realizar los cálculos necesarios y escoger los modelos de mejores características para la construcción. Así también, se elaboraron otros programas en **QUICK BASIC** para determinar gráficamente los módulos de los campos eléctricos total, horizontal y vertical de tal manera que se cumpla la condición de circularidad para que no exceda los 2 dB. De esta forma se realizaron varios análisis para determinar la respuesta más óptima de los diseños de los modelos a escala.

- El proceso de diseño y construcción de los diferentes modelos de antenas a escala podríamos dividirlos en dos etapas. La primera está relacionada con el análisis matemático de los monopolos básicos que forman la antena, lo cual hace referencia al cálculo y determinación de las dimensiones físicas que debe tener la misma para que permita obtener las configuraciones de radiación correspondientes a polarización circular.

La segunda etapa corresponde a su construcción; y, se relaciona con la ejecución misma en la práctica, la que deberá cumplir con las condiciones de diseño y una serie de exigencias de orden mecánico y eléctrico para obtener las configuraciones

de radiación esperadas.

- En cuanto a la parte práctica, se presentaron algunas dificultades debido a las limitaciones de los equipos de medición. Ya que una vez realizadas las diferentes mediciones, los resultados no eran los esperados; por lo que fue necesario realizar una misma práctica repetidas ocasiones hasta llegar a obtener los resultados esperados, lo cual se consiguió mediante calibraciones constantes de los equipos de medición; y, variando algunas condiciones como la posición de las antenas tanto transmisora como receptora, separación de las antenas transmisora y receptora, distancia de separación entre las antenas transmisoras (modelos a escala), desfaseamiento, etc. Incluso en varias ocasiones las condiciones climáticas afectaron una buena recopilación de datos, uno de estos factores fue el viento.

Por otro lado, también fue necesario buscar otras alternativas de medición de los parámetros deseados, para así cumplir con los objetivos de este trabajo de tesis.

- Luego de un sin número de mediciones y bajo varias condiciones de diseño, se obtuvieron los diagramas de radiación, los mismos que luego del análisis respectivo, se ha escogido a aquellos que presentan mejores características con respecto a la polarización circular. Estos diagramas corresponden a los presentados en el anexo No. 4 y el análisis correspondiente se ha descrito en el capítulo IV, sección 4.2. De hecho, como en todo trabajo experimental, no todos los resultados obtenidos son los esperados, es por ello que se ha presentado gráficamente a los mejores diagramas correspondientes a los datos más confiables.
- Es importante señalar que una vez que se realizaron todas las mediciones para los modelos a escala de las antenas formadas por dipolos, se realizó también un análisis para el modelo de una antena helicoidal y luego para el modelo de un arreglo de dos

antenas helicoidales. En ambos casos se tomaron también mediciones variando algunas condiciones como la distancia de separación de las antenas, la orientación, etc., en forma similar a lo que se realizó con los modelos a escala formados por las antenas de dipolos. Los resultados obtenidos son buenos, como se puede observar en los diagramas de radiación correspondientes, en el anexo No. 4 Pero realmente mejores resultados se obtuvieron con los modelos a escala de las antenas formadas por dipolos.

- Como ya se mencionó anteriormente, el modelo que presenta mejores características es el formado por las antenas de dipolos, es por ello que se ha diseñado una antena de tipo comercial basada en los resultados experimentales obtenidos. Esto se lo ha podido realizar en una forma realmente sencilla, basados en el escalamiento de los parámetros, debido a la linealidad de las ecuaciones de Maxwell. Debido a esta característica de linealidad, el diseño de una antena que trabaja en un rango de frecuencias determinado puede trabajar en cualquier otro rango de frecuencias sin tener que rediseñar nuevamente, mientras se cumpla un exacto escalamiento de sus dimensiones. Aparte de cumplir y transferir las relaciones de diseño constituye la posibilidad de realizar estudios de configuraciones de radiación en modelos a escala, los mismos que tienen un tamaño conveniente y manejable como resultó ser en este caso.

- Es importante señalar que el diseño presentado en el capítulo V, para un arreglo de dos antenas de tipo comercial formado por cuatro dipolos cada una, sirve de base para la construcción misma. Puesto que luego de su construcción será necesario realizar ciertos ajustes necesarios para obtener las características de diseño preestablecidas, como sucede con cualquier trabajo de tipo experimental que teóricamente se cumplen todas y cada una de las condiciones, pero ya en la práctica

es necesario realizar pequeños ajustes o cambios que se requieran para conseguir los objetivos planteados.

- Por otro lado vale la pena recalcar que un tipo particular de antena seleccionado para determinada aplicación depende de los requerimientos del sistema, tanto eléctricos como mecánicos; como también de la experiencia del diseñador.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Una vez que se ha cumplido con los objetivos planteados inicialmente para la elaboración del presente trabajo de tesis, luego de haber enfrentado y resuelto una serie de inconvenientes tanto en la determinación de los modelos matemáticos, como en la parte práctica con los modelos a escala, se puede recomendar algunas modificaciones para optimizar el diseño de la antena de tipo comercial.

Entre estas recomendaciones se pueden citar las siguientes:

- En la parte experimental, con el modelo a escala del arreglo formado por dos antenas de cuatro dipolos cada una, también se tomaron datos para un modelo de arreglo formado por cuatro antenas de cuatro dipolos cada una, pero los resultados no fueron los esperados, a pesar de que se varió la distancia de separación entre los modelos (λ , $\lambda/2$), se varió la distancia de separación entre antenas transmisora y receptora, se cambió la orientación de las diferentes antenas, entre otros. Sería recomendable analizar con mayor profundidad y realizar la construcción de un arreglo formado por más de dos antenas, ya que teóricamente mientras más elementos tenga la antena, la transmisión/ recepción será mejor, e ir variando la distancia de separación entre ellas para hacer un análisis de los resultados que se obtengan y escoger el arreglo de características más confiables.

- Otra situación que se podría analizar es la posibilidad de dar a cada uno de los monopolos del arreglo de antenas un cierto ángulo de curvatura, para obtener mejores configuraciones de radiación. Esto recomiendan en algunos estudios realizados con anterioridad, y que se encuentran publicados en revistas y libros técnicos y que han sido satisfactoriamente probados con resultados positivos.

- Se podría incorporar a la base del soporte del arreglo de antenas un motor que permita cambiar la orientación automática del mismo, de tal manera de garantizar que la transmisión/ recepción se realice en mejores condiciones.

- Por otro lado es posible también realizar el diseño de un arreglo de antenas formado por antenas helicoidales, realizando un procedimiento de escalamiento similar al que nos ha permitido llegar al diseño del arreglo formado por dos antenas de cuatro dipolos cada una. Variando en igual forma la distancia de separación entre ellas, la orientación, etc.

ANEXOS

ANEXO No. 1

ANEXO No. 1

1.1 PROGRAMA PARA CALCULAR LA IMPEDANCIA CARACTERISTICA Z_0 DE UN CABLE COAXIAL Y LA IMPEDANCIA DE UN DIPOLO DOBLADO

El siguiente programa nos ayuda a calcular las características del cable coaxial. El programa está hecho en lenguaje C a través del paquete **BORLAN C++ ver. 3.00**. Debido a que este paquete trabaja automáticamente con números complejos fue de gran ayuda ya que todos los cálculos que se deben realizar para determinar las características del cable coaxial son en base a operaciones con números complejos. El programa está dividido en cuatro opciones. Para esta primera parte explicaré las tres primeras opciones. Para ingresar al programa se ingresará al directorio **COAXIAL** del diskette adjunto y se ejecutará el archivo **PROGRAMA.EXE** que es el archivo ejecutable.

1.- Cálculo de la impedancia característica (Z_0) del cable coaxial (Opción 1).

En esta parte el programa evalúa el valor de la impedancia que presenta el cable coaxial en circuito abierto y en cortocircuito, para lo cual evalúa las siguientes fórmulas:

$$\lambda_0 = \frac{300}{f(\text{MHz})} (m) \quad (1-1)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (\text{rad/m}) \quad (1-2)$$

Con esto evalúa la fórmula de la impedancia que presenta el cable en circuito abierto:

a) Si se ha tomado la distancia d_1 :

$$Z_{ca} = Z_0 \frac{1 + jS \operatorname{tg}(\beta d_1)}{S + j \operatorname{tg}(\beta d_1)} \quad (1-3)$$

b) Si se ha tomado la distancia d_2 :

$$Z_{ca} = Z_0 \frac{1 - jS \operatorname{tg}(\beta d_2)}{S - j \operatorname{tg}(\beta d_2)} \quad (1-4)$$

Luego se determina la impedancia que presenta el cable en cortocircuito:

a) Si se ha tomado la distancia d_1 :

$$Z_{cc} = Z_0 \frac{1 + jS \operatorname{tg}(\beta d_1)}{S + j \operatorname{tg}(\beta d_1)} \quad (1-5)$$

b) Si se ha tomado la distancia d_2 :

$$Z_{cc} = Z_0 \frac{1 - jS \operatorname{tg}(\beta d_2)}{S - j \operatorname{tg}(\beta d_2)} \quad (1-6)$$

Una vez que se ha calculado las impedancias de circuito abierto y de cortocircuito respectivamente se procede a evaluar la fórmula de la impedancia característica (Z_0) del cable:

$$Z_0^2 = Z_{ca} \cdot Z_{cc} \quad (1-7)$$

La **opción 1** en pantalla se presenta de la siguiente manera:

Cálculo de Z_{ca} :

Valor de Z_0 : Parte real =

Parte imaginaria =

(Este Z_0 representa la impedancia característica de la línea ranurada, que en este caso es 50Ω de parte real y 0Ω de parte imaginaria).

Valor de S :

(El valor de S deberá darse en valor absoluto)

Valor de frecuencia:

(El valor de frecuencia deberá darse en MHz)

Valor de la distancia d_1 :

(Si se ha tomado en las mediciones d_1 (m), de lo contrario se pondrá cero (0) en la entrada de datos).

Valor de la distancia d_2 :

(Si se ha tomado en las mediciones d_2 (m), de lo contrario se pondrá cero (0) en la entrada de datos).

Calculo de Z_{cc} :

Valor de S:

(El valor de S deberá darse en valor absoluto)

Valor de la distancia d_1 :

(Si se ha tomado en las mediciones d_1 (m), de lo contrario se pondrá cero (0) en la entrada de datos).

Valor de la distancia d_2 :

(Si se ha tomado en las mediciones d_2 (m), de lo contrario se pondrá cero (0) en la entrada de datos).

(Seguidamente se obtendrán los resultados)

Resultado Z_{ca} :

$$Z_{car} = \qquad \qquad \qquad Z_{cai} =$$

(Se obtiene el resultado de Z_{ca} en parte real y en parte imaginaria).

Resultado de Z_{cc} :

$$Z_{ccr} = \qquad \qquad \qquad Z_{cc_i} =$$

(Se obtiene el resultado de Z_{cc} en parte real y en parte imaginaria).

Resultado de Z_{oreal} :

$$Z_{or} = \qquad \qquad \qquad Z_{oi} =$$

(Se obtiene el resultado de la impedancia característica Z_o del cable coaxial en parte real e imaginaria)

2.- Cálculo de la atenuación α del cable coaxial (Opción 2).

Cabe destacar que a la **opción 2** del menú principal no se puede entrar sin antes haber pasado por la **opción 1**, ya que los datos ingresados y calculados en esta parte sirven para los resultados que serán obtenidos en la **opción 2**. En esta parte se usan las siguientes relaciones:

$$u = \operatorname{tgh}(\Gamma l) = \frac{Z_{cc}}{Z_0} \quad (1-8)$$

$$M = \frac{1+u}{1-u} \quad (1-9)$$

$$\alpha = \frac{1}{2l} \ln M(Np/m) \quad (1-10)$$

$$\alpha_{db} = \frac{20 \alpha_{Np}}{\ln 10} (db/m) \quad (1-11)$$

siendo $\Gamma = \alpha + j\beta$

La **opción 2** en pantalla se presenta de la siguiente manera:

longitud del cable =

(Se debe ingresar la longitud del cable en metros)

Alfa en Np/m =

(Da el valor de la atenuación en Np/m)

Alfa en decibelios/m =

(Da el valor de la atenuación en dB/m)

3.- Cálculo de β y del coeficiente de velocidad K_v (Opción 3).

Al igual que en la opción anterior, a la **opción 3** no se puede ingresar sin antes haber pasado por las **opciones 1 y 2**, ya que los valores ingresados y calculados en éstas sirven para calcular β y K_v . En esta parte se han empleado las siguientes relaciones:

$$\beta = \frac{1}{l} \left(\frac{\varphi}{2} + n\pi \right) (rad/m) \quad (1-12)$$

$$\lambda = K_v \cdot \lambda_0 \quad (1 - 13)$$

El nuevo β será:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} (\text{rad/m}) \quad (1 - 14)$$

En esta parte, para calcular K_v se debe haber calculado previamente β , el mismo que es función de n , y como K_v debe estar en el orden del 66 % para el caso de un cable coaxial, el programa tiene la opción de dar diversos valores de n hasta calcular el K_v óptimo.

La **opción 3** en pantalla se presenta de la siguiente manera:

Nuevo N:

(El programa solicita el ingreso del valor de n , el mismo que es un número entero)

Beta =

(Da el valor de beta calculado en rad/m)

K_v =

(Da el valor del coeficiente de velocidad)

Otro intento S/N

(El programa pide un nuevo valor para n , con S se ingresa un nuevo valor de n para calcular K_v , con la opción N sale al menú principal)

En el cuadro A1-1 se presentan los datos tabulados de las mediciones obtenidas, en los cuales se ha calculado el valor de la atenuación α , la constante de fase β y el coeficiente de velocidad K_v solo para los datos más confiables.

Como se puede apreciar, de todos los datos calculados, apenas se encuentran 8 datos que se aproximan más a la realidad, es decir a los 50Ω de impedancia característica que tiene el cable coaxial. De acuerdo con el manual en donde se encuentran las características del cable coaxial con el cual se trabajó, la atenuación es aproximadamente de 0.50 dB, y para estos datos (los más relevantes) la atenuación se aproxima bastante a este valor. El valor de K_v también es aproximadamente del 66 %.

En el cuadro A1-2 se encuentran las características especificadas por el fabricante para cable coaxial de 50Ω .

4.- Medición de la impedancia de un dipolo doblado conectado al cable coaxial.

Para esta parte, se puede hacer uso del programa diseñado con la **opción 1**, ya que ahora lo que se trata de evaluar es la fórmula:

$$Z_r = Z_0 \frac{1 + jS \operatorname{tg}(\beta d_1)}{S + j \operatorname{tg}(\beta d_1)} \quad (1 - 15)$$

si se ha tomado la distancia d_1 , es decir la distancia a la derecha del mínimo de referencia con respecto al mínimo de la carga que se está midiendo, en metros; o:

$$Z_r = Z_0 \frac{1 - jS \operatorname{tg}(\beta d_2)}{S - j \operatorname{tg}(\beta d_2)} \quad (1 - 16)$$

cuando se haya tomado d_2 , es decir la distancia a la izquierda del mínimo de referencia con respecto al mínimo de la carga que se está midiendo, en metros.

Entonces al hacer uso del programa, se ingresará los datos de Z_0 pero del cable coaxial (calculado previamente); ingresándose ahora tanto parte real como parte imaginaria; el valor de S en valor absoluto, la frecuencia en MHz, y el valor de la distancia d_1 o d_2 según sea el caso, tomando en cuenta que si se ingresa el valor de d_1 , d_2 se pondrá cero (0) y viceversa. En esta parte el programa original calcula el Z_{ca} , pero para nuestro caso simplemente será el valor de Z_r (impedancia de carga del dipolo doblado). Cuando en la pantalla de ingreso de datos se vaya a calcular el valor de Z_{cc} , se podrá ingresar cualquier valor, simplemente para que el programa pueda ejecutarse, pero estos datos no influirán en el valor de Z_r , puesto que son independientes. Por lo tanto de la pantalla de resultados para esta parte solo nos servirá el valor de Z_{ca} que corresponderá al valor de impedancia del dipolo doblado conjuntamente con el cable coaxial (Z_r).

En el cuadro A1-3 se presentan tabulados los resultados para este caso, tomando en cuenta que para una frecuencia de 580 MHz se tiene tres valores aceptables de Z_0 para el cable coaxial, para una frecuencia de 600 MHz se tiene tan sólo un valor aceptable de Z_0 para el cable coaxial; y, para una frecuencia de 620 MHz se tiene cuatro valores aceptables de Z_0 para el cable coaxial.

5.- Cálculo de la impedancia para el dipolo doblado, considerando la longitud, atenuación y constante de fase del cable coaxial.

Para este punto, el programa tiene la **opción 4**, la misma que evalúa la impedancia del dipolo doblado. Como el paquete **BORLAN C++** tiene las funciones matemáticas para números complejos, entonces es capaz de evaluar directamente la función $\tanh(\Gamma l)$.

La **opción 4** trabaja independientemente, es decir que se puede ingresar directamente desde el menú principal, para calcular Z_x de la expresión:

$$Z_x = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \tanh(\Gamma l)}{Z_0 + Z_r \tanh(\Gamma l)} \quad (1 - 17)$$

la misma que en pantalla se presenta de la siguiente manera:

Valor de Beta =

(Se ingresa el valor de la constante de fase en rad/m)

Valor de Zo: Parte real =

Parte imaginaria =

(Se ingresa la impedancia característica del cable coaxial, en parte real y parte imaginaria)

Valor de Zr: Parte real =

Parte imaginaria =

(Se ingresa el valor de la impedancia conjunta del cable coaxial y el dipolo doblado, en parte real e imaginaria)

Longitud =

(Se ingresa el valor de la longitud del cable coaxial en metros)

Alfa =

(Se ingresa el valor de la atenuación del cable en Np/m)

Resultado Zxr =

Zxi =

(Da como resultado la impedancia del dipolo doblado calculado a determinada longitud l , en parte real e imaginaria)

En el cuadro A1-4 se presentan los resultados obtenidos de la impedancia del cable coaxial para las distintas frecuencias y los distintos valores de Z_0 , atenuación y constante de fase.

Para salir del programa únicamente se debe optar por la opción 0.

En la parte final del anexo No. 1 se encuentra un listado del programa.

DATOS DEL CABLE COAXIAL

CUADRO A1-1

f	Sca	Scc	Zca	Zcc	Zo	Alfa	Beta	Kv
580	5.3703170	6.4565420	19.1325000 \angle -57.37° 10.3164000 -j 16.1128	289.2389000 \angle +25.69° 260.6484000 +j 125.3855	74.3899000 \angle -15.83° 71.5686000 -j 20.2933	0.3841000	18.6010000 n = 18	0.6530000
580	7.4700000	7.0600000	34.1172000 \angle -73.6° 9.63 -j 32.73	87.5399000 \angle +71.2° 28.21 +j 82.87	54.6500000 \angle -1.2° 54.638 -j 1.1464	0.3720000	18.5911000 n = 18	0.6534000
580	7.8300000	7.1300000	32.5929000 \angle -74.06° 8.95 -j 31.34	78.4756000 \angle +72.32° 23.83 +j 74.77	50.5741000 \angle -0.86° 50.5682000 -j 0.7676	0.3785000	18.5274000 n = 18	0.6556000
580	7.7200000	7.0000000	41.4264000 \angle -74.97° 10.7400000 -j 40.01	66.3137000 \angle +73.07° 19.3100000 +j 63.44	52.4131000 \angle -0.95° 52.4059000 -j 0.8705			
600	6.2015460	5.4954000	117.1957000 \angle +64.18° 51.0305000 +j 105.5023	10.1094000 \angle -24.92° 9.1669 -j 4.2624	34.4207000 \angle +19.62° 32.4213 +j 11.56051			
600	7.1614340	5.5590420	127.4603000 \angle +66.24154° 51.3517000 +j 116.6581	11.5651000 \angle -37.47° 9.1785 -j 7.0361	38.3939000 \angle +14.38° 27.8664 +j 7.1466			
600	6.6069340	5.9566210	212.4345000 \angle -48.43° 140.9480000 -j 158.9403	17.7714000 \angle +58.84° 9.1952 +j 15.2075	61.4431000 \angle +5.2036° 61.1899 +j 5.5726			
600	6.3095730	6.3095730	300.7033000 \angle -17.1537° 301.1921000 -j 3.2649	16.2375000 \angle +58.237° 8.5451 +j 13.8020	69.8667000 \angle +20.54° 65.4242 +j 24.5156			
600	6.4565420	6.4565420	290.1744000 \angle -25.32° 262.2770000 -j 124.1449	17.0492000 \angle +60.32° 8.4419 +j 14.8124	70.3367000 \angle +17.49° 67.0849 +j 21.1389			
600	6.6069340	6.6069340	300.4329000 \angle -23.97° 274.5230000 -j 122.0533	12.9514000 \angle +55.44° 7.3469 +j 10.6659	62.3853000 \angle +14.23° 60.4711 +j 15.3352			
600	7.0794570	7.0794570	357.7098000 \angle +2.5261° 357.3622000 +j 15.7661	20.6463000 \angle +66.88° 8.1052 +j 18.9888	85.9384000 \angle +34.7° 70.6537 +j 48.9229			
600	6.9100000	6.6900000	80.4483000 \angle +71.565° 25.4400000 +j 76.32	18.2066000 \angle -62.98° 8.27 -j 16.22	38.2713000 \angle +4.22° 38.1640 +j 2.8630			
600	7.3000000	6.9700000	86.4015000 \angle +71.92° 26.8000000 +j 82.14	18.0904000 \angle -63.93° 7.95 -j 16.25	39.5353000 \angle +3.99° 39.439 +j 2.7575			
600	7.1100000	6.7300000	88.7639000 \angle +71.18° 28.6300000 +j 84.02	19.8810000 \angle -64.94° 8.42 -j 18.01	42.0085000 \angle +3.12° 41.9463 +j 2.2865			

f	Sca	Scc	Zca	Zcc	Zo	Alfa	Beta	Kv
600	5.640000	5.680000	211.7371000 \angle +39.82° 162.6200000 +j 135.6	11.9782000 \angle -41.073° 9.03 -j 7.87	50.3610000 \angle -0.625° 50.358 -j 0.5495	0.4922000	18.8489000 n = 19	0.6666000
600	6.6834390	5.9566210	239.6080000 \angle +42.957° 175.3591000 +j 163.2824	9.4807000 \angle +26.86° 8.4574000 +j 4.2843	47.6619000 \angle +34.91° 39.0850000 +j 27.2763	0.4742000	19.2293000 n = 20	0.6752000
620	6.6834390	6.2373480	32.0855000 \angle +69.88° +j 30.1287	76.1663000 \angle -71.3972° 24.2975 -j 72.1869	49.4352000 \angle -0.755° 49.4309 -j 0.6517	0.4308900	19.3078000 n = 20	0.6725000
620	6.2230020	5.4954080	30.4508000 \angle +69.35° 10.7387 +j 28.4944	71.4922000 \angle -67.9734° 26.8121 -j 66.88	46.6583000 \angle +0.6895° 46.6549 +j 0.5614	0.5537000	19.3079000 n = 20	0.6725000
620	5.8210320	6.1659500	30.6821000 \angle +68.84° 11.0709800 +j 28.6151	63.2308000 \angle -71.046° 20.5372 -j 59.8026	44.0460400 \angle -1.103° 44.0378 -j 0.8478	0.4598000	19.3289000 n = 20	0.6718000
620	6.0000000	6.7500000	57.8044000 \angle -70.8629° 18.95 -j 54.61	40.8596000 \angle -72.78° 12.09 -j 39.03	48.5990000 \angle -71.825° 15.1582 -j 46.1745			
620	6.0000000	6.9100000	64.5611000 \angle -70.42° 21.63 -j 60.83	39.8113000 \angle -73.08° 11.58 -j 38.09	50.6978000 \angle -71.75° 158.767,000 -j 48.1476			
620	5.5000000	6.4600000	53.9420000 \angle -69.33° 19.0400000 -j 50.47	39.8645000 \angle -71.93° 12.36 -j 37.90	46.3721000 \angle -70.63° 15.3768 -j 43.7884			
620	5.6234130	6.2373480	23.0059000 \angle +63.0026° 10.4435000 +j 20.4988	91.9286000 \angle -68.13° 34.2435000 -j 85.3126	45.9880000 \angle -2.564° 45.9419000 -j 2.0579	0.4742000	19.2293000 n = 20	0.6752000



RG-58/U
50 OHM TYPE
BRAIDED SHIELD



DUAL RATED: UL LISTED NEC TYPE CL2 & AWM STYLE 1354

RG TYPE	CATALOG NUMBER	CENTER CONDUCTOR	DIELECTRIC INSULATION & NOMINAL O.D.	SHIELD	JACKET MATERIAL & NOMINAL O.D.	NOMINAL ATTENUATION		NOMINAL IMPEDANCE (OHMS)	NOMINAL CAPACITANCE (pF/FT)	NOMINAL VELOCITY OF PROPAGATION
						MHz	db/100 FT			
58C/U (MIL-C-17)	3100▲	20 AWG 19/33 TINNED COPPER	POLYETHYLENE (.116)	96% TINNED COPPER BRAID	BLACK NON- CONT'M'G VINYL (.195)	50	3.3	50	30.8	66%
						100	4.9			
						200	7.3			
						400	11.2			
						900	20.1			
58A/U (JAN-C-17)	3110▲ 3112◆	20 AWG 19/33 TINNED COPPER	POLYETHYLENE (.116)	96% TINNED COPPER BRAID	BLACK VINYL (.195)	50	3.3	50	30.8	66%
						100	4.9			
						200	7.3			
						400	11.2			
						900	20.1			
58A/U TYPE	3130▲	20 AWG 19/32 BARE COPPER	FOAM POLYETHYLENE (.107)	80% BARE COPPER BRAID	BLACK VINYL (.195)	50	3.2	50	26.0	78%
						100	4.7			
						200	6.9			
						400	10.1			
						900	18.0			
58/U (JAN-C-17)	3150▲ 3151* 3152◆	20 AWG SOLID BARE COPPER	POLYETHYLENE (.116)	96% TINNED COPPER BRAID	BLACK VINYL (.195)	50	3.1	53.5	28.5	66%
						100	4.6			
						200	7.0			
						400	10.0			
						900	16.2			
58/U	3160▲ 3162◆	20 AWG SOLID BARE COPPER	POLYETHYLENE (.116)	80% BARE COPPER BRAID	BLACK VINYL (.195)	50	3.1	53	28.5	66%
						100	4.6			
						200	7.0			
						400	10.0			
						900	16.0			
58/U TYPE	3170▲	20 AWG SOLID BARE COPPER	FOAM POLYETHYLENE (.116)	80% BARE COPPER BRAID	BLACK VINYL (.195)	50	3.0	53	22.0	78%
						100	4.4			
						200	6.5			
						400	8.9			
						900	14.1			

- ▲ Non UL
- * UL Listed NEC Type CL2X
- ◆ Dual Rated: UL Listed NEC Type CL2 & Style 1354

NOTE:

- Consult Factory For Other Colors & Special Constructions

APPLICATIONS:

- Broadcast
- Internal Wiring of Class 2 Circuits
- RF Signal Transmission

SPECIFICATIONS:

- UL 13
- UL 1354
- UL 1581
- CL2, CL2X

PACKAGING:

- 1000 Ft.
- 500 Ft.

DATOS DE IMPEDANCIA

CUADRO A1-3

Para $f = 620$ MHz

Alfa = 0.47964 dB/m = 0.05221 N/m $l = 3,15$ m

Beta = 19.29347 rad/m

$\tanh(0,173946 + j 60,774) = 0,194 + j 1,65827 = 1,80463 \angle 66,7648^\circ$

$Z_0 = 49,4352 \angle -0,755^\circ$ $Y_0 = 0,020228 \angle 0,755^\circ$

$Z_r = 33,03260 \angle 24,01070^\circ$	$Z_x = 74,960960 \angle 3,76635^\circ$
$Z_r = 32,81360 \angle 24,47100^\circ$	$Z_x = 75,537450 \angle 3,86290^\circ$
$Z_r = 29,08421 \angle 16,16100^\circ$	$Z_x = 71,739770 \angle 11,0000^\circ$
$Z_r = 33,36974 \angle 25,38610^\circ$	$Z_x = 75,925340 \angle 2,97400^\circ$
$Z_r = 33,62236 \angle 24,82000^\circ$	$Z_x = 75,190304 \angle 2,82768^\circ$
$Z_r = 31,80858 \angle 22,47860^\circ$	$Z_x = 74,646640 \angle 5,70489^\circ$
$Z_r = 31,51246 \angle 24,04180^\circ$	$Z_x = 76,218180 \angle 5,52420^\circ$
$Z_r = 30,88464 \angle 22,24900^\circ$	$Z_x = 74,378700 \angle 5,32350^\circ$
$Z_r = 30,18711 \angle 21,56020^\circ$	$Z_x = 75,178539 \angle 7,93240^\circ$
$Z_r = 33,10922 \angle 24,88720^\circ$	$Z_x = 75,658815 \angle 4,13620^\circ$

$Z_0 = 46,6583 \angle 0,6895^\circ$ $Y_0 = 0,021432 \angle -0,6895^\circ$

$Z_r = 31,77070 \angle 25,45520^\circ$	$Z_x = 70,28552 \angle 4,51520^\circ$
$Z_r = 30,97037 \angle 25,55000^\circ$	$Z_x = 71,29328 \angle 4,61740^\circ$
$Z_r = 27,45047 \angle 17,60500^\circ$	$Z_x = 67,70878 \angle 11,0659^\circ$
$Z_r = 31,49528 \angle 26,83060^\circ$	$Z_x = 71,61982 \angle 2,97470^\circ$
$Z_r = 31,73370 \angle 26,26450^\circ$	$Z_x = 70,96713 \angle 2,89190^\circ$
$Z_r = 30,02181 \angle 23,92310^\circ$	$Z_x = 70,45267 \angle 5,77050^\circ$
$Z_r = 29,74233 \angle 25,48630^\circ$	$Z_x = 71,93630 \angle 6,96700^\circ$
$Z_r = 29,14977 \angle 23,69350^\circ$	$Z_x = 70,97112 \angle 8,31260^\circ$
$Z_r = 28,49142 \angle 23,00470^\circ$	$Z_x = 70,95542 \angle 9,37672^\circ$
$Z_r = 31,24939 \angle 26,33170^\circ$	$Z_x = 71,40868 \angle 4,82620^\circ$

$Z_0 = 44,04604 \angle -1,103^\circ$ $Y_0 = 0,0227035 \angle 1,103^\circ$

$Z_r = 29,43156 \angle 23,6627^\circ$	$Z_x = 66,81413 \angle 3,41710^\circ$
$Z_r = 29,23643 \angle 24,1230^\circ$	$Z_x = 67,33880 \angle 3,56550^\circ$
$Z_r = 25,91360 \angle 15,8130^\circ$	$Z_x = 63,91899 \angle 10,6520^\circ$
$Z_r = 29,73195 \angle 25,0381^\circ$	$Z_x = 67,61077 \angle 2,56140^\circ$
$Z_r = 29,95703 \angle 24,4720^\circ$	$Z_x = 66,99355 \angle 2,47870^\circ$
$Z_r = 28,34098 \angle 22,1306^\circ$	$Z_x = 66,50862 \angle 5,35640^\circ$
$Z_r = 28,07714 \angle 23,6938^\circ$	$Z_x = 67,90942 \angle 5,17500^\circ$
$Z_r = 27,51776 \angle 21,9010^\circ$	$Z_x = 66,99645 \angle 6,52030^\circ$
$Z_r = 26,89627 \angle 21,2120^\circ$	$Z_x = 66,98295 \angle 7,58290^\circ$
$Z_r = 29,49983 \angle 24,5390^\circ$	$Z_x = 66,41017 \angle 3,03180^\circ$

$Z_0 = 45,988 \angle -2,564^\circ$ $Y_0 = 0,021744 \angle 2,564^\circ$

$Z_r = 30,72918 \angle 22,2017^\circ$	$Z_x = 69,73949 \angle 1,9645^\circ$
$Z_r = 30,52545 \angle 22,6612^\circ$	$Z_x = 70,26900 \angle 4,6173^\circ$
$Z_r = 27,05612 \angle 14,3520^\circ$	$Z_x = 66,73801 \angle 11,7538^\circ$
$Z_r = 31,04281 \angle 23,5771^\circ$	$Z_x = 70,59171 \angle 3,6634^\circ$
$Z_r = 31,27781 \angle 23,0110^\circ$	$Z_x = 69,94668 \angle 3,5809^\circ$
$Z_r = 29,59051 \angle 20,6696^\circ$	$Z_x = 69,44194 \angle 6,4592^\circ$
$Z_r = 29,31505 \angle 22,2328^\circ$	$Z_x = 70,90373 \angle 6,2786^\circ$
$Z_r = 28,73100 \angle 22,4400^\circ$	$Z_x = 69,95123 \angle 7,6232^\circ$
$Z_r = 28,08210 \angle 19,7512^\circ$	$Z_x = 69,93652 \angle 6,12161^\circ$
$Z_r = 30,80040 \angle 23,0782^\circ$	$Z_x = 70,38285 \angle 1,57144^\circ$

Para f = 600 MHz

$$Z_0 = 50.3610 \angle -0.625^\circ \quad Y_0 = 0.019856 \angle 0.625^\circ$$

$$\text{Alfa} = 0.4922 \text{ dB/m} = 0.0566 \text{ N/m} \quad l = 3.15 \text{ m}$$

$$\text{Beta} = 18.8489 \text{ rad/m}$$

$$\text{tgh}(0.17849 + j59.37403) = 0.194877 - j0.31594 = 0.371207 \angle -58.333^\circ$$

Zr =	32.4863	$\angle -43.8038^\circ$	Zx =	51.77954	$\angle -35.4801^\circ$
Zr =	49.8019	$\angle -36.850^\circ$	Zx =	65.05387	$\angle -22.1789^\circ$
Zr =	49.81	$\angle -36.3169^\circ$	Zx =	64.82468	$\angle -21.8496^\circ$
Zr =	49.812	$\angle -36.0487^\circ$	Zx =	64.61762	$\angle -21.8751^\circ$
Zr =	52.0939	$\angle -37.3421^\circ$	Zx =	67.18119	$\angle -21.4062^\circ$
Zr =	57.2554	$\angle -38.3530^\circ$	Zx =	71.91130	$\angle -19.6676^\circ$
Zr =	54.6517	$\angle -38.7119^\circ$	Zx =	69.99610	$\angle -21.0899^\circ$
Zr =	89.0886	$\angle -16.0250^\circ$	Zx =	93.12701	$\angle -6.33890^\circ$
Zr =	59.0886	$\angle -37.4623^\circ$	Zx =	72.91219	$\angle -18.2433^\circ$
Zr =	53.3187	$\angle -37.7898^\circ$	Zx =	68.41614	$\angle -28.1183^\circ$

Para f = 580 MHz

$$\text{Alfa} = 0.3782 \text{ dB/m} = 0.04354 \text{ N/m} \quad l = 3.15 \text{ m}$$

$$\text{Beta} = 18.06803 \text{ rad/m}$$

$$\text{tgh}(0.13715 + j58.84294) = 0.30377 - j1.08532 = 1.12702 \angle -74.3636^\circ$$

$$Z_0 = 54.6500 \angle -1.20^\circ \quad Y_0 = 0.018298 \angle 1.20^\circ$$

Zr =	24.25476	$\angle 52.85300^\circ$	Zx =	33.96996	$\angle -46.60200^\circ$
Zr =	24.03179	$\angle 51.03500^\circ$	Zx =	34.70419	$\angle -44.88910^\circ$
Zr =	21.06860	$\angle 18.92910^\circ$	Zx =	48.76172	$\angle -40.55200^\circ$
Zr =	22.34310	$\angle 33.22900^\circ$	Zx =	42.25012	$\angle -52.91140^\circ$
Zr =	21.95782	$\angle 29.15200^\circ$	Zx =	43.96686	$\angle -41.44930^\circ$
Zr =	22.77429	$\angle 33.88190^\circ$	Zx =	41.64790	$\angle -41.57870^\circ$
Zr =	21.43536	$\angle 30.28708^\circ$	Zx =	43.77220	$\angle -42.4621^\circ$
Zr =	19.95818	$\angle 23.56000^\circ$	Zx =	47.25135	$\angle -43.0279^\circ$
Zr =	21.51625	$\angle 30.10690^\circ$	Zx =	43.80338	$\angle -42.30370^\circ$
Zr =	20.76372	$\angle 28.43050^\circ$	Zx =	44.86275	$\angle -42.9493^\circ$

$$Z_0 = 50.5741 \angle -0.86^\circ \quad Y_0 = 0.0197729 \angle 0.86^\circ$$

Zr =	22.44379	$\angle 53.19300^\circ$	Zx =	31.436690	$\angle -49.40250^\circ$
Zr =	22.23940	$\angle 51.37500^\circ$	Zx =	32.116440	$\angle -45.72690^\circ$
Zr =	19.49730	$\angle 19.26910^\circ$	Zx =	45.125230	$\angle -40.20990^\circ$
Zr =	20.67671	$\angle 33.56900^\circ$	Zx =	43.293530	$\angle -48.14810^\circ$
Zr =	20.32016	$\angle 29.49200^\circ$	Zx =	40.687690	$\angle -41.10860^\circ$
Zr =	21.07574	$\angle 34.22190^\circ$	Zx =	38.534502	$\angle -41.23720^\circ$
Zr =	19.83667	$\angle 30.62700^\circ$	Zx =	40.504708	$\angle -42.1214^\circ$
Zr =	18.46966	$\angle 23.90000^\circ$	Zx =	43.726990	$\angle -42.68720^\circ$
Zr =	19.91152	$\angle 30.4469^\circ$	Zx =	40.736280	$\angle -41.96350^\circ$
Zr =	19.21512	$\angle 28.7705^\circ$	Zx =	41.516750	$\angle -42.60910^\circ$

$$Z_0 = 52.4131 \angle -0.95^\circ \quad Y_0 = 0.019079 \angle 0.95^\circ$$

Zr =	23.26198	$\angle 53.1030^\circ$	Zx =	32.57940	$\angle -46.25860^\circ$
Zr =	23.04830	$\angle 51.2853^\circ$	Zx =	33.28390	$\angle -45.81820^\circ$
Zr =	20.20629	$\angle 19.1790^\circ$	Zx =	46.020730	$\angle -39.0125^\circ$
Zr =	21.42857	$\angle 33.4790^\circ$	Zx =	40.406331	$\angle -41.7362^\circ$
Zr =	21.05905	$\angle 29.4020^\circ$	Zx =	42.167670	$\angle -41.19880^\circ$
Zr =	21.84211	$\angle 34.1319^\circ$	Zx =	39.943270	$\angle -41.3277^\circ$
Zr =	20.55799	$\angle 30.5370^\circ$	Zx =	41.980406	$\angle -42.2212^\circ$
Zr =	19.14126	$\angle 23.8100^\circ$	Zx =	45.317575	$\angle -42.77780^\circ$
Zr =	20.81324	$\angle 30.3569^\circ$	Zx =	42.951030	$\angle -41.79560^\circ$
Zr =	19.09138	$\angle 28.6805^\circ$	Zx =	43.017720	$\angle -42.69300^\circ$

DIPOLO DOBLADO CON CARACTERISTICAS DEL CABLE CUADRO A1-4

f(MHz)	S	1 + j S tg (β d2)		Zr con		Zr con	
		S	tg (β d2)	Zo	∠	Zo	∠
580	4.36518	0.44382	∠54.0538°	24.25476	∠52.853°	22.44579	∠53.193°
580	4.19275	0.43974	∠52.2353°	24.03179	∠51.035°	22.23940	∠51.375°
580	2.81838	0.38552	∠20.1291°	21.06860	∠18.9291°	19.49730	∠19.2691°
580	3.14285	0.40884	∠30.4295°	22.34310	∠33.229°	20.67671	∠33.569°
580	3.01849	0.40179	∠30.3520°	21.95782	∠29.152°	20.32016	∠29.492°
580	3.1212	0.41673	∠35.08193°	22.77429	∠33.8819°	21.07574	∠34.2219°
580	3.1302	0.39223	∠31.48708°	21.43536	∠30.6270°	19.83667	∠30.6270°
580	3.09644	0.36520	∠24.760°	19.95818	∠23.56°	18.46966	∠23.9°
580	3.11224	0.39371	∠31.3069°	21.51625	∠30.1069°	19.91152	∠30.4469°
580	3.1472	0.37994	∠29.6305°	20.76372	∠28.4305°	19.21512	∠28.7705°
						Zo=50.5741	∠-0.86°
						Zo=52.4131	∠-0.95°

f(MHz)	S	1 + j S tg (β d2)		Zr con	
		S	tg (β d2)	Zo	∠
600	2.63026	0.64507	∠43.1788°	32.4863	∠43.8038°
600	1.97242	0.98890	∠-36.225°	49.8019	∠-36.85°
600	1.94984	0.98906	∠-35.6919°	49.8100	∠-36.3169°
600	1.93865	0.98910	∠-35.4237°	49.8120	∠-36.0487°
600	1.99526	1.03441	∠-36.7171°	52.0939	∠-37.3421°
600	2.06538	1.13690	∠-37.7280°	57.2554	∠-38.353°
600	2.06538	1.08520	∠-38.0869°	54.6517	∠-38.7119°
600	2.01836	1.76900	∠-15.40°	89.0886	∠-16.025°
600	2.04173	1.17503	∠-36.8373°	59.1756	∠-37.4623°
600	2.01836	1.05873	∠-37.1648°	53.3187	∠-37.7898°

f(MHz)	S	$\frac{1 + j S \operatorname{tg}(\beta d_2)}{S + j \operatorname{tg}(\beta d_2)}$	Zr con Zo=49.4352/-0.755°	Zr con Zo=46.6583/0.6895°	Zr con Zo=44.04604/-1.103°	Zr con Zo=45.9880/-2.564°
620	1.84077	0.66820 / 24.7657°	33.03260 / 24.0107°	31.17707 / 25.4552°	29.43156 / 23.6627°	30.72918 / 22.2017°
620	1.86208	0.66377 / 25.226°	32.81360 / 24.471°	30.97037 / 25.9155°	29.23643 / 24.123°	30.52545 / 22.662°
620	1.85139	0.58833 / 16.9168°	29.08421 / 16.161°	27.45047 / 17.6058°	25.91360 / 15.813°	27.05612 / 14.352°
620	1.86637	0.67502 / 26.1411°	33.36974 / 25.3861°	31.49528 / 26.6306°	29.73195 / 25.0381°	31.04281 / 23.5771°
620	1.84077	0.68013 / 25.575°	33.62236 / 24.82°	31.73370 / 26.26458°	29.95703 / 24.472°	31.27181 / 23.0118°
620	1.85139	0.64344 / 23.2336°	31.80858 / 22.4786°	30.02181 / 23.9231°	28.34098 / 22.1306°	29.59051 / 20.6696°
620	1.90546	0.63745 / 24.7968°	31.51246 / 24.04188°	29.74233 / 25.4863°	28.07714 / 23.69388°	29.31505 / 22.2328°
620	1.88799	0.62475 / 23.004°	30.88464 / 22.2498°	29.14977 / 23.6935°	27.51776 / 21.901°	28.73100 / 20.440°
620	1.90546	0.61064 / 22.3152°	30.18711 / 21.5602°	28.49142 / 23.00478°	26.89627 / 21.2128°	28.08210 / 19.7512°
620	1.86208	0.66975 / 25.64228°	33.10922 / 24.88728°	31.24939 / 26.3317°	29.49983 / 24.539°	30.80040 / 23.0782°

PROGRAMA PARA CALCULAR LAS CARACTERISTICAS DE UN CABLE COAXIAL

(Z_0 , α , B , K_v) Y LA IMPEDANCIA DE UN DIPOLO DOBLADO

```
#include <complex.h>
#include <stdio.h>
#include <conio.h>

#define FALSE 0
#define TRUE 1

/*
VARIABLES GENERALES
*/

complex Zca,Zcc,ZO,ZOreal,Zx;
double AlfaN,AlfaB;
double BetaO,BetaReal,LambdaO,LamReal,d1,d2,d3,d4,S,S1,mag,
      ang,longitud,Kva;
short bz=FALSE,ba=FALSE,bkv=FALSE,bzx=FALSE;

complex LeeComplejo(int i, int j);
complex CalZeta(double d1, double d2, double S, complex ZO,double Beta);

main()
/*
PROGRAMA PRINCIPAL
*/
{
    int res;

    int pantalla();
    int CalculaZ();
    int CalculaA();
    int CalculaKv();
    int CalculaZx();

    while (1)
    {
        if (( res = pantalla() ) == 0)
            return(0);

        switch (res)
        {
            case 1: CalculaZ();
                    break;
            case 2: CalculaA();
                    break;
            case 3: CalculaKv();
                    break;
            case 4: CalculaZx();
                    break;
        }
    }
}
```



```

        default: break;
    }
}
}

int pantalla()
/*
PRESENTACION EN PANTALLA
*/
{
    int opción=-1;

    clrscr();
    gotoxy(25,8);
    cputs("Menú Principal");
    gotoxy(15,10);
    cputs("Cálculo de Zca y Zcc.. 1 ");
    gotoxy(15,11);
    cputs("Cálculo de Atenuación. 2 ");
    gotoxy(15,12);
    cputs("Cálculo de Kv ..... 3 ");
    gotoxy(15,13);
    cputs("Cálculo de Zx ..... 4 ");
    gotoxy(15,14);
    cputs("Salir ..... 0 ");
    gotoxy(20,18);
    cputs(" Opción :");

    while ( opción < 0 || opción > 4 )
        scanf("%d",&opción);
    return(opción);

}

int CalculaZ()
/*
RUTINA QUE CALCULA Zca, Zcc
*/
{
    int fila=1;
    double frecuencia;
    bz =TRUE;
    void ImpZ(int fila);
    clrscr();

    d1 =0; d2=0; d3=0; d4=0;

    gotoxy(20,fila);
    cputs("CALCULO DE Zca");
    gotoxy(10,fila+2);
    cputs("Valor de ZO :");

    ZO = LeeComplejo(fila+3, 13);

```

```

gotoxy(10, fila+5);
cputs("Valor de S:");
gotoxy(40, fila+5);
fflush(stdin);
scanf("%lf", &S);
fflush(stdin);

gotoxy(10, fila+7);
cputs("Valor de la Frecuencia :");
gotoxy(40, fila+7);
scanf("%lf", &frecuencia);
fflush(stdin);

gotoxy(10, fila+8);
cputs("Valor de la Distancia d1 :");
gotoxy(10, fila+9);
cputs("Valor de la Distancia d2 :");

gotoxy(40, fila+8);
scanf("%lf", &d1);
fflush(stdin);
gotoxy(40, fila+9);
scanf("%lf", &d2);
fflush(stdin);

gotoxy(20, fila+12);
cputs("CALCULO DE Zcc");

gotoxy(10, fila+14);
cputs("Valor de S :");
gotoxy(40, fila+14);
scanf("%lf", &S1);
fflush(stdin);

gotoxy(10, fila+15);
cputs("Valor de la Distancia d1 :");
gotoxy(10, fila+16);
cputs("Valor de la Distancia d2 :");

gotoxy(40, fila+15);
scanf("%lf", &d3);
fflush(stdin);
gotoxy(40, fila+16);
scanf("%lf", &d4);
fflush(stdin);

Lambda0 = (300.00/frecuencia);
Beta0 = ((2*M_PI)/Lambda0);

Zca = CalZeta(d1, d2, S, Z0, Beta0);
Zcc = CalZeta(d3, d4, S1, Z0, Beta0);
Z0real = sqrt(Zca*Zcc);

ImpZ(fila+17);

```

```

return(0);
}

int CalculaA()
/*
RUTINA QUE CALCULA LA ATENUACION
*/
{
int fila=5;
complex miu,M;

clrscr();

if (!bz)
{
cputs("ERROR- NO EXISTEN VALORES DE Zcc NI Z0 ....");
getch();
return(0);
}
ba = TRUE

gotoxy(10,fila);
cputs("Longitud del Cable :");
gotoxy(40,fila);
scanf("%lf",&longitud);

miu = (Zcc/Z0real);
M = (1+miu)/(1-miu);

mag = sqrt(norm(M)); /* magnitud */
ang = arg(M); /* ángulo */

AlfaN = (1/(2*longitud))*log(mag);

AlfaB = (20*AlfaN)/log(10);

gotoxy(10,fila+3);
cputs(" Alfa en nepers :");
gotoxy(40,fila+3);
printf(" Alfa=%8.8f",AlfaN);
gotoxy(10,fila+4);
cputs(" Alfa en decibelios :");
gotoxy(40,fila+4);
printf(" Alfa=%8.8f",AlfaB);
getch();

return(0);

}

int CalculaKv()
/*

```

CALCULO DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD Kv

```
*/  
  
{  
int n, fila =5;  
char res;  
short flag=TRUE;  
clrscr();  
if (!ba)  
{  
cputs("ERROR- PRIMERO SE DEBE CALCULAR LA ATENUACION...");  
getch();  
return(0);  
}  
  
while (flag)  
{  
clrscr();  
gotoxy(10, fila);  
cputs("Número N :");  
gotoxy(40, fila);  
scanf("%5d", &n);  
  
BetaReal = (1/longitud)*(ang/2+n*M_PI);  
  
LamReal = (2*M_PI)/BetaReal;  
  
Kva = LamReal/Lambda0;  
  
gotoxy(40, fila+4);  
printf("Beta = %8.8f", BetaReal);  
gotoxy(40, fila+5);  
printf("Kv = %8.8f", Kva);  
gotoxy(40, fila+8);  
cputs("Otro Intento S/N");  
res = getch();  
  
if (res == 'N' || res == 'n')  
{  
flag = FALSE;  
}  
}  
  
return(0);  
}  
  
int CalculaZx()  
/*  
CALCULO DE Zx  
*/  
{  
int fila = 5;  
double beta;
```

```
complex Z01,Zr,aux1,aux2,aux3;
```

```
clrscr();  
gotoxy(10,fil);  
cputs("Valor de Beta=");  
gotoxy(40,fil);  
scanf("%lf",&beta);  
gotoxy(10,fil+1);  
cputs("Valor de Z0");  
Z01 = LeeComplejo(fil+2, 13);
```

```
gotoxy(10,fil+4);  
cputs("Valor de Zr");  
Zr = LeeComplejo(fil+5, 13);
```

```
gotoxy(10,fil+7);  
cputs("Longitud");  
gotoxy(40,fil+7);  
scanf("%lf",&longitud);
```

```
gotoxy(10,fil+8);  
cputs("Alfa");  
gotoxy(40,fil+8);  
scanf("%lf",&AlfaN);
```

```
aux1 = complex(AlfaN,beta);  
aux2 = Z01* tanh(aux1*longitud);  
aux3 = Zr* tanh(aux1*longitud);  
aux1 = Zr + aux2;  
aux2 = Z01 + aux3;
```

```
Zx = Z01 *(aux1/aux2);
```

```
gotoxy(10,fil+10);  
cputs("Resultado");  
gotoxy(25,fil+10);  
printf("Zxr = %8.8f Zxi = %8.8f",real(Zx),imag(Zx));  
getch();
```

```
return(0);
```

```
}
```

```
complex CalZeta(double d1,double d2,double S,complex Z0,double Beta)
```

```
/*
```

```
RETORNA EL VALOR CALCULADO DE Z
```

```
*/
```

```
{
```

```
complex resultado c1,c2,c3;  
double aux1;
```

```
if (d1 > 0) /* verifico el signo */
```

```
{
```

```
aux1 = tan(Beta * d1);
```

```

    c1 = complex(1,-(S*aux1));
    c2 = complex(S,-aux1);
    }
    else
    {
    aux1 = tan(Beta * d2);

    c1 = complex(1,(S*aux1));
    c2 = complex(S,aux1);
    }

    c3 = c1/c2

    resultado = Z0 * c3;

    return(resultado);
}

void ImpZ(int fila)
/*
IMPRIME LOS VALORES DE Z
*/
{
    double mag1,ang1;

    gotoxy(10,fila);
    cputs(" Resultado Zca : ");
    gotoxy(20, fila+1);
    printf(" Zcar=%0.5f, Zcai=%0.5f\n",real(Zca),imag(Zca));

    gotoxy(10,fila+2);
    cputs(" Resultado Zcc : ");
    gotoxy(20,fila+3);
    printf(" Zccr=%0.5f, Zcci=%0.5f\n",real(Zcc),imag(Zcc));

    gotoxy(10,fila+4);
    cputs(" Resultado Z0real : ");
    gotoxy(20,fila+5);
    printf(" Z0r=%0.5f, Z0i=%0.5f\n",real(Z0real),imag(Z0real));
    getch();
}

complex LeeComplejo(int i, int j)
/*
LEE UN NUMERO COMPLEJO
*/
{
    double x,y;
    gotoxy(j,i);
    printf("Parte real      = ");
    gotoxy(j,i+1);
    printf("Parte imaginaria = ");

```

```
gotoxy(j,20+i);  
scanf("%10lf",&x);  
gotoxy(j+20,i+1);  
scanf("%10lf",&y);  
return(complex(x,y));  
}
```

ANEXO No. 2

ANEXO No. 2

2.1 PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DEL CAMPO ELECTRICO TOTAL.-

El siguiente programa nos ayuda a determinar gráficamente el comportamiento del módulo del campo eléctrico total. El programa está desarrollado en **QUICK BASIC**, y el archivo que corresponde a este programa se llama **ET.EXE** en el diskette adjunto dentro del directorio **BASIC**.

Una vez que entramos al archivo **ET.EXE**, el programa nos pedirá el ingreso de datos de la siguiente manera:

1. Ingreso de ángulos acimutales:

valor de $\phi_1 =$

valor de $\phi_2 =$

valor de $\phi_3 =$

valor de $\phi_4 =$

Estos ángulos corresponden a la posición de cada uno de los elementos isotrópicos con respecto al elemento número 1, como se muestra en la figura 3.9. El valor de los ángulos deben ser ingresados en radianes, para nuestro caso tenemos:

$$\phi_1 = 0$$

$$\phi_2 = \pi/2 \text{ rad}$$

$$\phi_3 = \pi \text{ rad}$$

$$\phi_4 = 3\pi/2 \text{ rad}$$

2. Ingreso de ángulos de desfasamiento:

valor de $\alpha_1 =$

valor de $\alpha_2 =$

valor de $\alpha_3 =$

valor de $\alpha_4 =$

Estos ángulos corresponden al desfasamiento que existe entre cada uno de los

elementos isotrópicos con respecto al primero tomado como referencia (figura 3.8), de tal forma que:

α_1 es el desfaseamiento del primer elemento con respecto a sí mismo

α_2 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 2

α_3 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 3

α_4 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 4

Para nuestro caso se ha asumido que no existe desfaseamiento entre los elementos isotrópicos, para facilidad del diseño y de los cálculos. Por lo tanto en estos valores ingresaremos cero (0).

3. Ingreso de distancias de cada uno de los elementos:

valor de d_1 =

valor de d_2 =

valor de d_3 =

valor de d_4 =

Estas distancias corresponden a la distancia que tiene cada uno de los elementos con respecto al centro del arreglo, como se puede apreciar en la figura 3.8, su valor se debe ingresar en metros. En nuestro caso como los elementos son equidistantes respecto al centro del arreglo, la distancia será la misma. Este es uno de los parámetros que nos ayudará a decidir el modelo de mejores características.

4. Ingreso de constantes para el módulo:

valor de k_1 =

valor de k_2 =

valor de k_3 =

valor de k_4 =

El valor de estas constantes, tiene que ver con la magnitud del campo eléctrico, es un factor decisivo en el momento de escoger el modelo de mejores características. Para nuestro caso por facilidad de cálculos y de diseño se decidió que esta constante sea la misma para los cuatro elementos isotrópicos. Es una constante que no tiene unidades.

5. Ingreso de la frecuencia de trabajo:

valor de frecuencia (MHz) =

Aquí se ingresa el valor de la frecuencia a la que se desea trabajar, la misma que debe ser ingresada en MHz.

Una vez que se ha terminado de ingresar todos los datos, el programa evalúa las siguientes expresiones:

$$\lambda(m) = \frac{300}{f(\text{MHz})}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-1)$$

$$\psi_n = \beta d_n \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \quad \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

$$f(\phi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \phi\right)}{\sin \phi} \quad (2-2)$$

$$g(\phi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \phi\right)}{\cos \phi}$$

ϕ varía de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad

La expresión que se evalúa para el módulo del campo eléctrico total es la siguiente:

$$\begin{aligned} |E_T| = |E_0| & \left[[\cos \psi_1 [1 + K_1^2 f^2(\phi)]^{1/2} + \cos \psi_2 [1 + K_2^2 g^2(\phi)]^{1/2} \right. \\ & + \cos \psi_3 [1 + K_3^2 f^2(\phi)]^{1/2} + \cos \psi_4 [1 + K_4^2 g^2(\phi)]^{1/2}]^2 \\ & + [\sin \psi_1 [1 + K_1^2 f^2(\phi)]^{1/2} + \sin \psi_2 [1 + K_2^2 g^2(\phi)]^{1/2} \\ & + \sin \psi_3 [1 + K_3^2 f^2(\phi)]^{1/2} + \sin \psi_4 [1 + K_4^2 g^2(\phi)]^{1/2}]^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (2-3)$$

Dentro del programa, las variables asignadas a las variables de entrada de datos son:

ϕ_n F_n
 α_n A_n
 d_n D_n
 k_n K_n
 $f(\text{MHz})$ FR

$\lambda(m)$LA

βBE

ϕx

$f(\phi)$H

$g(\phi)$G

Una vez que el programa hace el cálculo de la expresión para el campo eléctrico total, hace una comparación de valores hasta encontrar el campo eléctrico máximo, el mismo que es asignado como $MAX E_T$. Finalmente imprime tres columnas de resultados:

1. los valores de ϕ de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad
2. los valores de E_T en módulo como función de E_0 ; y,
3. los valores de $E_T/MAX E_T$ en módulo.

Este cuadro de valores es guardado en un archivo que es creado por el mismo programa, con el nombre de **DATASET**, para de esta manera poderlo importar en cualquier hoja electrónica y realizar el gráfico correspondiente a $E_T/MAX E_T$ (en módulo) vs. ϕ . Cabe señalar que cada vez que se realiza un nuevo cálculo con el ingreso de datos correspondiente estos datos son actualizados en el archivo **DATASET**.

El gráfico obtenido, representa el campo eléctrico relativo de $E_T/MAX E_T$ (en módulo), ya que resulta más fácil evaluar valores relativos.

A continuación se presenta los gráficos con sus respectivos cuadros de datos, para los valores más representativos.

Luego del análisis correspondiente, los datos que serán utilizados para el modelo de mejores características corresponden al cuadro de datos A2.1-5 con su gráfico A2.1-5.

Al finalizar esta sección, se encuentra un listado del programa.

CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1-1

Fi	ET	ET/ET max.
0.08491	3.43300	0.99610
0.16982	3.39419	0.98483
0.25472	3.33453	0.96752
0.33963	3.26092	0.94616
0.42454	3.18181	0.92321
0.50945	3.10626	0.90129
0.59436	3.04285	0.88289
0.67926	2.99874	0.87009
0.76417	2.97891	0.86434
0.84908	2.98558	0.86628
0.93399	3.01801	0.87568
1.01890	3.07254	0.89151
1.10380	3.14303	0.91196
1.18871	3.22149	0.93472
1.27362	3.29897	0.95720
1.35853	3.36659	0.97682
1.44343	3.41655	0.99132
1.52834	3.44307	0.99902
1.61325	3.44307	0.99902
1.69816	3.41655	0.99132
1.78307	3.36659	0.97682
1.86797	3.29897	0.95720
1.95288	3.22149	0.93472
2.03779	3.14303	0.91196
2.12270	3.07254	0.89151
2.20761	3.01801	0.87568
2.29251	2.98558	0.86628
2.37742	2.97891	0.86434
2.46233	2.99874	0.87009
2.54724	3.04285	0.88289
2.63215	3.10626	0.90129
2.71705	3.18181	0.92321
2.80196	3.26092	0.94616
2.88687	3.33454	0.96752
2.97178	3.39419	0.98483
3.05669	3.43300	0.99610
3.14159	3.44646	1.00000
3.22650	3.43300	0.99610
3.31141	3.39419	0.98483
3.39632	3.33453	0.96752
3.48123	3.26092	0.94616
3.56613	3.18181	0.92321
3.65104	3.10626	0.90129
3.73595	3.04284	0.88289
3.82086	2.99874	0.87009
3.90577	2.97891	0.86434
3.99067	2.98558	0.86628
4.07558	3.01801	0.87568
4.16049	3.07254	0.89151
4.24540	3.14303	0.91196
4.33031	3.22149	0.93472
4.41521	3.29897	0.95720
4.50012	3.36659	0.97682
4.58503	3.41655	0.99132
4.66994	3.44307	0.99902
4.75485	3.44307	0.99902
4.83975	3.41655	0.99132
4.92466	3.36659	0.97682
5.00957	3.29897	0.95720
5.09448	3.22149	0.93472
5.17939	3.14303	0.91196
5.26429	3.07254	0.89151
5.34920	3.01801	0.87568
5.43411	2.98558	0.86627
5.51902	2.97891	0.86434
5.60393	2.99874	0.87009
5.68883	3.04285	0.88289
5.77374	3.10626	0.90129
5.85865	3.18182	0.92321
5.94356	3.26092	0.94617
6.02847	3.33454	0.96753
6.11337	3.39420	0.98484
6.19828	3.43301	0.99610

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = $\pi/2$
 fi 3 = π
 fi 4 = $3\pi/4$

Angulos de Desfasamiento:

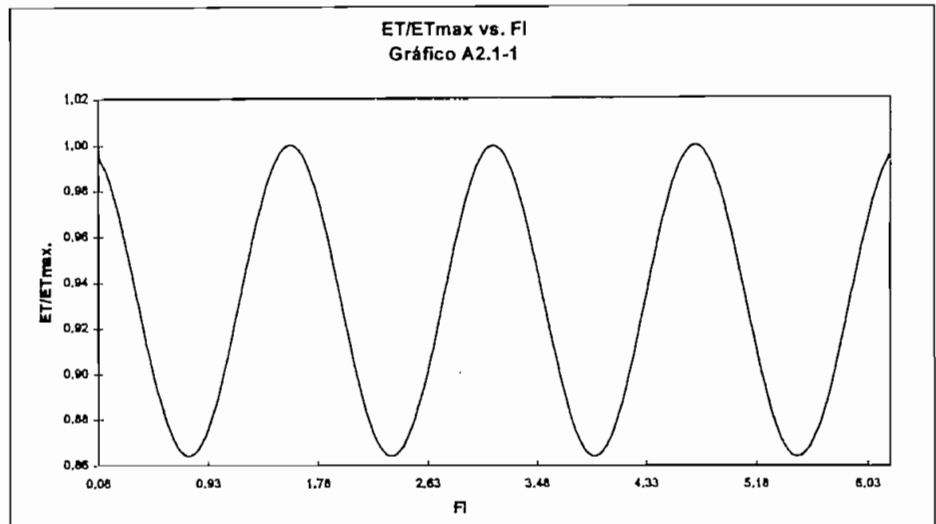
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 1
 k2 = 1
 k3 = 1
 k4 = 1



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1-2

FI	ET	ET/ET max.
0.08491	3.36401	0.99626
0.16982	3.32755	0.98546
0.25472	3.27151	0.96886
0.33963	3.20236	0.94838
0.42454	3.12806	0.92638
0.50945	3.05710	0.90536
0.59436	2.99755	0.88773
0.67926	2.95614	0.87546
0.76417	2.93752	0.86995
0.84908	2.94378	0.87180
0.93399	2.97423	0.88082
1.01890	3.02544	0.89599
1.10380	3.09163	0.91559
1.18871	3.16532	0.93741
1.27362	3.23810	0.95897
1.35853	3.30162	0.97778
1.44343	3.34856	0.99168
1.52834	3.37347	0.99906
1.61325	3.37347	0.99906
1.69816	3.34856	0.99168
1.78307	3.30162	0.97778
1.86797	3.23810	0.95897
1.95288	3.16532	0.93741
2.03779	3.09163	0.91559
2.12270	3.02544	0.89599
2.20761	2.97423	0.88082
2.29251	2.94378	0.87180
2.37742	2.93752	0.86995
2.46233	2.95614	0.87546
2.54724	2.99755	0.88773
2.63215	3.05710	0.90536
2.71705	3.12806	0.92638
2.80196	3.20236	0.94838
2.88687	3.27151	0.96886
2.97178	3.32755	0.98546
3.05669	3.36401	0.99626
3.14159	3.37666	1.00000
3.22650	3.36401	0.99626
3.31141	3.32755	0.98546
3.39632	3.27151	0.96886
3.48123	3.20236	0.94838
3.56613	3.12806	0.92638
3.65104	3.05710	0.90536
3.73595	2.99755	0.88773
3.82086	2.95614	0.87546
3.90577	2.93752	0.86995
3.99067	2.94378	0.87180
4.07558	2.97423	0.88082
4.16049	3.02544	0.89599
4.24540	3.09163	0.91559
4.33031	3.16532	0.93741
4.41521	3.23810	0.95897
4.50012	3.30162	0.97778
4.58503	3.34856	0.99168
4.66994	3.37347	0.99906
4.75485	3.37347	0.99906
4.83975	3.34856	0.99168
4.92466	3.30162	0.97778
5.00957	3.23809	0.95896
5.09448	3.16532	0.93741
5.17939	3.09163	0.91559
5.26429	3.02544	0.89599
5.34920	2.97423	0.88082
5.43411	2.94378	0.87180
5.51902	2.93752	0.86995
5.60393	2.95614	0.87546
5.68883	2.99755	0.88773
5.77374	3.05710	0.90536
5.85865	3.12806	0.92638
5.94356	3.20236	0.94838
6.02847	3.27151	0.96886
6.11337	3.32755	0.98546
6.19828	3.36401	0.99626

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

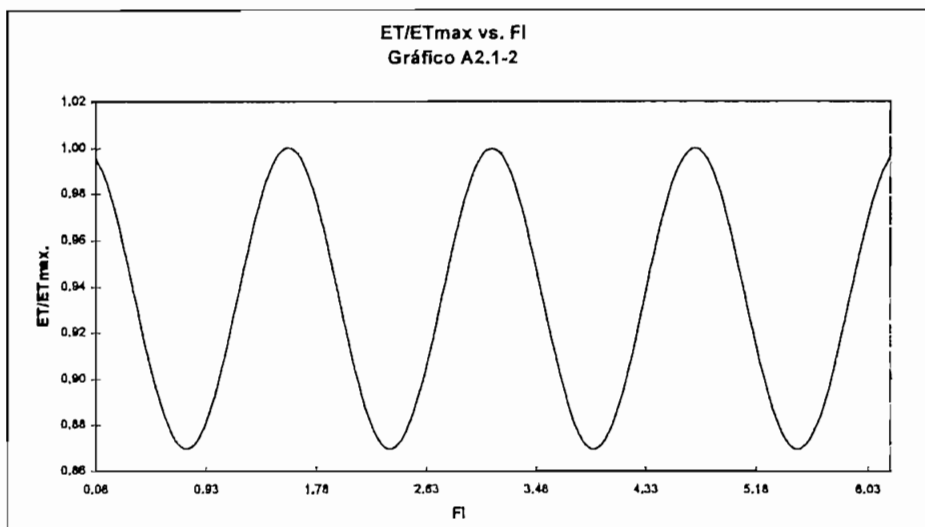
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.95
k2 = 0.95
k3 = 0.95
k4 = 0.95



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1-3

Fi	ET	ET/ET max.
0.08491	3.29692	0.99642
0.16982	3.26278	0.98610
0.25472	3.21030	0.97024
0.33963	3.14557	0.95068
0.42454	3.07602	0.92966
0.50945	3.00960	0.90959
0.59436	2.95387	0.89274
0.67926	2.91512	0.88103
0.76417	2.89770	0.87577
0.84908	2.90356	0.87754
0.93399	2.93205	0.88615
1.01890	2.97997	0.90063
1.10380	3.04193	0.91936
1.18871	3.11090	0.94020
1.27362	3.17903	0.96079
1.35853	3.23850	0.97876
1.44343	3.28245	0.99205
1.52834	3.30578	0.99910
1.61325	3.30578	0.99910
1.69816	3.28245	0.99205
1.78307	3.23850	0.97876
1.86797	3.17903	0.96079
1.95288	3.11090	0.94020
2.03779	3.04193	0.91936
2.12270	2.97997	0.90063
2.20761	2.93205	0.88615
2.29251	2.90356	0.87754
2.37742	2.89770	0.87577
2.46233	2.91512	0.88103
2.54724	2.95387	0.89274
2.63215	3.00960	0.90959
2.71705	3.07602	0.92966
2.80196	3.14557	0.95068
2.88687	3.21031	0.97024
2.97178	3.26278	0.98610
3.05669	3.29692	0.99642
3.14159	3.30876	1.00000
3.22650	3.29692	0.99642
3.31141	3.26278	0.98610
3.39632	3.21030	0.97024
3.48123	3.14557	0.95068
3.56613	3.07602	0.92966
3.65104	3.00960	0.90959
3.73595	2.95387	0.89274
3.82086	2.91512	0.88103
3.90577	2.89770	0.87577
3.99067	2.90356	0.87754
4.07558	2.93205	0.88615
4.16049	2.97997	0.90063
4.24540	3.04193	0.91936
4.33031	3.11090	0.94020
4.41521	3.17903	0.96079
4.50012	3.23850	0.97877
4.58503	3.28245	0.99205
4.66994	3.30578	0.99910
4.75485	3.30578	0.99910
4.83975	3.28244	0.99205
4.92466	3.23849	0.97876
5.00957	3.17902	0.96079
5.09448	3.11090	0.94020
5.17939	3.04192	0.91936
5.26429	2.97997	0.90063
5.34920	2.93205	0.88615
5.43411	2.90356	0.87754
5.51902	2.89770	0.87577
5.60393	2.91512	0.88103
5.68883	2.95388	0.89274
5.77374	3.00961	0.90959
5.85865	3.07602	0.92966
5.94356	3.14557	0.95068
6.02847	3.21031	0.97025
6.11337	3.26278	0.98610
6.19828	3.29692	0.99642

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

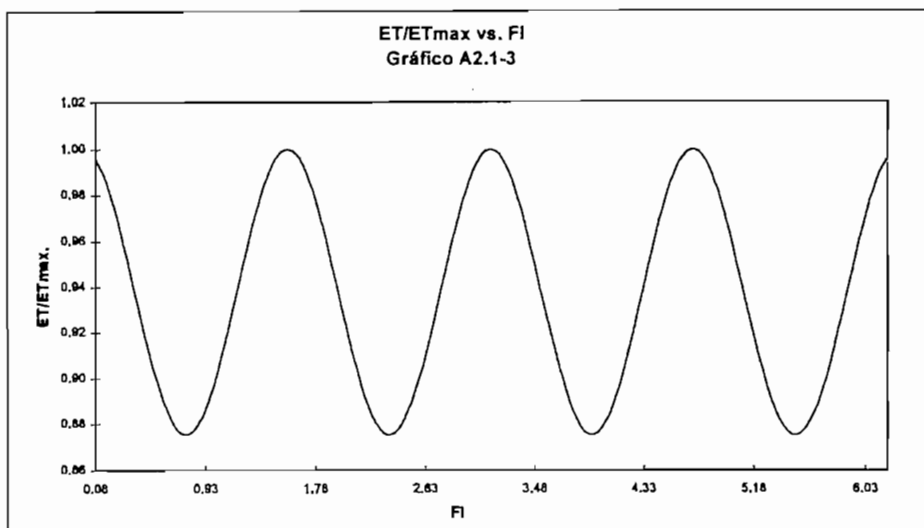
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.90
 k2 = 0.90
 k3 = 0.90
 k3 = 0.90



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1-4

FI	ET	ET/ET max.
0.06491	3.23187	0.99659
0.16982	3.20001	0.98677
0.25472	3.15106	0.97167
0.33963	3.09067	0.95305
0.42454	3.02580	0.93305
0.50945	2.96386	0.91395
0.59436	2.91190	0.89793
0.67926	2.87576	0.88678
0.76417	2.85952	0.88177
0.84908	2.86499	0.88346
0.93399	2.89155	0.89165
1.01890	2.93623	0.90543
1.10380	2.99400	0.92324
1.18871	3.05833	0.94308
1.27362	3.12188	0.96268
1.35853	3.17736	0.97978
1.44343	3.21836	0.99243
1.52834	3.24013	0.99914
1.61325	3.24013	0.99914
1.69816	3.21836	0.99243
1.78307	3.17736	0.97978
1.86797	3.12188	0.96268
1.95288	3.05833	0.94308
2.03779	2.99401	0.92324
2.12270	2.93623	0.90543
2.20761	2.89155	0.89165
2.29251	2.86499	0.88346
2.37742	2.85952	0.88177
2.46233	2.87576	0.88678
2.54724	2.91190	0.89793
2.63215	2.96386	0.91395
2.71705	3.02580	0.93305
2.80196	3.09067	0.95305
2.88687	3.15106	0.97167
2.97178	3.20001	0.98677
3.05669	3.23187	0.99659
3.14159	3.24292	1.00000
3.22650	3.23187	0.99659
3.31141	3.20001	0.98677
3.39632	3.15106	0.97167
3.48123	3.09067	0.95305
3.56613	3.02580	0.93305
3.65104	2.96386	0.91395
3.73595	2.91190	0.89793
3.82086	2.87576	0.88678
3.90577	2.85952	0.88177
3.99067	2.86499	0.88346
4.07558	2.89155	0.89165
4.16049	2.93623	0.90543
4.24540	2.99401	0.92325
4.33031	3.05833	0.94308
4.41521	3.12188	0.96268
4.50012	3.17736	0.97979
4.58503	3.21836	0.99243
4.66994	3.24013	0.99914
4.75485	3.24013	0.99914
4.83975	3.21836	0.99243
4.92466	3.17736	0.97978
5.00957	3.12188	0.96268
5.09448	3.05833	0.94308
5.17939	2.99400	0.92324
5.26429	2.93623	0.90543
5.34920	2.89155	0.89165
5.43411	2.86499	0.88346
5.51902	2.85952	0.88177
5.60393	2.87576	0.88678
5.68883	2.91190	0.89793
5.77374	2.96387	0.91395
5.85865	3.02580	0.93305
5.94356	3.09067	0.95305
6.02847	3.15106	0.97168
6.11337	3.20002	0.98677
6.19828	3.23187	0.99659

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

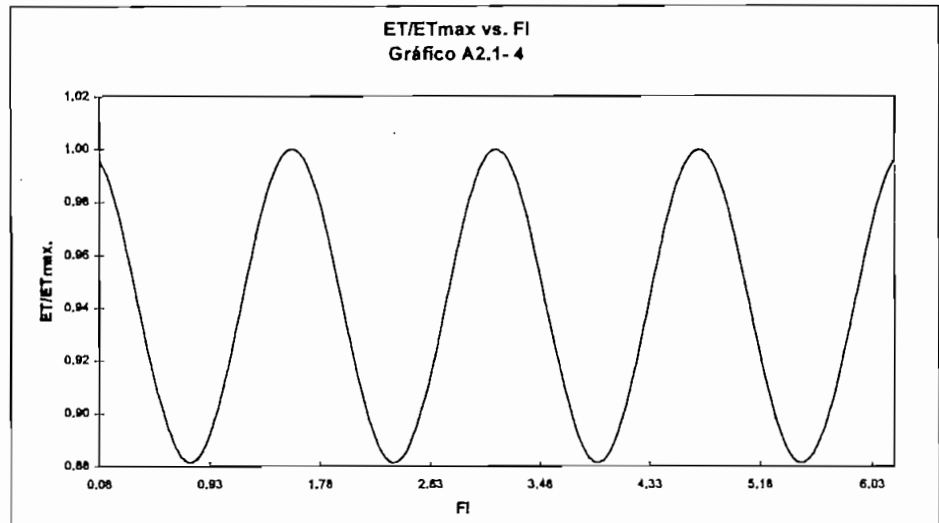
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.85
 k2 = 0.85
 k3 = 0.85
 k4 = 0.85



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1- 5

FI	ET	ET/ET max.
0.08491	3.16901	0.99677
0.16982	3.13941	0.98746
0.25472	3.09390	0.97315
0.33963	3.03778	0.95549
0.42454	2.97751	0.93653
0.50945	2.91997	0.91844
0.59436	2.87170	0.90325
0.67926	2.83814	0.89270
0.76417	2.82305	0.88795
0.84908	2.82813	0.88955
0.93399	2.85280	0.89731
1.01890	2.89430	0.91036
1.10380	2.94797	0.92724
1.18871	3.00774	0.94604
1.27362	3.06679	0.96462
1.35853	3.11835	0.98083
1.44343	3.15646	0.99282
1.52834	3.17670	0.99919
1.61325	3.17670	0.99919
1.69816	3.15646	0.99282
1.78307	3.11835	0.98083
1.86797	3.06679	0.96462
1.95288	3.00774	0.94604
2.03779	2.94797	0.92724
2.12270	2.89430	0.91036
2.20761	2.85280	0.89731
2.29251	2.82813	0.88955
2.37742	2.82305	0.88795
2.46233	2.83814	0.89270
2.54724	2.87170	0.90325
2.63215	2.91997	0.91844
2.71705	2.97751	0.93653
2.80196	3.03778	0.95549
2.88687	3.09391	0.97315
2.97178	3.13941	0.98746
3.05669	3.16902	0.99677
3.14159	3.17928	1.00000
3.22650	3.16901	0.99677
3.31141	3.13941	0.98746
3.39632	3.09390	0.97314
3.48123	3.03778	0.95549
3.56613	2.97751	0.93653
3.65104	2.91997	0.91844
3.73595	2.87170	0.90325
3.82086	2.83814	0.89270
3.90577	2.82305	0.88795
3.99067	2.82813	0.88955
4.07558	2.85280	0.89731
4.16049	2.89430	0.91036
4.24540	2.94797	0.92724
4.33031	3.00774	0.94604
4.41521	3.06679	0.96462
4.50012	3.11835	0.98083
4.58503	3.15646	0.99282
4.66994	3.17670	0.99919
4.75485	3.17670	0.99919
4.83975	3.15646	0.99282
4.92466	3.11835	0.98083
5.00957	3.06679	0.96462
5.09448	3.00773	0.94604
5.17939	2.94797	0.92724
5.26429	2.89430	0.91036
5.34920	2.85280	0.89731
5.43411	2.82813	0.88955
5.51902	2.82305	0.88795
5.60393	2.83814	0.89270
5.68883	2.87170	0.90325
5.77374	2.91997	0.91844
5.85865	2.97751	0.93653
5.94356	3.03779	0.95549
6.02847	3.09391	0.97315
6.11337	3.13941	0.98746
6.19828	3.16902	0.99677

Angulos Acimutales:

- fi 1 = 0
- fi 2 = pi/2
- fi 3 = pi
- fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

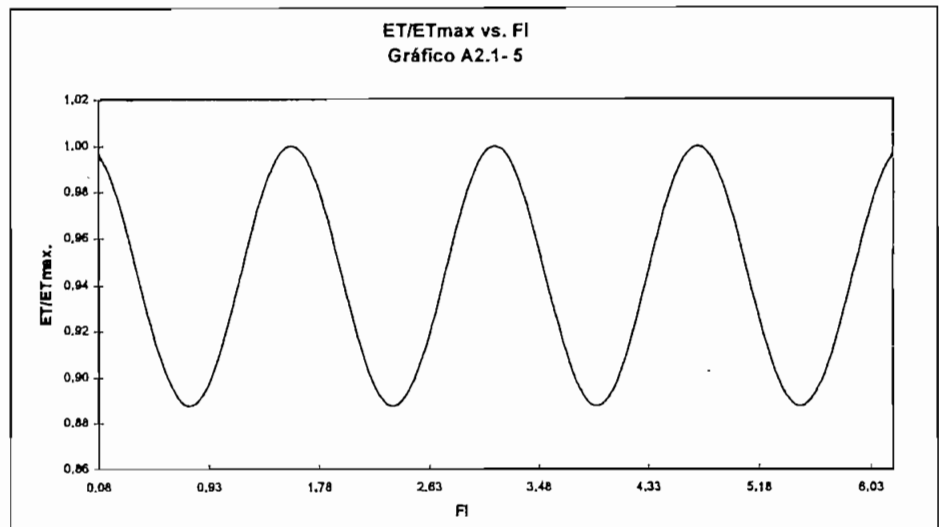
- alfa 1 = 0
- alfa 2 = 0
- alfa 3 = 0
- alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

- d1 = 0,2λ
- d2 = 0,2λ
- d3 = 0,2λ
- d4 = 0,2λ

Constantes Módulo:

- k1 = 0,80
- k2 = 0,80
- k3 = 0,80
- k3 = 0,80



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1- 6

Fi	ET	ET/ET max.
0.08491	3.10853	0.99695
0.16982	3.08111	0.98816
0.25472	3.03899	0.97465
0.33963	2.98704	0.95799
0.42454	2.93126	0.94010
0.50945	2.87802	0.92302
0.59436	2.83336	0.90870
0.67926	2.80231	0.89874
0.76417	2.78836	0.89427
0.84908	2.79305	0.89577
0.93399	2.81587	0.90309
1.01890	2.85427	0.91541
1.10380	2.90393	0.93133
1.18871	2.95923	0.94907
1.27362	3.01389	0.96660
1.35853	3.06162	0.98191
1.44343	3.09690	0.99322
1.52834	3.11564	0.99923
1.61325	3.11564	0.99923
1.69816	3.09690	0.99322
1.78307	3.06162	0.98191
1.86797	3.01389	0.96660
1.95288	2.95923	0.94907
2.03779	2.90393	0.93133
2.12270	2.85427	0.91541
2.20761	2.81587	0.90309
2.29251	2.79305	0.89577
2.37742	2.78836	0.89427
2.46233	2.80231	0.89874
2.54724	2.83336	0.90870
2.63215	2.87802	0.92302
2.71705	2.93126	0.94010
2.80196	2.98704	0.95799
2.88687	3.03899	0.97465
2.97178	3.08111	0.98816
3.05669	3.10853	0.99695
3.14159	3.11803	1.00000
3.22650	3.10853	0.99695
3.31141	3.08111	0.98816
3.39632	3.03899	0.97465
3.48123	2.98704	0.95799
3.56613	2.93126	0.94010
3.65104	2.87802	0.92302
3.73595	2.83336	0.90870
3.82086	2.80231	0.89874
3.90577	2.78836	0.89427
3.99067	2.79305	0.89577
4.07558	2.81587	0.90309
4.16049	2.85427	0.91541
4.24540	2.90393	0.93133
4.33031	2.95923	0.94907
4.41521	3.01389	0.96660
4.50012	3.06162	0.98191
4.58503	3.09690	0.99322
4.66994	3.11564	0.99923
4.75485	3.11564	0.99923
4.83975	3.09690	0.99322
4.92466	3.06162	0.98191
5.00957	3.01389	0.96660
5.09448	2.95923	0.94907
5.17939	2.90393	0.93133
5.26429	2.85427	0.91541
5.34920	2.81587	0.90309
5.43411	2.79305	0.89577
5.51902	2.78836	0.89427
5.60393	2.80231	0.89874
5.68883	2.83336	0.90870
5.77374	2.87802	0.92302
5.85865	2.93126	0.94010
5.94356	2.98705	0.95799
6.02847	3.03899	0.97465
6.11337	3.08112	0.98816
6.19828	3.10853	0.99695

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

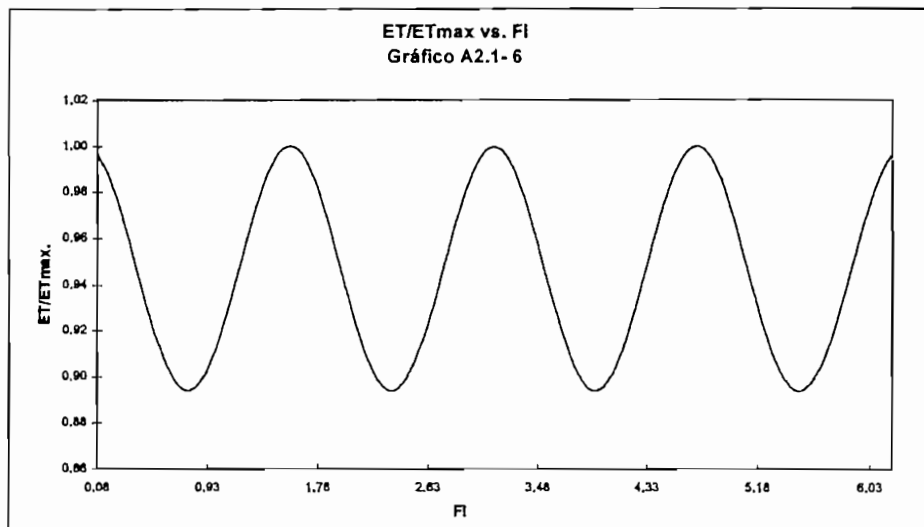
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.75
 k2 = 0.75
 k3 = 0.75
 k3 = 0.75.



CAMPO ELECTRICO TOTAL

Cuadro A2.1- 7

FI	ET	ET/ET max.
0.08491	3.05058	0.99713
0.16982	3.02530	0.98887
0.25472	2.98647	0.97618
0.33963	2.93859	0.96053
0.42454	2.88717	0.94372
0.50945	2.83811	0.92768
0.59436	2.79696	0.91423
0.67926	2.76836	0.90489
0.76417	2.75550	0.90068
0.84908	2.75983	0.90210
0.93399	2.78085	0.90897
1.01890	2.81623	0.92053
1.10380	2.86198	0.93549
1.18871	2.91295	0.95215
1.27362	2.96333	0.96862
1.35853	3.00733	0.98300
1.44343	3.03986	0.99363
1.52834	3.05714	0.99928
1.61325	3.05714	0.99928
1.69816	3.03986	0.99363
1.78307	3.00733	0.98300
1.86797	2.96333	0.96862
1.95288	2.91295	0.95215
2.03779	2.86198	0.93549
2.12270	2.81623	0.92053
2.20761	2.78085	0.90897
2.29251	2.75983	0.90210
2.37742	2.75550	0.90068
2.46233	2.76836	0.90489
2.54724	2.79696	0.91423
2.63215	2.83811	0.92769
2.71705	2.88717	0.94372
2.80196	2.93859	0.96053
2.88687	2.98647	0.97618
2.97178	3.02530	0.98887
3.05669	3.05058	0.99713
3.14159	3.05935	1.00000
3.22650	3.05058	0.99713
3.31141	3.02530	0.98887
3.39632	2.98647	0.97618
3.48123	2.93859	0.96053
3.56613	2.88717	0.94372
3.65104	2.83811	0.92768
3.73595	2.79696	0.91423
3.82086	2.76836	0.90489
3.90577	2.75550	0.90068
3.99067	2.75983	0.90210
4.07558	2.78085	0.90897
4.16049	2.81623	0.92053
4.24540	2.86198	0.93549
4.33031	2.91295	0.95215
4.41521	2.96333	0.96862
4.50012	3.00733	0.98300
4.58503	3.03986	0.99363
4.66994	3.05714	0.99928
4.75485	3.05714	0.99928
4.83975	3.03986	0.99363
4.92466	3.00733	0.98300
5.00957	2.96333	0.96862
5.09448	2.91295	0.95215
5.17939	2.86198	0.93549
5.26429	2.81623	0.92053
5.34920	2.78085	0.90897
5.43411	2.75983	0.90210
5.51902	2.75550	0.90068
5.60393	2.76836	0.90489
5.68883	2.79696	0.91424
5.77374	2.83811	0.92769
5.85865	2.88717	0.94372
5.94356	2.93859	0.96053
6.02847	2.98647	0.97618
6.11337	3.02531	0.98887
6.19828	3.05058	0.99713

Angulos Acimutales:

- fi 1 = 0
- fi 2 = pi/2
- fi 3 = pi
- fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

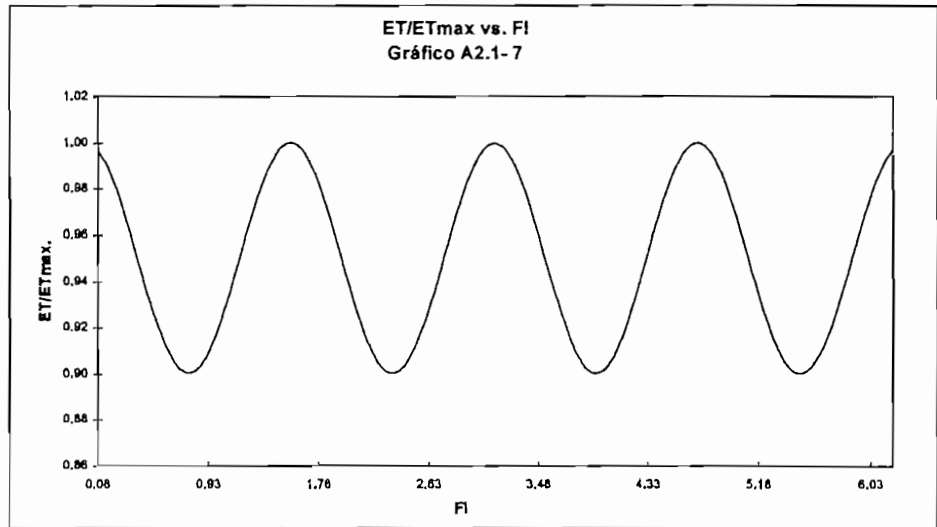
- alfa 1 = 0
- alfa 2 = 0
- alfa 3 = 0
- alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

- d1 = 0.2λ
- d2 = 0.2λ
- d3 = 0.2λ
- d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

- k1 = 0.70
- k2 = 0.70
- k3 = 0.70
- k3 = 0.70



PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DEL CAMPO

ELECTRICO TOTAL

CLS

'DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES

DIM V1 (74), V2 (74), V3(74)

CONST PI = 3.14592654#

'ENTRADA DE DATOS

PRINT "INGRESO DE ANGULOS ACIMUTALES: "

INPUT " VALOR DE f1 = ", F1

INPUT " VALOR DE f2 = ", F2

INPUT " VALOR DE f3 = ", F3

INPUT " VALOR DE f4 = ", F4

PRINT

PRINT "INGRESO DE ANGULOS DE DESFASAMIENTO: "

INPUT " VALOR DE a1 = ", A1

INPUT " VALOR DE a2 = ", A2

INPUT " VALOR DE a3 = ", A3

INPUT " VALOR DE a4 = ", A4

PRINT

PRINT "INGRESO DE DISTANCIAS DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS: "

INPUT " VALOR DE d1 = ", D1

INPUT " VALOR DE d2 = ", D2

INPUT " VALOR DE d3 = ", D3

INPUT " VALOR DE d4 = ", D4

PRINT

PRINT "INGRESO DE CONSTANTES PARA EL MODULO: "

INPUT " VALOR DE k1 = ", K1

INPUT " VALOR DE k2 = ", K2

INPUT " VALOR DE k3 = ", K3

INPUT " VALOR DE k4 = ", K4

PRINT

PRINT "INGRESO DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO: "

INPUT " VALOR DE FRECUENCIA (MHz) =", FR

'EVALUACION DE EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE ET

LA = (300 / FR)

BE = 2 * PI / LA

'LA EXPRESION DE ET SE EVALUARA EN PASOS DE PI/37

X = PI / 37

MAX = 0

I = 1

WHILE X < (2 * PI) AND X > 0

F11 = BE * D1 * COS(X - F1) + A1

F12 = BE * D2 * COS(X - F2) + A2

F13 = BE * D3 * COS(X - F3) + A3

F14 = BE * D4 * COS(X - F4) + A4

H = (COS(PI / 2 * COS(X))) / SIN(X)

G = (COS(PI / 2 * SEN(X))) / COS(X)

ET0 = (COS(F11) * (1 + K1 ^ 2 * H ^ 2) ^ (.5)) + (COS(F12) * (1 + K2 ^ 2 * G ^ 2) ^ (.5))

ET1 = (COS(F13) * (1 + K3 ^ 2 * H ^ 2) ^ (.5)) + (COS(F14) * (1 + K4 ^ 2 * G ^ 2) ^ (.5))

ET3 = (ET0 + ET1) ^ 2

ET4 = (SEN(F11) * (1 + K1 ^ 2 * H ^ 2) ^ (.5)) + (SEN(F12) * (1 + K2 ^ 2 * G ^ 2) ^ (.5))

$ET5 = (\text{SEN}(FI3) * (1 + K3 ^ 2 * H ^ 2) ^ (.5)) + (\text{SEN}(FI4) * (1 + K4 ^ 2 * G ^ 2) ^ (.5))$

$ET6 = (ET4 + ET5) ^ 2$

$ET = (ET3 + ET6) ^ (.5)$

'EL VECTOR V1 CORRESPONDE A LOS ANGULOS EN PASOS DE PI/37

$V1(I) = X$

'EL VECTOR V2 CORRESPONDE A LOS VALORES DE ET

$V2(I) = ET$

'SE BUSCA EL VALOR MAXIMO DE ET

IF ET > MAX THEN

MAX = ET

END IF

$X = X + PI / 37$

$I = I + 1$

WEND

'SE MUESTRA EN PANTALLA EL VALOR MAXIMO DE ET

PRINT "MAX ET = ", MAX

PRINT

'SE MUESTRA EN PANTALLA EL CUADRO DE DATOS DE LA SIGUIENTE FORMA

PRINT " f ET=f(E0) ET/MAX ET "

I = 1

Y = 1

'SE ABRE UN ARCHIVO DATOSET PARA GUARDAR EL CUADRO ANTERIOR

OPEN "DATOSET" FOR OUTPUT AS 1

WHILE I < 74

$V3(I) = V2(I) / MAX$

PRINT V1 (I), V2 (I), V3(I)

WRITE #1, V1 (I), V2 (I), V3(I)

$I = I + 1$

$Y = Y + 1$

'LAZO PARA MOSTRAR EN PANTALLA LOS DATOS DE 20 EN 20

IF Y = 20 OR Y = 40 OR Y = 60 THEN

INPUT "PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR", Z\$

END IF

WEND

CLOSE 1

'FIN DEL PROGRAMA

END

2.2 PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DE LA COMPONENTE DEL CAMPO ELECTRICO VERTICAL.-

Este programa nos ayuda a determinar gráficamente el comportamiento del módulo de la componente del campo eléctrico vertical. El programa estructuralmente es muy similar al anterior, la diferencia radica en la evaluación de la expresión para calcular la componente del campo eléctrico vertical en módulo. El programa igualmente está desarrollado en **QUICK BASIC**, y el archivo que corresponde a este programa se llama **EV.EXE** en el diskette adjunto dentro del directorio **BASIC**.

Una vez que entramos al archivo **EV.EXE**, tenemos acceso directamente al programa, el mismo que nos pedirá el ingreso de datos de la siguiente manera:

1. Ingreso de ángulos acimutales:

valor de $\phi_1 =$

valor de $\phi_2 =$

valor de $\phi_3 =$

valor de $\phi_4 =$

Estos ángulos corresponden a la posición de cada uno de los elementos isotrópicos con respecto al elemento número 1, como se muestra en la figura 3.13. El valor de los ángulos deben ser ingresados en radianes, para nuestro caso tenemos:

$$\phi_1 = 0$$

$$\phi_2 = \pi/2 \text{ rad}$$

$$\phi_3 = \pi \text{ rad}$$

$$\phi_4 = 3\pi/2 \text{ rad}$$

2. Ingreso de ángulos de desfasamiento:

valor de $\alpha_1 =$

valor de $\alpha_2 =$

valor de $\alpha_3 =$

valor de $\alpha_4 =$

Estos ángulos corresponden al desfasamiento que existe entre cada uno de los

elementos isotrópicos con respecto al primero tomado como referencia (figura 3.12), de tal forma que:

α_1 es el desfaseamiento del primer elemento con respecto a sí mismo

α_2 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 2

α_3 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 3

α_4 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 4

Para nuestro caso se ha asumido que no existe desfaseamiento entre los elementos isotrópicos, para facilidad del diseño y de los cálculos. Por lo tanto en estos valores ingresaremos cero (0).

3. Ingreso de distancias de cada uno de los elementos:

valor de d_1 =

valor de d_2 =

valor de d_3 =

valor de d_4 =

Estas distancias corresponden a la distancia que tiene cada uno de los elementos con respecto al centro del arreglo, como se puede apreciar en la figura 3.12, su valor se debe ingresar en metros. En nuestro caso como los elementos son equidistantes respecto al centro del arreglo, la distancia será la misma. Este es uno de los parámetros que nos ayudará a decidir el modelo de mejores características.

4. Ingreso de constantes para el módulo:

valor de k_1 =

valor de k_2 =

valor de k_3 =

valor de k_4 =

El valor de estas constantes, tiene que ver con la magnitud de la componente del campo eléctrico vertical, es un factor decisivo en el momento de escoger el modelo de mejores características. Para nuestro caso por facilidad de cálculos y de diseño se decidió que esta constante sea la misma para los cuatro elementos isotrópicos. Es una constante

que no tiene unidades.

5. Ingreso de la frecuencia de trabajo:

valor de frecuencia (MHz) =

Aquí se ingresa el valor de la frecuencia a la que se desea trabajar, la misma que debe ser ingresada en MHz.

Una vez que se ha terminado de ingresar todos los datos, el programa evalúa las siguientes expresiones:

$$\lambda(m) = \frac{300}{f(\text{MHz})}$$
$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-4)$$
$$\psi_n = \beta d_n \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \quad \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

ϕ varía de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad

La expresión que se evalúa para el módulo de la componente del campo eléctrico vertical es la siguiente:

$$|E_V| = |E_0| \left[[\cos\psi_1 + \cos\psi_2 + \cos\psi_3 + \cos\psi_4]^2 + [\sin\psi_1 + \sin\psi_2 + \sin\psi_3 + \sin\psi_4]^2 \right]^{1/2} \quad (2-5)$$

Dentro del programa, las variables asignadas a las variables de entrada de datos son:

ϕ_n F_n
 α_n A_n
 d_n D_n
 k_n K_n
 $f(\text{MHz})$ FR
 $\lambda(m)$ LA
 β BE
 ϕ X

Una vez que el programa hace el cálculo de la expresión para la componente del campo eléctrico vertical, realiza una comparación de valores hasta encontrar el campo eléctrico

vertical máximo, el mismo que es asignado como $MAX E_v$. Finalmente imprime tres columnas de resultados:

1. los valores de ϕ de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad
2. los valores de E_v en módulo como función de E_0 ; y,
3. los valores de $E_v/MAX E_v$ en módulo.

Este cuadro de valores es guardado en un archivo que es creado por el mismo programa, con el nombre de **DATOSEV**, para de esta manera poderlo importar en cualquier hoja electrónica y realizar el gráfico correspondiente a $E_v/MAX E_v$ (en módulo) vs. ϕ . Cabe señalar que cada vez que se realiza un nuevo cálculo con el ingreso de datos correspondiente estos datos son actualizados en el archivo **DATOSEV**.

El gráfico obtenido, representa a la componente del campo eléctrico relativo de $E_v/MAX E_v$ (en módulo), ya que resulta más fácil evaluar valores relativos.

A continuación se presenta los gráficos con sus respectivos cuadros de datos, para los valores más representativos.

Luego del análisis correspondiente, los datos que serán utilizados para el modelo de mejores características corresponden al cuadro de datos A2.2-5 con su gráfico A2.2-5.

Al finalizar esta sección, se encuentra un listado del programa.

CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2-1

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

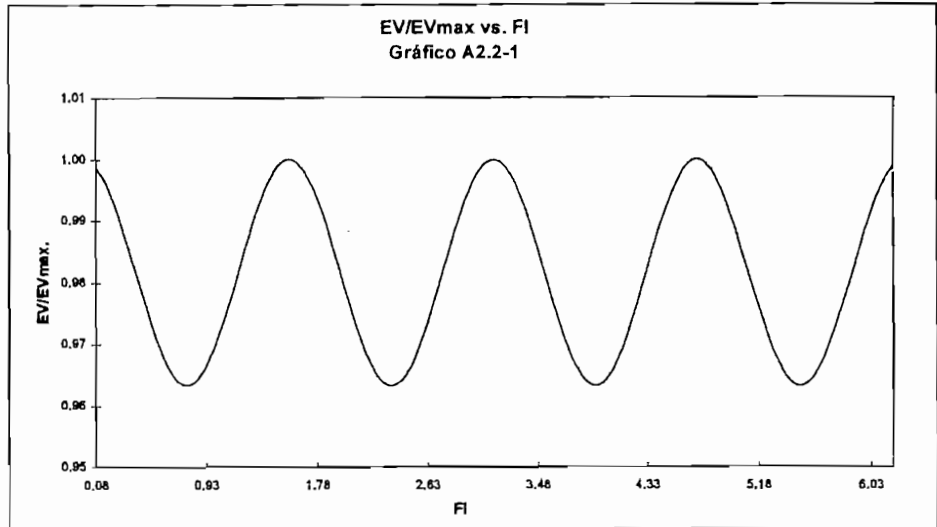
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 1
k2 = 1
k3 = 1
k4 = 1



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2-2

Fi	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = $\pi/2$
 fi 3 = π
 fi 4 = $3\pi/4$

Angulos de Desfasamiento:

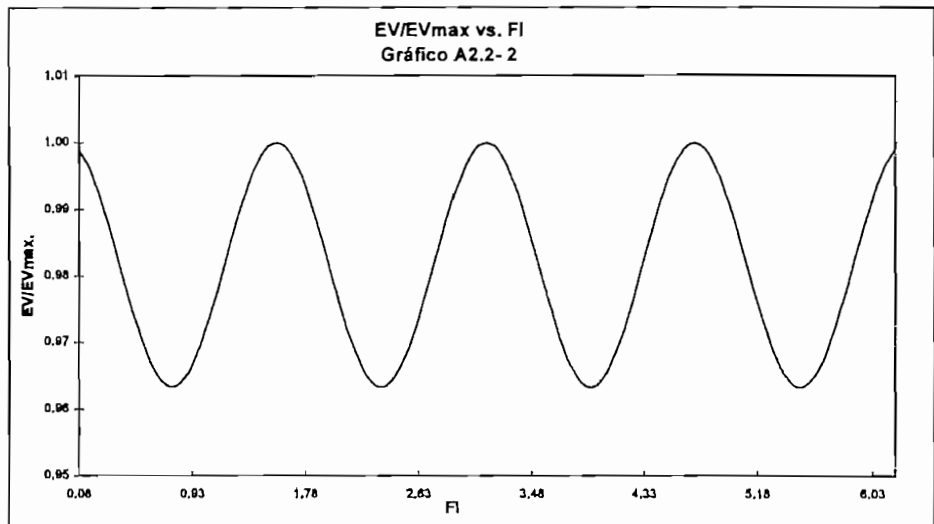
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.95
 k2 = 0.95
 k3 = 0.95
 k4 = 0.95



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2-3

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Deafasamiento:

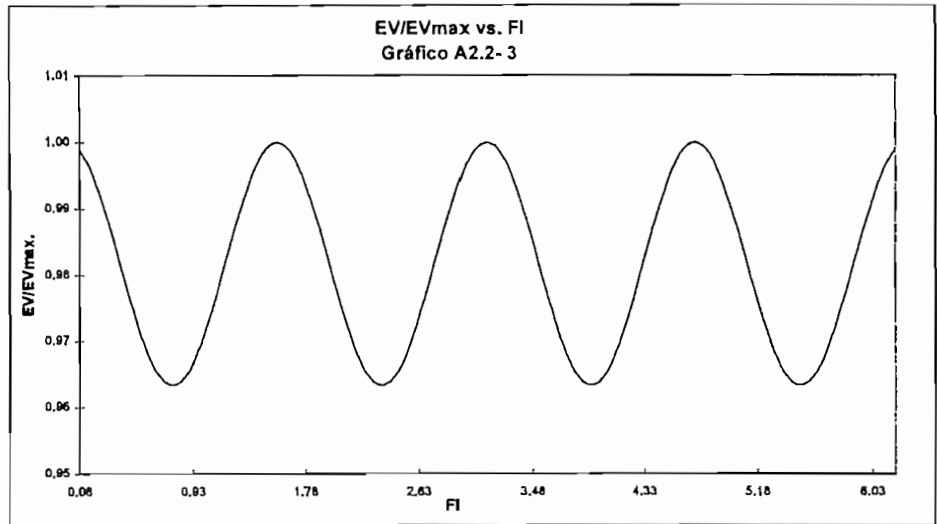
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.90
k2 = 0.90
k3 = 0.90
k4 = 0.90



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2- 4

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

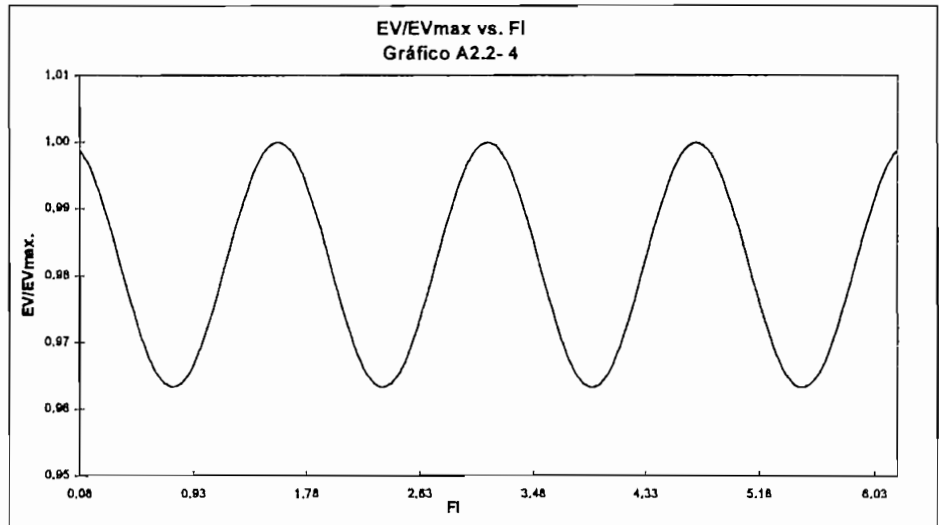
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.85
k2 = 0.85
k3 = 0.85
k4 = 0.85



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2- 5

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61184	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

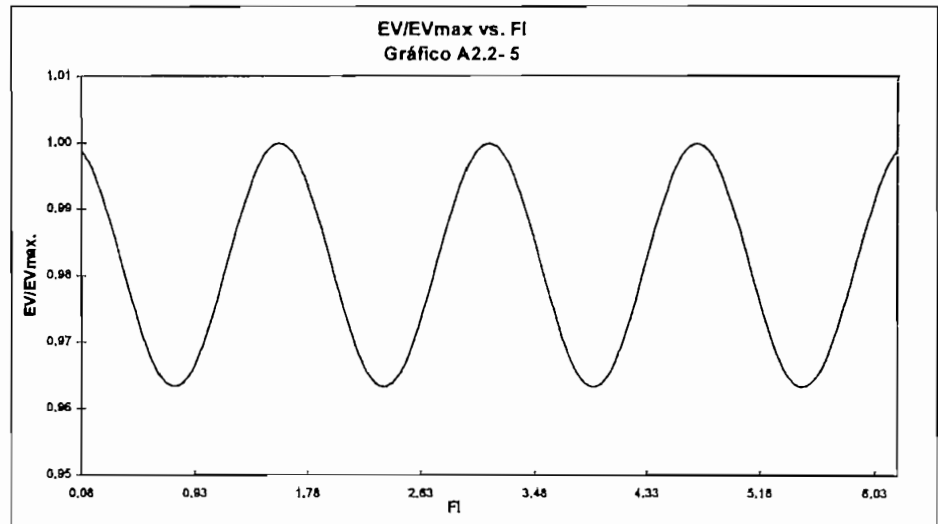
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.80
 k2 = 0.80
 k3 = 0.80
 k4 = 0.80



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2- 6

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

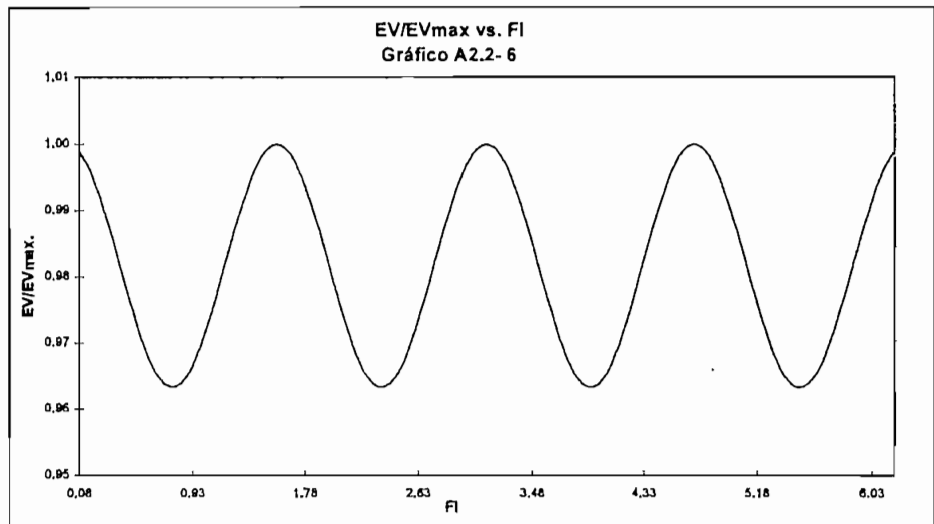
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.75
k2 = 0.75
k3 = 0.75
k4 = 0.75



CAMPO ELECTRICO VERTICAL

Cuadro A2.2- 7

FI	EV	EV/EV max.
0.08491	2.61529	0.99895
0.16982	2.60738	0.99593
0.25472	2.59520	0.99128
0.33963	2.58015	0.98553
0.42454	2.56395	0.97934
0.50945	2.54844	0.97342
0.59436	2.53541	0.96844
0.67926	2.52633	0.96497
0.76417	2.52224	0.96341
0.84908	2.52362	0.96394
0.93399	2.53030	0.96649
1.01890	2.54151	0.97077
1.10380	2.55599	0.97630
1.18871	2.57208	0.98245
1.27362	2.58793	0.98850
1.35853	2.60175	0.99378
1.44343	2.61194	0.99767
1.52834	2.61734	0.99974
1.61325	2.61734	0.99974
1.69816	2.61194	0.99767
1.78307	2.60175	0.99378
1.86797	2.58793	0.98850
1.95288	2.57208	0.98245
2.03779	2.55599	0.97630
2.12270	2.54151	0.97077
2.20761	2.53030	0.96649
2.29251	2.52362	0.96394
2.37742	2.52224	0.96341
2.46233	2.52633	0.96497
2.54724	2.53541	0.96844
2.63215	2.54844	0.97342
2.71705	2.56395	0.97934
2.80196	2.58015	0.98553
2.88687	2.59520	0.99128
2.97178	2.60738	0.99593
3.05669	2.61529	0.99895
3.14159	2.61803	1.00000
3.22650	2.61529	0.99895
3.31141	2.60738	0.99593
3.39632	2.59520	0.99128
3.48123	2.58015	0.98553
3.56613	2.56395	0.97934
3.65104	2.54844	0.97342
3.73595	2.53541	0.96844
3.82086	2.52633	0.96497
3.90577	2.52224	0.96341
3.99067	2.52362	0.96394
4.07558	2.53030	0.96649
4.16049	2.54151	0.97077
4.24540	2.55599	0.97630
4.33031	2.57208	0.98245
4.41521	2.58794	0.98850
4.50012	2.60175	0.99378
4.58503	2.61194	0.99767
4.66994	2.61734	0.99974
4.75485	2.61734	0.99974
4.83975	2.61194	0.99767
4.92466	2.60175	0.99378
5.00957	2.58793	0.98850
5.09448	2.57208	0.98245
5.17939	2.55599	0.97630
5.26429	2.54151	0.97077
5.34920	2.53030	0.96649
5.43411	2.52362	0.96394
5.51902	2.52224	0.96341
5.60393	2.52633	0.96497
5.68883	2.53541	0.96844
5.77374	2.54844	0.97342
5.85865	2.56395	0.97934
5.94356	2.58015	0.98553
6.02847	2.59520	0.99128
6.11337	2.60738	0.99593
6.19828	2.61529	0.99895

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

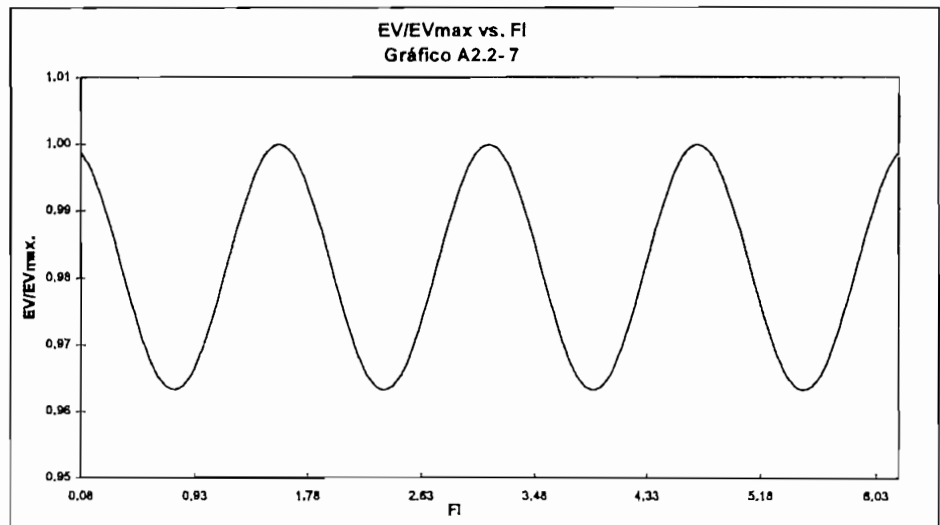
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0,70
k2 = 0,70
k3 = 0,70
k4 = 0,70



**PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DE LA
COMPONENTE DEL CAMPO ELECTRICO VERTICAL**

```
CLS
'DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES
DIM V1 (74), V2 (74), V3(74)
CONST PI = 3.14592654#
'ENTRADA DE DATOS
PRINT "INGRESO DE ANGULOS ACIMUTALES: "
INPUT " VALOR DE f1 = ", F1
INPUT " VALOR DE f2 = ", F2
INPUT " VALOR DE f3 = ", F3
INPUT " VALOR DE f4 = ", F4
PRINT
PRINT "INGRESO DE ANGULOS DE DESFASAMIENTO: "
INPUT " VALOR DE a1 = ", A1
INPUT " VALOR DE a2 = ", A2
INPUT " VALOR DE a3 = ", A3
INPUT " VALOR DE a4 = ", A4
PRINT
PRINT "INGRESO DE DISTANCIAS DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS: "
INPUT " VALOR DE d1 = ", D1
INPUT " VALOR DE d2 = ", D2
INPUT " VALOR DE d3 = ", D3
INPUT " VALOR DE d4 = ", D4
PRINT
PRINT "INGRESO DE CONSTANTES PARA EL MODULO: "
INPUT " VALOR DE k1 = ", K1
INPUT " VALOR DE k2 = ", K2
INPUT " VALOR DE k3 = ", K3
INPUT " VALOR DE k4 = ", K4
PRINT
PRINT "INGRESO DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO: "
INPUT " VALOR DE FRECUENCIA (MHz) =", FR
'EVALUACION DE EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE EV
LA = (300 / FR)
BE = 2 * PI / LA
'LA EXPRESION DE EV SE EVALUARA EN PASOS DE PI/37
X = PI /37
MAX = 0
I = 1
WHILE X < (2 * PI) AND X > 0
FI1 = BE * D1 * COS(X - F1) + A1
FI2 = BE * D2 * COS(X - F2) + A2
FI3 = BE * D3 * COS(X - F3) + A3
FI4 = BE * D4 * COS(X - F4) + A4
EV1 = (COS(FI1) + COS(FI2) + COS(FI3) + COS (FI4)) ^ 2
EV2 = (SEN(FI1) + SEN(FI2) + SEN(FI3) + SEN (FI4)) ^ 2
EV = (EV1+EV2) ^(.5)
'EL VECTOR V1 CORRESPONDE A LOS ANGULOS EN PASOS DE PI/37
V1(I) = X
'EL VECTOR V2 CORRESPONDE A LOS VALORES DE EV
```

```

V2(I) = EV
'SE BUSCA EL VALOR MAXIMO DE EV
IF EV > MAX THEN
MAX = EV
END IF
X = X + PI / 37
I = I + 1

WEND

'SE MUESTRA EN PANTALLA EL VALOR MAXIMO DE EV
PRINT "MAX EV = ", MAX
PRINT
'SE MUESTRA EN PANTALLA EL CUADRO DE DATOS DE LA SIGUIENTE FORMA
PRINT " f          EV=f(E0)          EV/MAX EV "

I = 1
Y = 1
'SE ABRE UN ARCHIVO DATOSEV PARA GUARDAR EL CUADRO ANTERIOR
OPEN "DATOSEV" FOR OUTPUT AS 1
WHILE I < 74
V3(I) = V2(I) / MAX
PRINT V1 (I), V2 (I), V3(I)
WRITE #1, V1 (I), V2 (I), V3(I)
I = I + 1
Y = Y + 1
'LAZO PARA MOSTRAR EN PANTALLA LOS DATOS DE 20 EN 20
IF Y = 20 OR Y = 40 OR Y = 60 THEN
INPUT "PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR", Z$
END IF

WEND
CLOSE 1
'FIN DEL PROGRAMA
END

```

2.3 PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DE LA COMPONENTE DEL CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL.-

El siguiente programa determina gráficamente el comportamiento del módulo de la componente del campo eléctrico horizontal. El programa estructuralmente es muy similar a los dos anteriores, la diferencia radica en la evaluación de la expresión para calcular la componente del campo eléctrico horizontal en módulo. El programa también está desarrollado en **QUICK BASIC**, y el archivo que corresponde a este programa se llama **EH.EXE** en el diskette adjunto dentro del directorio **BASIC**.

Una vez que entramos al archivo **EH.EXE**, el programa nos pedirá el ingreso de datos de la siguiente manera:

1. Ingreso de ángulos acimutales:

valor de $\phi_1 =$

valor de $\phi_2 =$

valor de $\phi_3 =$

valor de $\phi_4 =$

Estos ángulos corresponden a la posición de cada uno de los elementos isotrópicos con respecto al elemento número 1, como se muestra en la figura 3.13. El valor de los ángulos deben ser ingresados en radianes, para nuestro caso tenemos:

$$\phi_1 = 0$$

$$\phi_2 = \pi/2 \text{ rad}$$

$$\phi_3 = \pi \text{ rad}$$

$$\phi_4 = 3\pi/2 \text{ rad}$$

2. Ingreso de ángulos de desfase:

valor de $\alpha_1 =$

valor de $\alpha_2 =$

valor de $\alpha_3 =$

valor de $\alpha_4 =$

Estos ángulos corresponden al desfaseamiento que existe entre cada uno de los elementos isotrópicos con respecto al primero tomado como referencia (figura 3.12), de tal forma que:

α_1 es el desfaseamiento del primer elemento con respecto a sí mismo

α_2 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 2

α_3 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 3

α_4 es el desfaseamiento entre los elementos 1 y 4

Para nuestro caso se ha asumido que no existe desfaseamiento entre los elementos isotrópicos, para facilidad del diseño y de los cálculos. Por lo tanto en estos valores ingresaremos cero (0).

3. Ingreso de distancias de cada uno de los elementos:

valor de d_1 =

valor de d_2 =

valor de d_3 =

valor de d_4 =

Estas distancias corresponden a la distancia que tiene cada uno de los elementos con respecto al centro del arreglo, como se puede apreciar en la figura 3.12, su valor se debe ingresar en metros. En nuestro caso como los elementos son equidistantes respecto al centro del arreglo, la distancia será la misma. Este es uno de los parámetros que nos ayudará a decidir el modelo de mejores características.

4. Ingreso de constantes para el módulo:

valor de k_1 =

valor de k_2 =

valor de k_3 =

valor de k_4 =

El valor de estas constantes, tiene que ver con la magnitud de la componente del campo eléctrico horizontal, es un factor decisivo en el momento de escoger el modelo de mejores características. Para nuestro caso por facilidad de cálculos y de diseño se decidió

que esta constante sea la misma para los cuatro elementos isotrópicos. Es una constante que no tiene unidades.

5. Ingreso de la frecuencia de trabajo:

valor de frecuencia (MHz) =

Aquí se ingresa el valor de la frecuencia a la que se desea trabajar, la misma que debe ser ingresada en MHz.

Una vez que se ha terminado de ingresar todos los datos, el programa evalúa las siguientes expresiones:

$$\lambda(m) = \frac{300}{f(\text{MHz})}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-6)$$

$$\psi_n = \beta d_n \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n; \quad \psi_n, \alpha_n \text{ en radianes}$$

$$f(\phi) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \phi\right)}{\sin \phi} \right|$$

$$g(\phi) = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \phi\right)}{\cos \phi} \right| \quad (2-7)$$

ϕ varía de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad

La expresión que se evalúa para el módulo de la componente del campo eléctrico horizontal es la siguiente:

$$|E_H| = |E_0| \left[[K_1 \cos \psi_1 f(\phi) + K_2 \cos \psi_2 g(\phi) + K_3 \cos \psi_3 f(\phi) + K_4 \cos \psi_4 g(\phi)]^2 + [K_1 \sin \psi_1 f(\phi) + K_2 \sin \psi_2 g(\phi) + K_3 \sin \psi_3 f(\phi) + K_4 \sin \psi_4 g(\phi)]^2 \right]^{1/2} \quad (2-9)$$

Dentro del programa, las variables asignadas a las variables de entrada de datos son:

$\phi_n \dots \dots \dots F_n$

$\alpha_n \dots \dots \dots A_n$

d_n D_n
 k_n K_n
 $f(\text{MHz})$ FR
 $\lambda(\text{m})$ LA
 β BE
 ϕ X
 $f(\phi)$ H
 $g(\phi)$ G

Una vez que el programa hace el cálculo de la expresión para la componente del campo eléctrico horizontal, realiza una comparación de valores hasta encontrar el campo eléctrico vertical máximo, el mismo que es asignado como MAX EH. Finalmente imprime tres columnas de resultados:

1. los valores de ϕ de 0 a 2π rad en pasos de $\pi/37$ rad
2. los valores de E_H en módulo como función de E_0 ; y,
3. los valores de $E_H/\text{MAX } E_H$ en módulo.

Este cuadro de valores es guardado en un archivo que es creado por el mismo programa, con el nombre de **DATOSEH**, para de esta manera poderlo importar en cualquier hoja electrónica y realizar el gráfico correspondiente a $E_H/\text{MAX } E_H$ (en módulo) vs. ϕ . Cabe señalar que cada vez que se realiza un nuevo cálculo con el ingreso de datos correspondiente estos datos son actualizados en el archivo **DATOSEH**.

El gráfico obtenido, representa a la componente del campo eléctrico relativo de $E_H/\text{MAX } E_H$ (en módulo), ya que resulta más fácil evaluar valores relativos.

A continuación se presenta los gráficos con sus respectivos cuadros de datos, para los valores más representativos.

Luego del análisis correspondiente, los datos que serán utilizados para el modelo de mejores características corresponden al cuadro de datos A2.3-5 con su gráfico A2.3-5. Al finalizar esta sección, se encuentra un listado del programa.

CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3-1

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	2.01997	1.00000
0.16982	2.00132	0.99076
0.25472	1.95177	0.96623
0.33963	1.88115	0.93127
0.42454	1.80053	0.89136
0.50945	1.72119	0.85208
0.59436	1.65351	0.81858
0.67926	1.60603	0.79508
0.76417	1.58460	0.78447
0.84908	1.59182	0.78804
0.93399	1.62681	0.80536
1.01890	1.68530	0.83432
1.10380	1.76002	0.87131
1.18871	1.84138	0.91159
1.27362	1.91842	0.94972
1.35853	1.97983	0.98013
1.44343	2.01505	0.99756
1.52834	2.01520	0.99764
1.61325	2.01520	0.99764
1.69816	2.01505	0.99756
1.78307	1.97983	0.98013
1.86797	1.91842	0.94972
1.95288	1.84138	0.91159
2.03779	1.76002	0.87131
2.12270	1.68530	0.83432
2.20761	1.62681	0.80536
2.29251	1.59182	0.78804
2.37742	1.58460	0.78446
2.46233	1.60603	0.79508
2.54724	1.65351	0.81858
2.63215	1.72119	0.85208
2.71705	1.80053	0.89136
2.80196	1.88115	0.93127
2.88687	1.95177	0.96623
2.97178	2.00132	0.99076
3.05669	2.01997	1.00000
3.14159	2.00012	0.99017
3.22650	2.01997	1.00000
3.31141	2.00132	0.99076
3.39632	1.95177	0.96623
3.48123	1.88115	0.93127
3.56613	1.80053	0.89136
3.65104	1.72119	0.85208
3.73595	1.65351	0.81858
3.82086	1.60603	0.79508
3.90577	1.58460	0.78446
3.99067	1.59182	0.78804
4.07558	1.62681	0.80536
4.16049	1.68531	0.83432
4.24540	1.76002	0.87131
4.33031	1.84138	0.91159
4.41521	1.91842	0.94972
4.50012	1.97983	0.98013
4.58503	2.01505	0.99756
4.66994	2.01520	0.99764
4.75485	2.01520	0.99764
4.83975	2.01505	0.99756
4.92466	1.97983	0.98013
5.00957	1.91841	0.94972
5.09448	1.84138	0.91158
5.17939	1.76002	0.87131
5.26429	1.68530	0.83432
5.34920	1.62681	0.80536
5.43411	1.59182	0.78804
5.51902	1.58460	0.78447
5.60393	1.60604	0.79508
5.68883	1.65351	0.81858
5.77374	1.72119	0.85209
5.85865	1.80054	0.89137
5.94356	1.88115	0.93128
6.02847	1.95177	0.96623
6.11337	2.00132	0.99076
6.19828	2.01997	1.00000

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = $\pi/2$
fi 3 = π
fi 4 = $3\pi/4$

Angulos de Desfasamiento:

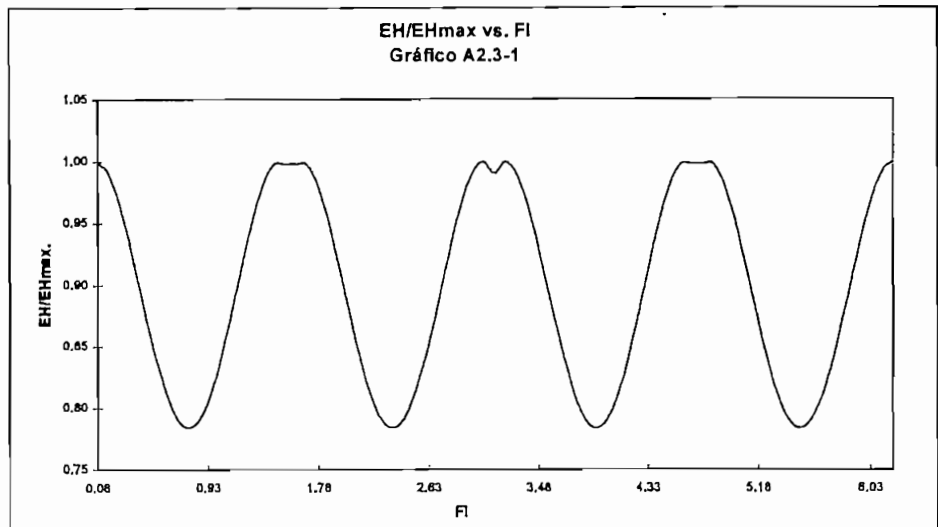
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 1
k2 = 1
k3 = 1
k4 = 1



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3-2

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	1.91898	1.00000
0.16982	1.90125	0.99076
0.25472	1.85418	0.96623
0.33963	1.78709	0.93127
0.42454	1.71051	0.89136
0.50945	1.63513	0.85208
0.59436	1.57084	0.81858
0.67926	1.52573	0.79508
0.76417	1.50537	0.78446
0.84908	1.51223	0.78804
0.93399	1.54547	0.80536
1.01890	1.60104	0.83432
1.10380	1.67202	0.87131
1.18871	1.74931	0.91159
1.27362	1.82250	0.94972
1.35853	1.88084	0.98013
1.44343	1.91430	0.99756
1.52834	1.91444	0.99764
1.61325	1.91444	0.99764
1.69816	1.91430	0.99756
1.78307	1.88084	0.98013
1.86797	1.82250	0.94972
1.95288	1.74931	0.91159
2.03779	1.67202	0.87131
2.12270	1.60104	0.83432
2.20761	1.54547	0.80536
2.29251	1.51223	0.78804
2.37742	1.50537	0.78446
2.46233	1.52573	0.79508
2.54724	1.57084	0.81858
2.63215	1.63513	0.85208
2.71705	1.71051	0.89136
2.80196	1.78709	0.93127
2.88687	1.85418	0.96623
2.97178	1.90125	0.99076
3.05669	1.91898	1.00000
3.14159	1.90012	0.99017
3.22650	1.91898	1.00000
3.31141	1.90125	0.99076
3.39632	1.85418	0.96623
3.48123	1.78709	0.93127
3.56613	1.71051	0.89136
3.65104	1.63513	0.85208
3.73595	1.57084	0.81858
3.82086	1.52573	0.79508
3.90577	1.50537	0.78446
3.99067	1.51223	0.78804
4.07558	1.54547	0.80536
4.16049	1.60104	0.83432
4.24540	1.67202	0.87131
4.33031	1.74931	0.91159
4.41521	1.82250	0.94972
4.50012	1.88084	0.98013
4.58503	1.91430	0.99756
4.66994	1.91444	0.99764
4.75485	1.91444	0.99764
4.83975	1.91430	0.99756
4.92466	1.88084	0.98013
5.00957	1.82249	0.94972
5.09448	1.74931	0.91158
5.17939	1.67202	0.87131
5.26429	1.60104	0.83432
5.34920	1.54547	0.80536
5.43411	1.51223	0.78804
5.51902	1.50537	0.78447
5.60393	1.52573	0.79508
5.68883	1.57084	0.81858
5.77374	1.63513	0.85209
5.85865	1.71051	0.89137
5.94356	1.78710	0.93128
6.02847	1.85418	0.96623
6.11337	1.90125	0.99076
6.19828	1.91898	1.00000

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

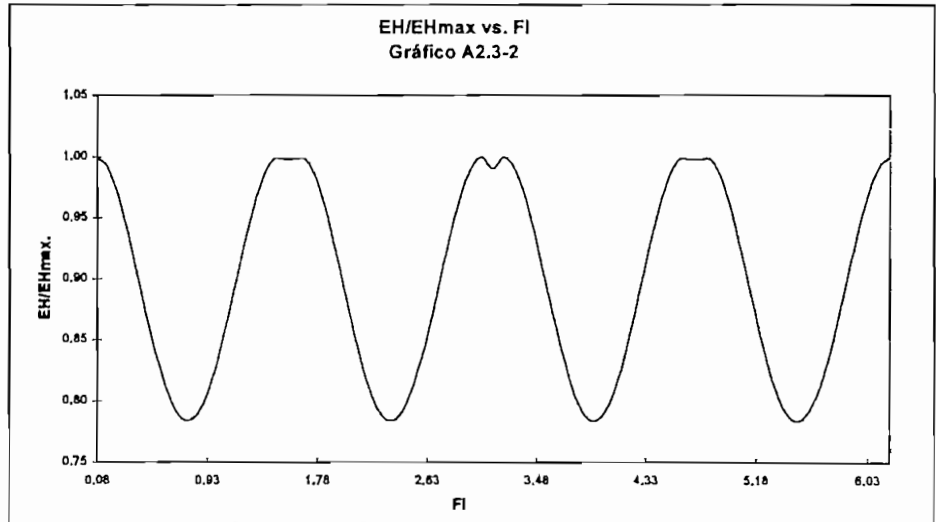
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0,2λ
 d2 = 0,2λ
 d3 = 0,2λ
 d4 = 0,2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0,95
 k2 = 0,95
 k3 = 0,95
 k4 = 0,95



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3-3

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	1.81798	1.00000
0.16982	1.80119	0.99076
0.25472	1.75659	0.96623
0.33963	1.69303	0.93127
0.42454	1.62048	0.89136
0.50945	1.54907	0.85208
0.59436	1.48816	0.81858
0.67926	1.44543	0.79508
0.76417	1.42614	0.78447
0.84908	1.43264	0.78804
0.93399	1.46413	0.80536
1.01890	1.51677	0.83432
1.10380	1.58402	0.87131
1.18871	1.65724	0.91159
1.27362	1.72657	0.94972
1.35853	1.78185	0.98013
1.44343	1.81354	0.99756
1.52834	1.81368	0.99764
1.61325	1.81368	0.99764
1.69816	1.81354	0.99756
1.78307	1.78185	0.98013
1.86797	1.72658	0.94972
1.95288	1.65724	0.91159
2.03779	1.58402	0.87131
2.12270	1.51677	0.83432
2.20761	1.46413	0.80536
2.29251	1.43264	0.78804
2.37742	1.42614	0.78447
2.46233	1.44543	0.79508
2.54724	1.48816	0.81858
2.63215	1.54907	0.85208
2.71705	1.62048	0.89136
2.80196	1.69303	0.93127
2.88687	1.75659	0.96623
2.97178	1.80119	0.99076
3.05669	1.81798	1.00000
3.14159	1.80011	0.99017
3.22650	1.81798	1.00000
3.31141	1.80119	0.99076
3.39632	1.75659	0.96623
3.48123	1.69303	0.93127
3.56613	1.62048	0.89136
3.65104	1.54907	0.85208
3.73595	1.48816	0.81858
3.82086	1.44543	0.79508
3.90577	1.42614	0.78446
3.99067	1.43264	0.78804
4.07558	1.46413	0.80536
4.16049	1.51678	0.83432
4.24540	1.58402	0.87131
4.33031	1.65724	0.91159
4.41521	1.72658	0.94972
4.50012	1.78185	0.98013
4.58503	1.81355	0.99756
4.66994	1.81368	0.99764
4.75485	1.81368	0.99764
4.83975	1.81354	0.99756
4.92466	1.78185	0.98013
5.00957	1.72657	0.94972
5.09448	1.65724	0.91158
5.17939	1.58402	0.87131
5.26429	1.51677	0.83432
5.34920	1.46413	0.80536
5.43411	1.43264	0.78804
5.51902	1.42614	0.78447
5.60393	1.44543	0.79508
5.68883	1.48816	0.81858
5.77374	1.54907	0.85209
5.85865	1.62048	0.89137
5.94356	1.69304	0.93128
6.02847	1.75659	0.96623
6.11337	1.80119	0.99077
6.19828	1.81798	1.00000

Angulos Acimutales:

- fi 1 = 0
- fi 2 = pi/2
- fi 3 = pi
- fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

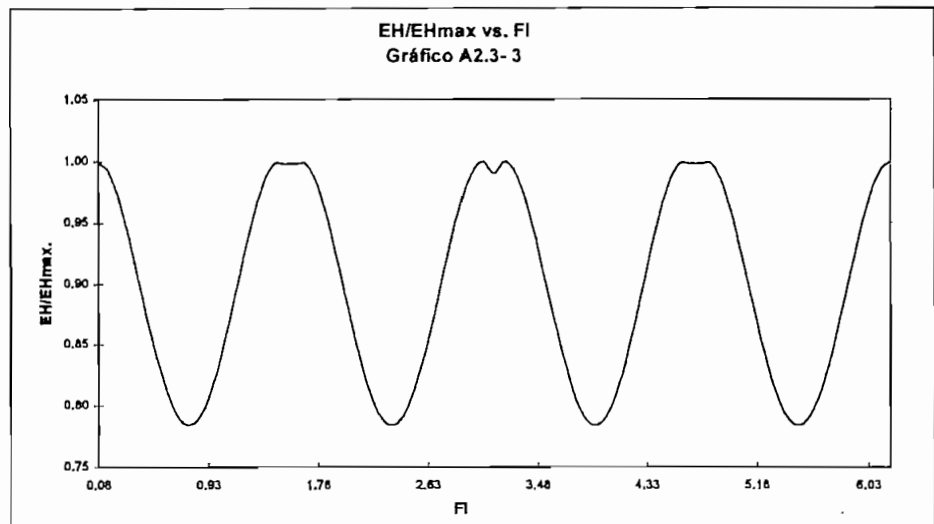
- alfa 1 = 0
- alfa 2 = 0
- alfa 3 = 0
- alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

- d1 = 0.2λ
- d2 = 0.2λ
- d3 = 0.2λ
- d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

- k1 = 0.90
- k2 = 0.90
- k3 = 0.95
- k4 = 0.95



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3- 4

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	1.71698	1.00000
0.16982	1.70112	0.99076
0.25472	1.65900	0.96623
0.33963	1.59898	0.93127
0.42454	1.53045	0.89136
0.50945	1.46301	0.85208
0.59436	1.40549	0.81858
0.67926	1.36513	0.79508
0.76417	1.34691	0.78446
0.84908	1.35305	0.78804
0.93399	1.38279	0.80536
1.01890	1.43251	0.83432
1.10380	1.49602	0.87131
1.18871	1.56517	0.91159
1.27362	1.63065	0.94972
1.35853	1.68286	0.98013
1.44343	1.71279	0.99756
1.52834	1.71292	0.99764
1.61325	1.71292	0.99764
1.69816	1.71279	0.99756
1.78307	1.68286	0.98013
1.86797	1.63065	0.94972
1.95288	1.56517	0.91159
2.03779	1.49602	0.87131
2.12270	1.43251	0.83432
2.20761	1.38279	0.80536
2.29251	1.35305	0.78804
2.37742	1.34691	0.78446
2.46233	1.36513	0.79508
2.54724	1.40549	0.81858
2.63215	1.46301	0.85208
2.71705	1.53045	0.89136
2.80196	1.59898	0.93127
2.88687	1.65900	0.96623
2.97178	1.70112	0.99076
3.05669	1.71698	1.00000
3.14159	1.70010	0.99017
3.22650	1.71698	1.00000
3.31141	1.70112	0.99076
3.39632	1.65900	0.96623
3.48123	1.59898	0.93127
3.56613	1.53045	0.89136
3.65104	1.46301	0.85208
3.73595	1.40548	0.81858
3.82086	1.36513	0.79508
3.90577	1.34691	0.78446
3.99067	1.35305	0.78804
4.07558	1.38279	0.80536
4.16049	1.43251	0.83432
4.24540	1.49602	0.87131
4.33031	1.56517	0.91159
4.41521	1.63066	0.94972
4.50012	1.68286	0.98013
4.58503	1.71279	0.99756
4.66994	1.71292	0.99764
4.75485	1.71292	0.99764
4.83975	1.71279	0.99756
4.92466	1.68285	0.98013
5.00957	1.63065	0.94972
5.09448	1.56517	0.91158
5.17939	1.49601	0.87131
5.26429	1.43251	0.83432
5.34920	1.38279	0.80536
5.43411	1.35304	0.78804
5.51902	1.34891	0.78447
5.60393	1.36513	0.79508
5.68883	1.40549	0.81858
5.77374	1.46301	0.85209
5.85865	1.53046	0.89137
5.94356	1.59898	0.93128
6.02847	1.65900	0.96623
6.11337	1.70112	0.99076
6.19828	1.71698	1.00000

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
 fi 2 = pi/2
 fi 3 = pi
 fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

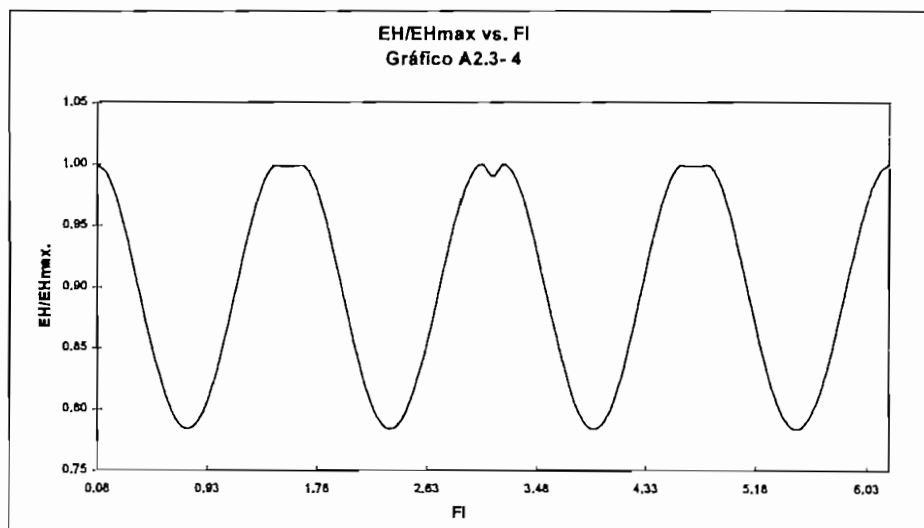
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0,2λ
 d2 = 0,2λ
 d3 = 0,2λ
 d4 = 0,2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0,85
 k2 = 0,85
 k3 = 0,85
 k4 = 0,85



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3- 5

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	1.61598	1.00000
0.16982	1.60105	0.99076
0.25472	1.56141	0.96623
0.33963	1.50492	0.93127
0.42454	1.44043	0.89136
0.50945	1.37695	0.85208
0.59436	1.32281	0.81858
0.67926	1.28483	0.79508
0.76417	1.26768	0.78447
0.84908	1.27345	0.78804
0.93399	1.30145	0.80536
1.01890	1.34824	0.83432
1.10380	1.40802	0.87131
1.18871	1.47310	0.91159
1.27362	1.53473	0.94972
1.35853	1.58386	0.98013
1.44343	1.61204	0.99756
1.52834	1.61216	0.99764
1.61325	1.61216	0.99764
1.69816	1.61204	0.99756
1.78307	1.58386	0.98013
1.86797	1.53473	0.94972
1.95288	1.47310	0.91159
2.03779	1.40802	0.87131
2.12270	1.34824	0.83432
2.20761	1.30145	0.80536
2.29251	1.27345	0.78804
2.37742	1.26768	0.78446
2.46233	1.28483	0.79508
2.54724	1.32281	0.81858
2.63215	1.37695	0.85208
2.71705	1.44043	0.89136
2.80196	1.50492	0.93127
2.88687	1.56141	0.96623
2.97178	1.60106	0.99076
3.05669	1.61598	1.00000
3.14159	1.60010	0.99017
3.22650	1.61598	1.00000
3.31141	1.60105	0.99076
3.39632	1.56141	0.96623
3.48123	1.50492	0.93127
3.56613	1.44043	0.89136
3.65104	1.37695	0.85208
3.73595	1.32281	0.81858
3.82086	1.28483	0.79508
3.90577	1.26768	0.78446
3.99067	1.27345	0.78804
4.07558	1.30145	0.80536
4.16049	1.34824	0.83432
4.24540	1.40802	0.87131
4.33031	1.47311	0.91159
4.41521	1.53473	0.94972
4.50012	1.58387	0.98013
4.58503	1.61204	0.99756
4.66994	1.61216	0.99764
4.75485	1.61216	0.99764
4.83975	1.61204	0.99756
4.92466	1.58386	0.98013
5.00957	1.53473	0.94972
5.09448	1.47310	0.91158
5.17939	1.40801	0.87131
5.26429	1.34824	0.83432
5.34920	1.30145	0.80536
5.43411	1.27345	0.78804
5.51902	1.26768	0.78447
5.60393	1.28483	0.79508
5.68883	1.32281	0.81858
5.77374	1.37695	0.85209
5.85865	1.44043	0.89137
5.94356	1.50492	0.93128
6.02847	1.56142	0.96623
6.11337	1.60106	0.99076
6.19828	1.61598	1.00000

Angulos Acimutales:

fi 1 = 0
fi 2 = pi/2
fi 3 = pi
fi 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

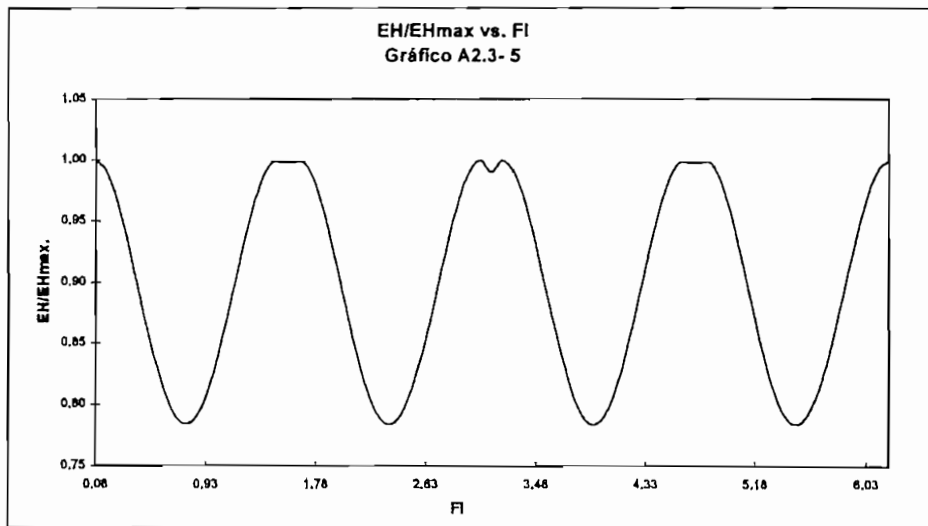
alfa 1 = 0
alfa 2 = 0
alfa 3 = 0
alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
d2 = 0.2λ
d3 = 0.2λ
d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.80
k2 = 0.80
k3 = 0.80
k4 = 0.80



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3- 6

Fl	EH	EH/EH max.
0.08491	1.51498	1.00000
0.16982	1.50099	0.99076
0.25472	1.46382	0.96623
0.33963	1.41086	0.93127
0.42454	1.35040	0.89136
0.50945	1.29089	0.85208
0.59436	1.24013	0.81858
0.67926	1.20453	0.79508
0.76417	1.18845	0.78446
0.84908	1.19386	0.78804
0.93399	1.22011	0.80536
1.01890	1.26398	0.83432
1.10380	1.32001	0.87131
1.18871	1.38103	0.91159
1.27362	1.43881	0.94972
1.35853	1.48487	0.98013
1.44343	1.51129	0.99756
1.52834	1.51140	0.99764
1.61325	1.51140	0.99764
1.69816	1.51129	0.99756
1.78307	1.48487	0.98013
1.86797	1.43881	0.94972
1.95288	1.38103	0.91159
2.03779	1.32002	0.87131
2.12270	1.26398	0.83432
2.20761	1.22011	0.80536
2.29251	1.19386	0.78804
2.37742	1.18845	0.78446
2.46233	1.20453	0.79508
2.54724	1.24013	0.81858
2.63215	1.29089	0.85208
2.71705	1.35040	0.89136
2.80196	1.41086	0.93127
2.88687	1.46383	0.96623
2.97178	1.50099	0.99076
3.05669	1.51498	1.00000
3.14159	1.50009	0.99017
3.22650	1.51498	1.00000
3.31141	1.50099	0.99076
3.39632	1.46382	0.96623
3.48123	1.41086	0.93127
3.56613	1.35040	0.89136
3.65104	1.29089	0.85208
3.73595	1.24013	0.81858
3.82086	1.20452	0.79508
3.90577	1.18845	0.78446
3.99067	1.19386	0.78804
4.07558	1.22011	0.80536
4.16049	1.26398	0.83432
4.24540	1.32002	0.87131
4.33031	1.38104	0.91159
4.41521	1.43881	0.94972
4.50012	1.48487	0.98013
4.58503	1.51129	0.99756
4.66994	1.51140	0.99764
4.75485	1.51140	0.99764
4.83975	1.51129	0.99756
4.92466	1.48487	0.98013
5.00957	1.43881	0.94972
5.09448	1.38103	0.91158
5.17939	1.32001	0.87131
5.26429	1.26398	0.83432
5.34920	1.22011	0.80536
5.43411	1.19386	0.78804
5.51902	1.18845	0.78447
5.60393	1.20453	0.79508
5.68883	1.24014	0.81858
5.77374	1.29089	0.85209
5.85865	1.35040	0.89137
5.94356	1.41086	0.93128
6.02847	1.46383	0.96623
6.11337	1.50099	0.99076
6.19828	1.51498	1.00000

Angulos Acimutales:

fl 1 = 0
 fl 2 = pi/2
 fl 3 = pi
 fl 4 = 3pi/4

Angulos de Desfasamiento:

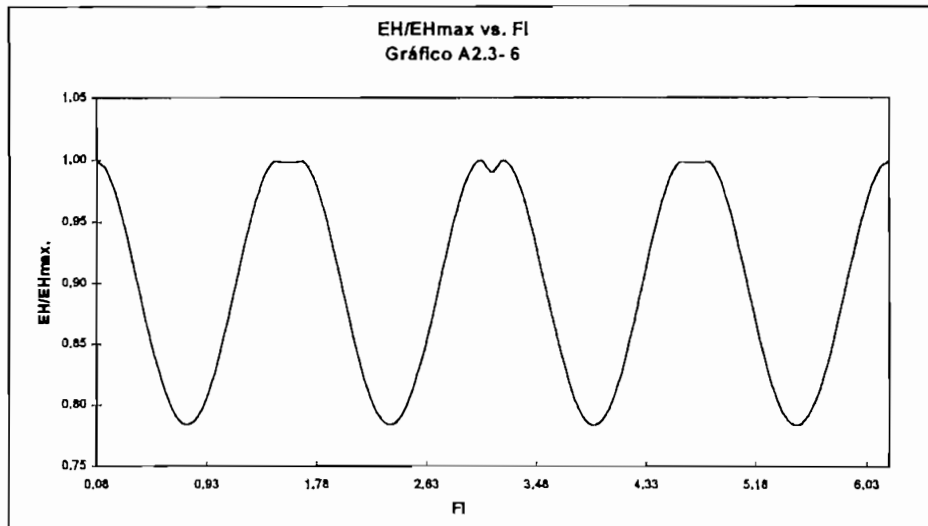
alfa 1 = 0
 alfa 2 = 0
 alfa 3 = 0
 alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

d1 = 0.2λ
 d2 = 0.2λ
 d3 = 0.2λ
 d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

k1 = 0.75
 k2 = 0.75
 k3 = 0.75
 k4 = 0.75



CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL

Cuadro A2.3- 7

FI	EH	EH/EH max.
0.08491	1.41398	1.00000
0.16982	1.40092	0.99076
0.25472	1.36624	0.96623
0.33963	1.31680	0.93127
0.42454	1.26037	0.89136
0.50945	1.20483	0.85208
0.59436	1.15746	0.81858
0.67926	1.12422	0.79508
0.76417	1.10922	0.78446
0.84908	1.11427	0.78804
0.93399	1.13877	0.80536
1.01890	1.17971	0.83432
1.10380	1.23201	0.87131
1.18871	1.28897	0.91159
1.27362	1.34289	0.94972
1.35853	1.38588	0.98013
1.44343	1.41053	0.99756
1.52834	1.41064	0.99764
1.61325	1.41064	0.99764
1.69816	1.41053	0.99756
1.78307	1.38588	0.98013
1.86797	1.34289	0.94972
1.95288	1.28897	0.91159
2.03779	1.23201	0.87131
2.12270	1.17971	0.83432
2.20761	1.13877	0.80536
2.29251	1.11427	0.78804
2.37742	1.10922	0.78446
2.46233	1.12422	0.79508
2.54724	1.15746	0.81858
2.63215	1.20483	0.85208
2.71705	1.26037	0.89136
2.80196	1.31681	0.93127
2.88687	1.36624	0.96623
2.97178	1.40092	0.99076
3.05669	1.41398	1.00000
3.14159	1.40009	0.99017
3.22650	1.41398	1.00000
3.31141	1.40092	0.99076
3.39632	1.36624	0.96623
3.48123	1.31680	0.93127
3.56613	1.26037	0.89136
3.65104	1.20483	0.85208
3.73595	1.15746	0.81858
3.82086	1.12422	0.79508
3.90577	1.10922	0.78446
3.99067	1.11427	0.78804
4.07558	1.13877	0.80536
4.16049	1.17971	0.83432
4.24540	1.23202	0.87131
4.33031	1.28897	0.91159
4.41521	1.34289	0.94972
4.50012	1.38588	0.98013
4.58503	1.41054	0.99756
4.66994	1.41064	0.99764
4.75485	1.41064	0.99764
4.83975	1.41053	0.99756
4.92466	1.38588	0.98013
5.00957	1.34289	0.94972
5.09448	1.28896	0.91158
5.17939	1.23201	0.87131
5.26429	1.17971	0.83432
5.34920	1.13877	0.80536
5.43411	1.11427	0.78804
5.51902	1.10922	0.78447
5.60393	1.12422	0.79508
5.68883	1.15746	0.81858
5.77374	1.20483	0.85209
5.85865	1.26038	0.89137
5.94356	1.31681	0.93128
6.02847	1.36624	0.96623
6.11337	1.40092	0.99077
6.19828	1.41398	1.00000

Angulos Acimutales:

- fi 1 = 0
- fi 2 = $\pi/2$
- fi 3 = π
- fi 4 = $3\pi/4$

Angulos de Desfasamiento:

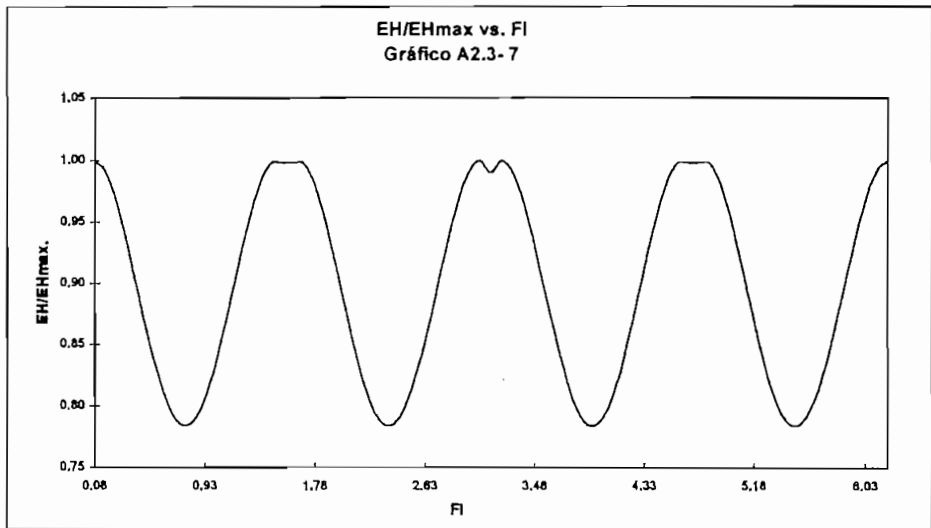
- alfa 1 = 0
- alfa 2 = 0
- alfa 3 = 0
- alfa 4 = 0

Distancia de Elementos:

- d1 = 0.2λ
- d2 = 0.2λ
- d3 = 0.2λ
- d4 = 0.2λ

Constantes Módulo:

- k1 = 0.70
- k2 = 0.70
- k3 = 0.70
- k4 = 0.70



**PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE EL MODULO DE LA
COMPONENTE DEL CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL**

CLS

'DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES

DIM V1 (74), V2 (74), V3(74)

CONST PI = 3.14592654#

'ENTRADA DE DATOS

PRINT "INGRESO DE ANGULOS ACIMUTALES: "

INPUT " VALOR DE f1 = ", F1

INPUT " VALOR DE f2 = ", F2

INPUT " VALOR DE f3 = ", F3

INPUT " VALOR DE f4 = ", F4

PRINT

PRINT "INGRESO DE ANGULOS DE DESFASAMIENTO: "

INPUT " VALOR DE a1 = ", A1

INPUT " VALOR DE a2 = ", A2

INPUT " VALOR DE a3 = ", A3

INPUT " VALOR DE a4 = ", A4

PRINT

PRINT "INGRESO DE DISTANCIAS DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS: "

INPUT " VALOR DE d1 = ", D1

INPUT " VALOR DE d2 = ", D2

INPUT " VALOR DE d3 = ", D3

INPUT " VALOR DE d4 = ", D4

PRINT

PRINT "INGRESO DE CONSTANTES PARA EL MODULO: "

INPUT " VALOR DE k1 = ", K1

INPUT " VALOR DE k2 = ", K2

INPUT " VALOR DE k3 = ", K3

INPUT " VALOR DE k4 = ", K4

PRINT

PRINT "INGRESO DE LA FRECUENCIA DE TRABAJO: "

INPUT " VALOR DE FRECUENCIA (MHz) =", FR

'EVALUACION DE EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE EH

LA = (300 / FR)

BE = 2 * PI / LA

'LA EXPRESION DE EH SE EVALUARA EN PASOS DE PI/37

X = PI / 37

MAX = 0

I = 1

WHILE X < (2 * PI) AND X > 0

FI1 = BE * D1 * COS(X - F1) + A1

FI2 = BE * D2 * COS(X - F2) + A2

FI3 = BE * D3 * COS(X - F3) + A3

FI4 = BE * D4 * COS(X - F4) + A4

H = ABS((COS(PI / 2 * COS(X))) / SIN(X))

G = ABS((COS(PI / 2 * SEN(X))) / COS(X))

EH1=(K1 * COS(FI1) * H + K2 * COS(FI2) * G + K3 * COS(FI3) * H + K4 * COS(FI4) * G) ^ 2

EH2=(K1 * SEN(FI1) * H + K2 * SEN(FI2) * G + K3 * SEN(FI3) * H + K4 * SEN(FI4) * G) ^ 2

EH = (EH1 + EH2) ^ (.5)

'EL VECTOR V1 CORRESPONDE A LOS ANGULOS EN PASOS DE PI/37

```

V1(I) = X
'EL VECTOR V2 CORRESPONDE A LOS VALORES DE EH
V2(I) = EH
'SE BUSCA EL VALOR MAXIMO DE EH
IF EH > MAX THEN
MAX = EH
END IF
X = X + PI / 37
I = I + 1

WEND

'SE IMPRIME EN PANTALLA EL VALOR MAXIMO DE EH
PRINT "MAX EH = ", MAX
PRINT
'SE MUESTRA EN PANTALLA EL CUADRO DE DATOS DE LA SIGUIENTE FORMA
PRINT " f          EH=f(E0)          EH/MAX EH "

I = 1
Y = 1
'SE ABRE UN ARCHIVO DATOSEH PARA GUARDAR EL CUADRO ANTERIOR
OPEN "DATOSEH" FOR OUTPUT AS 1
WHILE I < 74
V3(I) = V2(I) / MAX
PRINT V1 (I), V2 (I), V3(I)
WRITE #1, V1 (I), V2 (I), V3(I)
I = I + 1
Y = Y + 1
'LAZO PARA MOSTRAR EN PANTALLA LOS DATOS DE 20 EN 20
IF Y = 20 OR Y = 40 OR Y = 60 THEN
INPUT "PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR", Z$
END IF

WEND
CLOSE 1
'FIN DEL PROGRAMA
END

```

ANEXO No. 3

ANEXO No. 3

3.1 PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE LA PARTE REAL DE LA IMPEDANCIA DE UNA ANTENA.-

El siguiente programa nos sirve como herramienta para determinar gráficamente la parte real (resistencia) de la impedancia de una antena. El programa está desarrollado en **QUICK BASIC**, y el archivo que corresponde a este programa se llama **RB.EXE** en el diskette adjunto dentro del directorio **BASIC**.

Una vez que entramos al archivo **RB.EXE**, se tiene acceso directamente al programa, el mismo que nos pedirá el ingreso de datos de la siguiente manera:

1. Ingreso del número de elementos de las series:

valor de N =

Como en el desarrollo del programa que se detalla a continuación, existen las series del factorial, seno integral y coseno integral; entonces el valor de N sirve para determinar el número de elementos que utilizará cada una de las series, mientras más grande sea N las aproximaciones serán más reales.

2. Ingreso de impedancia característica

valor de Z0AV =

Ingresamos el valor de la impedancia característica promedio con la que evaluaremos la resistencia de excitación de la antena.

Una vez que se ha ingresado todos los datos, el programa evalúa las siguientes expresiones:

$$Z_{0av} = 60 \ln\left(\frac{2H}{a} - 1\right) \quad (3 - 1)$$

G varía entre 0 y π rad en pasos de $\pi/77$ rad, dentro del programa la variable G está asignada como x.

$$\begin{aligned}
Si(x) &= \int \frac{\text{sen}x}{x} dx = x - \frac{x^3}{3.3!} + \frac{x^5}{5.5!} - \frac{x^7}{7.7!} + \frac{x^9}{9.9!} - \dots \\
Ci(x) &= - \int \frac{\text{cos}x}{x} dx \\
Ci(x) &= \ln x + \Gamma - \frac{x^2}{2.2!} + \frac{x^4}{4.4!} - \frac{x^6}{6.6!} + \frac{x^8}{8.8!} - \frac{x^{10}}{10.10!} + \dots \\
\Gamma &= 0.5772157
\end{aligned}
\tag{3-2}$$

donde Γ es la constante de Euler.

B es la sumatoria de los N elementos de la serie Si(2G)

C es la sumatoria de los N elementos de la serie Si(4G)

D es la sumatoria de los N elementos de la serie Ci(2G) + ln (2G) + Γ

E es la sumatoria de los N elementos de la serie Ci(4G) + ln (4G) + Γ

$$\begin{aligned}
F &= 60Si2G + 30(Ci4G - \ln G - \Gamma) \text{sen}2G - 30 \cos 2G(Si4G) \\
H &= 60(\Gamma + \ln 2G - Ci2G) + 30(\Gamma + \ln G - 2Ci2G + Ci4G) \cos 2G \\
&\quad + 30(Si4G - 2Si2G) \text{sen}2G \\
M1 &= 60(\ln 2G - Ci2G + \Gamma - 1 + \cos 2G) \\
N1 &= 60(Si2G - \text{sen}2G) \\
P &= ((F - N1) \text{sen}G - (2 Z_{0AV} - M1) \cos G) \\
P1 &= H \cos G \\
Q &= ((2 Z_{0AV} + M1) \text{sen}G + (F + N1) \cos G) \\
Q1 &= H \text{sen}G \\
R &= H^2 \cos^2 G
\end{aligned}
\tag{3-3}$$

RB es la expresión para evaluar la resistencia de base o de excitación de una antena:

$$RB = Z_{0AV} \frac{(Q1 * Q - P1 * P)}{Q^2 + R}
\tag{3-4}$$

sacamos el valor absoluto de RB para garantizar que todos los valores son positivos:

$$RB1 = ABS RB \quad (3 - 5)$$

De esta manera el programa hace el cálculo de la resistencia de excitación, se imprime dos columnas de resultados:

1. los valores de G (ángulo) de 0 a π rad en pasos de $\pi/77$ rad
2. el valor de la resistencia de excitación

Este cuadro de resultados es guardado en un archivo creado por el mismo programa, con el nombre de **TABLARB**, de tal forma de importar este cuadro de datos a cualquier hoja electrónica y realizar el gráfico correspondiente a RB1 vs. G. Cada vez que se realiza un nuevo cálculo con el ingreso de datos correspondiente los resultados son actualizados en el archivo **TABLARB**.

Para efectos de escoger el modelo de mejores características, se ha partido de varios valores diferentes de Z_{0AV} de tal forma que sus resistencias de excitación cumplan con las condiciones de diseño. A continuación se presentan los gráficos con sus respectivos cuadros de datos para los valores más representativos. El valor de N que se ha utilizado para el cálculo de las series es de 50.

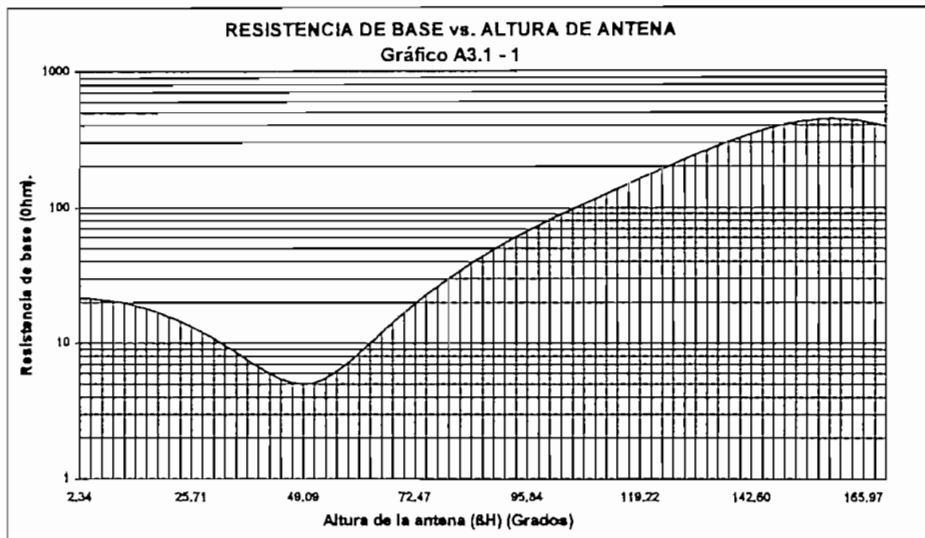
Luego del análisis correspondiente, los datos que serán utilizados para el modelo de mejores características corresponden a los cuadros de datos A3.1-3, A3.1-4 y a los gráficos A3.1-3 y A3.1-4.

Por otro lado podemos comparar en la figura 3.16, la curva correspondiente a $Z_0 = 250 \Omega$, con el gráfico A3.1-4 que también corresponde a un $Z_{0AV} = 250 \Omega$ y de esta manera verificar que la función que se evaluó para el cálculo de la resistencia de excitación es la correcta, puesto que los dos gráficos son muy parecidos.

En la parte final de esta sección, se encuentra un listado del programa.

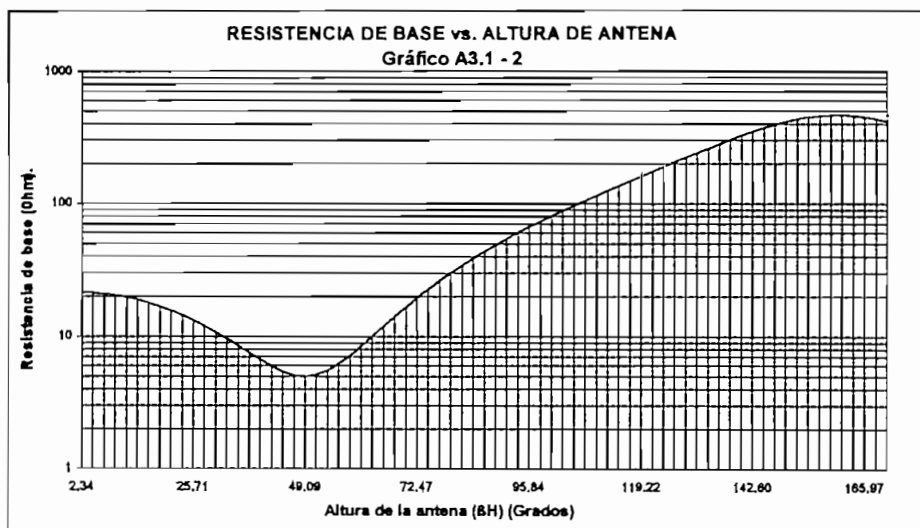
RESISTENCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 235 \text{ ohm}$) Cuadro A3.1- 1

δH	Rb
2.337662	21.57193
4.675324	21.31993
7.012987	20.90512
9.350649	20.33525
11.68831	19.62094
14.02597	18.77554
16.36364	17.81488
18.7013	16.75709
21.03896	15.62239
23.37662	14.43272
25.71428	13.21174
28.05195	11.98433
30.38961	10.77639
32.72727	9.614544
35.06493	8.525741
37.4026	7.538964
39.74026	6.674809
42.07792	5.965155
44.41558	5.432824
46.75325	5.101253
49.09091	4.992203
51.42857	5.125614
53.76624	5.519342
56.1039	6.189091
58.44156	7.148324
60.77922	8.408257
63.11688	9.977966
65.45454	11.86453
67.79221	14.07326
70.12987	16.60805
72.46753	19.47182
74.80519	22.66693
77.14286	26.19575
79.48052	30.06122
81.81818	34.26734
84.15585	38.81975
86.49351	43.7262
88.83117	48.99697
91.16883	54.64526
93.50649	60.68758
95.84415	67.1441
98.18182	74.03905
100.5195	81.40104
102.8571	89.26367
105.1948	97.66589
107.5325	106.6525
109.8701	116.2748
112.2078	126.5903
114.5455	137.6633
116.8831	149.5634
119.2208	162.3644
121.5584	176.141
123.8961	190.9638
126.2338	206.8922
128.5714	223.9647
130.9091	242.1863
133.2467	261.5107
135.5844	281.825
137.9221	302.9264
140.2597	324.5085
142.5974	346.1489
144.9351	367.3041
147.2727	387.3239
149.6104	405.4838
151.9481	421.0216
154.2857	433.2078
156.6234	441.3947
158.961	445.092
161.2987	444.008
163.6364	438.0833
165.974	427.4966
168.3117	412.6631
170.6494	394.1797
172.987	372.8245
175.3247	349.4007
177.6623	324.7821



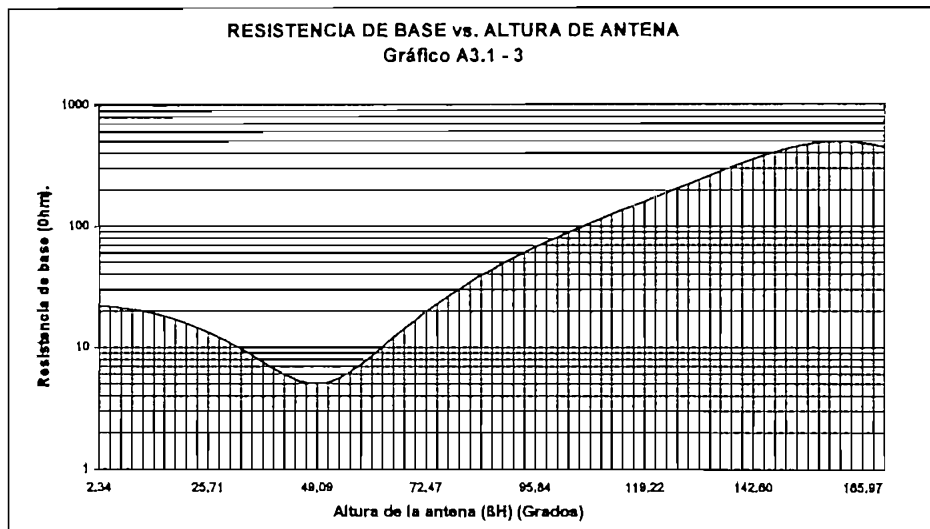
RESISTENCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 240 \text{ ohm}$) Cuadro A3.1- 2

θH	Rb
2.337662	21.70762
4.675324	21.45372
7.012987	21.03579
9.350649	20.46166
11.68831	19.74204
14.02597	18.89038
16.36364	17.92267
18.7013	16.85719
21.03896	15.71435
23.37662	14.51628
25.71428	13.28681
28.05195	12.05104
30.38961	10.83502
32.72727	9.665571
35.06493	8.569785
37.4026	7.57478
39.74026	6.70726
42.07792	5.993183
44.41558	5.457427
46.75325	5.123449
49.09091	5.013002
51.42857	5.145982
53.76624	5.540167
56.1039	6.211149
58.44156	7.172244
60.77922	8.43448
63.11688	10.00672
65.45454	11.89577
67.79221	14.10665
70.12987	16.64292
72.46753	19.50709
74.80519	22.70109
77.14286	26.22677
79.48052	30.08652
81.81818	34.28371
84.15585	38.82329
86.49351	43.71226
88.83117	48.96009
91.16883	54.57915
93.50649	60.58517
95.84415	66.99752
98.18182	73.83975
100.5195	81.14003
102.8571	88.93173
105.1948	97.25402
107.5325	106.1525
109.8701	115.68
112.2078	125.8968
114.5455	136.8713
116.8831	148.6793
119.2208	161.4031
121.5584	175.1295
123.8961	189.9454
126.2338	205.9321
128.5714	223.156
130.9091	241.6577
133.2467	261.4341
135.5844	282.4223
137.9221	304.4738
140.2597	327.3356
142.5974	350.6296
144.9351	373.8352
147.2727	396.292
149.6104	417.2178
151.9481	435.7379
154.2857	450.9565
156.6234	462.0173
158.961	468.2044
161.2987	469.0174
163.6364	464.2372
165.974	453.9613
168.3117	438.6129
170.6494	418.8809
172.987	395.7016
175.3247	370.0667
177.6623	343.0441



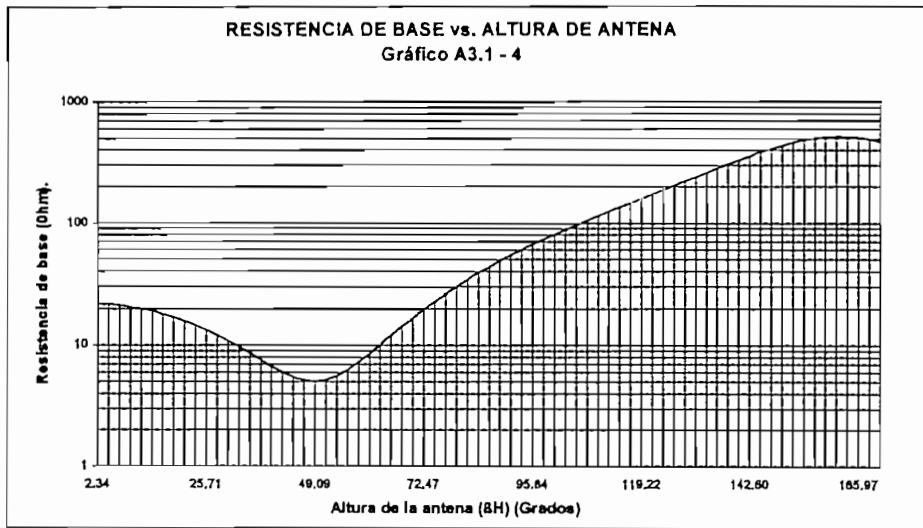
RESISTENCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 245 \text{ ohm}$) Cuadro A3.1- 3

BH	Rb
2.337662	21.83897
4.675324	21.58323
7.012987	21.16229
9.350649	20.58403
11.68831	19.85925
14.02597	19.00153
16.36364	18.02699
18.7013	16.95407
21.03896	15.80335
23.37662	14.59714
25.71428	13.35945
28.05195	12.11557
30.38961	10.89174
32.72727	9.714926
35.06493	8.61238
37.4026	7.611346
39.74026	6.738631
42.07792	6.020274
44.41558	5.481202
46.75325	5.144894
49.09091	5.033092
51.42857	5.16565
53.76624	5.56027
56.1039	6.232436
58.44156	7.195318
60.77922	8.459767
63.11688	10.03443
65.45454	11.92587
67.79221	14.13881
70.12987	16.67648
72.46753	19.54102
74.80519	22.73392
77.14286	26.25657
79.48052	30.11081
81.81818	34.29942
84.15585	38.82668
86.49351	43.69889
88.83117	48.92476
91.16883	54.5159
93.50649	60.48725
95.84415	66.85745
98.18182	73.64944
100.5195	80.89091
102.8571	88.615
105.1948	96.86102
107.5325	105.6752
109.8701	115.1118
112.2078	125.2334
114.5455	136.1119
116.8831	147.8283
119.2208	160.4728
121.5584	174.1425
123.8961	188.9389
126.2338	204.9627
128.5714	222.3061
130.9091	241.0423
133.2467	261.2093
135.5844	282.7927
137.9221	305.6994
140.2597	329.7341
142.5974	354.9717
144.9351	379.7301
147.2727	404.5568
149.6104	428.2344
151.9481	449.7942
154.2857	468.1839
156.6234	482.3338
158.961	491.2801
161.2987	494.2762
163.6364	490.9008
165.974	481.1319
168.3117	465.3775
170.6494	444.4153
172.987	419.3535
175.3247	391.3973
177.6623	361.8361



RESISTENCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 250 \text{ ohm}$) Cuadro A3.1- 4

θH	Rb
2.337662	21.96619
4.675324	21.70868
7.012987	21.28481
9.350649	20.70255
11.68831	19.97277
14.02597	19.10918
16.36364	18.12802
18.7013	17.04788
21.03896	15.88952
23.37662	14.67542
25.71428	13.42977
28.05195	12.17804
30.38961	10.94664
32.72727	9.762688
35.06493	8.653595
37.4026	7.646721
39.74026	6.768976
42.07792	6.046474
44.41558	5.50419
46.75325	5.165624
49.09091	5.052507
51.42857	5.184652
53.76624	5.579688
56.1039	6.25299
58.44156	7.21759
60.77922	8.484168
63.11688	10.06116
65.45454	11.95489
67.79221	14.1698
70.12987	16.7088
72.46753	19.57367
74.80519	22.7655
77.14286	26.28522
79.48052	30.13414
81.81818	34.31449
84.15585	38.82992
86.49351	43.68605
88.83117	48.89089
91.16883	54.45531
93.50649	60.39352
95.84415	66.72349
98.18182	73.46753
100.5195	80.65288
102.8571	88.31245
105.1948	96.48563
107.5325	105.2192
109.8701	114.5686
112.2078	124.5982
114.5455	135.3831
116.8831	147.0091
119.2208	159.5727
121.5584	173.1806
123.8961	187.947
126.2338	203.99
128.5714	221.4252
130.9091	240.3559
133.2467	260.8584
135.5844	282.9656
137.9221	306.6395
140.2597	331.7451
142.5974	358.0178
144.9351	385.0257
147.2727	412.1431
149.6104	438.5387
151.9481	463.1715
154.2857	484.8475
156.6234	502.2844
158.961	514.2527
161.2987	519.7242
163.6364	518.0292
165.974	508.9828
168.3117	492.9487
170.6494	470.7858
172.987	443.7877
175.3247	413.3994
177.6623	381.1616



PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE LA PARTE REAL DE LA
IMPEDANCIA DE UNA ANTENA

CLS

'DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES

DIM V1(77), V2(77)

CONST PI = 3.141592654#

CONST EU = .5772157#

'DIMENSIONAMIENTO DE LAS VARIABLES

DEFDBL B-H

DEFDBL M-R

DEFDBL X

FACT = 1!

FACT1 = 1!

'ENTRADA DE DATOS

PRINT "INGRESO DEL NUMERO DE ELEMENTOS DE LAS SERIES: "

INPUT "VALOR DE N =", N

PRINT "INGRESO DE IMPEDANCIA CARACTERISTICA PROMEDIO: "

INPUT "VALOR DE Z0AV =", Z0AV

'LA EXPRESION DE RB SE EVALUARA EN PASOS DE PI/77

X = PI / 77

'SUBROUTINA PARA LA EVALUACION DE LA EXPRESION DEL SENO INTEGRAL

I = 1

WHILE X < (PI) AND X > 0

FOR K = 0 TO N

 J = 2 * K + 1

 L = J

 WHILE L > 1

 FACT = FACT * L

 L = L - 1

 WEND

 B1 = (-1) ^ K * (2 * X) ^ J / (J * FACT)

 C1 = (-1) ^ K * (4 * X) ^ J / (J * FACT)

 SUMB = SUMB + B1

 SUMC = SUMC + C1

 FACT = 1!

NEXT K

'SUBROUTINA PARA LA EVALUACION DE LA EXPRESION DEL COSENO INTEGRAL

FOR M = 1 TO N

 J1 = 2 * M

 L1 = J1

 WHILE L1 > 1

 FACT1 = FACT1 * L1

 L1 = L1 - 1

 WEND

 D1 = (-1) ^ M * (2 * X) ^ J1 / (J1 * FACT1)

 E1 = (-1) ^ M * (4 * X) ^ J1 / (J1 * FACT1)

 SUMD = SUMD + D1

 SUME = SUME + E1

 FACT1 = 1!


```
INPUT "PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR", Z$  
END IF
```

```
WEND  
CLOSE 1  
'FIN DEL PROGRAMA  
END
```

3.2 PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE LA PARTE IMAGINARIA DE LA IMPEDANCIA DE UNA ANTENA.-

Este programa sirve como herramienta para determinar gráficamente la parte imaginaria (reactancia) de la impedancia de una antena. El programa estructuralmente es muy similar al anterior, la diferencia radica en la evaluación de la expresión para calcular la reactancia de excitación de una antena. El programa está desarrollado en **QUICK BASIC**, y el archivo que corresponde a este programa se llama **XB.EXE** en el diskette adjunto dentro del directorio **BASIC**.

Una vez que entramos al archivo **XB.EXE**, el programa nos pedirá el ingreso de datos de la siguiente manera:

1. Ingreso del número de elementos de las series:

valor de N =

Como en el desarrollo del programa que se detalla a continuación, existen las series del factorial, seno integral y coseno integral; entonces el valor de N sirve para determinar el número de elementos que utilizará cada una de las series, mientras más grande sea N las aproximaciones serán más reales.

2. Ingreso de impedancia característica

valor de ZOAV =

Ingresamos el valor de la impedancia característica promedio con la que evaluaremos la reactancia de excitación de la antena.

Una vez que se ha ingresado todos los datos, el programa evalúa las siguientes expresiones:

$$Z_{0av} = 60 \ln\left(\frac{2H}{a} - 1\right) \quad (3-6)$$

G varía entre 0 y π rad en pasos de $\pi/77$ rad, dentro del programa la variable G está asignada como x.

$$\begin{aligned}
Si(x) &= \int \frac{\text{sen}x}{x} dx = x - \frac{x^3}{3.3!} + \frac{x^5}{5.5!} - \frac{x^7}{7.7!} + \frac{x^9}{9.9!} - \dots \\
Ci(x) &= - \int \frac{\text{cos}x}{x} dx \\
Ci(x) &= \ln x + \Gamma - \frac{x^2}{2.2!} + \frac{x^4}{4.4!} - \frac{x^6}{6.6!} + \frac{x^8}{8.8!} - \frac{x^{10}}{10.10!} + \dots \\
\Gamma &= 0.5772157
\end{aligned}
\tag{3-7}$$

donde Γ es la constante de Euler.

B es la sumatoria de los N elementos de la serie Si(2G)

C es la sumatoria de los N elementos de la serie Si(4G)

D es la sumatoria de los N elementos de la serie Ci(2G) + ln (2G) + Γ

E es la sumatoria de los N elementos de la serie Ci(4G) + ln (4G) + Γ

$$\begin{aligned}
F &= 60Si2G + 30(Ci4G - \ln G - \Gamma) \text{sen}2G - 30 \cos 2G(Si4G) \\
H &= 60(\Gamma + \ln 2G - Ci2G) + 30(\Gamma + \ln G - 2Ci2G + Ci4G) \cos 2G \\
&\quad + 30(Si4G - 2Si2G) \text{sen}2G \\
M1 &= 60(\ln 2G - Ci2G + \Gamma - 1 + \cos 2G) \\
N1 &= 60(Si2G - \text{sen}2G) \\
P &= ((F - N1) \text{sen}G - (2 Z_{0AV} - M1) \cos G) \\
P1 &= H \cos G \\
Q &= ((2 Z_{0AV} + M1) \text{sen}G + (F + N1) \cos G) \\
R &= H^2 \cos^2 G
\end{aligned}
\tag{3-8}$$

XB es la expresión para evaluar la reactancia de base o de excitación de una antena:

$$XB = Z_{0AV} \frac{(P + P1 * Q)}{Q^2 + R}
\tag{3-9}$$

sacamos el valor absoluto de XB para garantizar que todos los valores son positivos y trabajar en un solo cuadrante:

$$XB1 = \text{ABS } XB \quad (3 - 10)$$

De esta manera el programa hace el cálculo de la reactancia de excitación, e imprime dos columnas de resultados:

1. los valores de G (ángulo) de 0 a π rad en pasos de $\pi/77$ rad
2. el valor de la reactancia de excitación

Este cuadro de resultados es guardado en un archivo creado por el mismo programa, con el nombre de **TABLAXB**, de tal forma de importar este cuadro de datos a cualquier hoja electrónica y realizar el gráfico correspondiente a XB1 vs. G. Cada vez que se realiza un nuevo cálculo con el ingreso de datos correspondiente los resultados son actualizados en el archivo **TABLAXB**.

Para efectos de escoger el modelo de mejores características, se ha partido de varios valores diferentes de Z_{0AV} de tal forma que sus reactancias de excitación cumplan con las condiciones de diseño. A continuación se presentan los gráficos con sus respectivos cuadros de datos para los valores más representativos. El valor de N que se ha utilizado para el cálculo de las series es de 50.

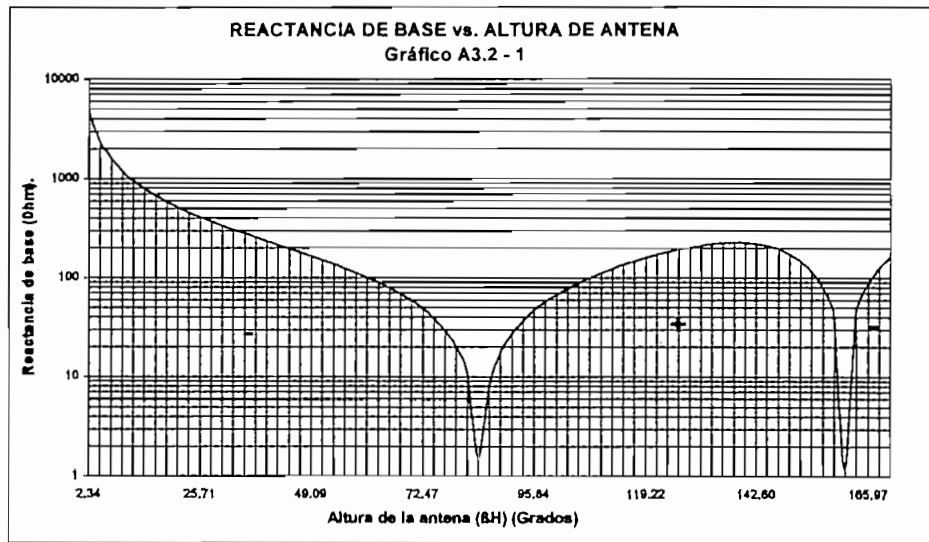
Luego del análisis correspondiente, los datos que serán utilizados para el modelo de mejores características corresponden a los cuadros de datos A3.2-3, A3.2-4 y a los gráficos A3.2-3 y A3.2-4.

Por otro lado podemos comparar en la figura 3.17, la curva correspondiente a $Z_0 = 250 \Omega$, con el gráfico A3.2-4 que también corresponde a un $Z_{0AV} = 250 \Omega$ y de esta manera verificar que la función que se evaluó para el cálculo de la reactancia de excitación es la correcta, puesto que los dos gráficos son muy parecidos.

En la parte final de esta sección, se encuentra un listado del programa.

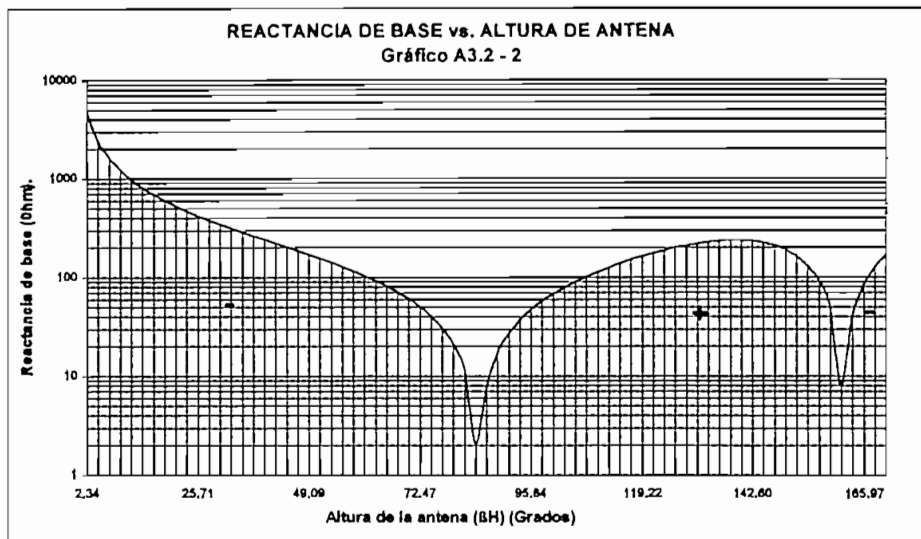
REACTANCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 235 \text{ ohm}$) Cuadro A3.2- 1

θH	X_b
2.337662	4890.684
4.675324	2440.744
7.012987	1622.061
9.350649	1211.197
11.68831	963.4659
14.02597	797.3024
16.36364	677.7477
18.7013	587.3186
21.03896	516.299
23.37662	458.8556
25.71428	411.2739
28.05195	371.0749
30.38961	336.5411
32.72727	306.4445
35.06493	279.8837
37.4026	256.1825
39.74026	234.8233
42.07792	215.403
44.41558	197.6026
46.75325	181.1664
49.09091	165.8861
51.42857	151.5902
53.76624	138.1356
56.1039	125.4019
58.44156	113.2866
60.77922	101.7015
63.11688	90.57006
65.45454	79.82534
67.79221	69.40771
70.12987	59.26353
72.46753	49.34367
74.80519	39.60228
77.14286	29.99583
79.48052	20.48222
81.81818	11.02029
84.15585	1.589364
86.49351	7.910776
88.83117	17.4598
91.16883	27.11645
93.50649	36.91786
95.84415	46.89877
98.18182	57.09044
100.5195	67.51943
102.8571	78.20608
105.1948	89.16264
107.5325	100.3915
109.8701	111.8823
112.2078	123.609
114.5455	135.5261
116.8831	147.5634
119.2208	159.6207
121.5584	171.5597
123.8961	183.1961
126.2338	194.2897
128.5714	204.5345
130.9091	213.5506
133.2467	220.8766
135.5844	225.973
137.9221	228.2295
140.2597	226.9899
142.5974	221.5918
144.9351	211.4246
147.2727	196.0028
149.6104	175.0423
151.9481	148.5394
154.2857	116.8191
156.6234	80.56245
158.961	40.79058
161.2987	1.208108
163.6364	43.95145
165.974	85.92239
168.3117	125.6507
170.6494	161.8729
172.987	193.588
175.3247	220.1653
177.6623	241.3014



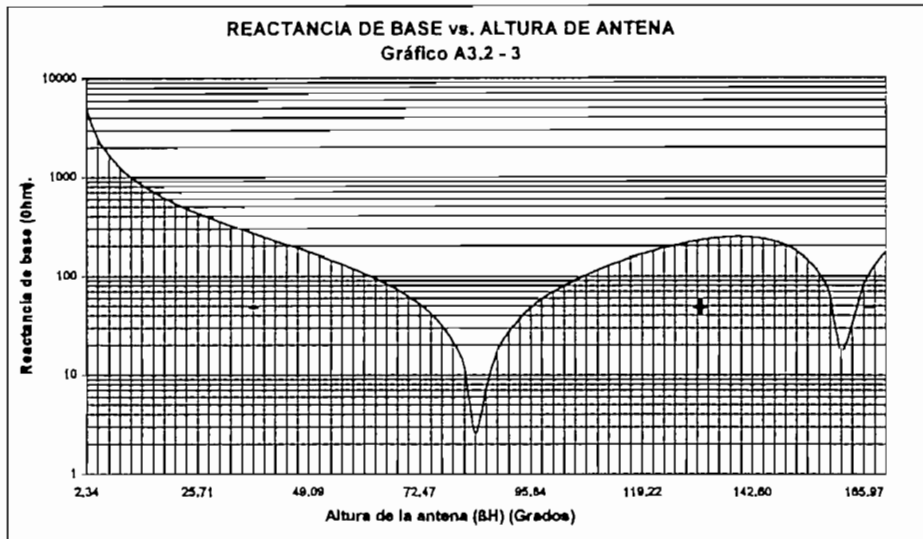
REACTANCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 240 \text{ ohm}$) Cuadro A3.2- 2

δH	Xb
2.337662	5010.446
4.675324	2500.527
7.012987	1661.806
9.350649	1240.89
11.68831	987.1006
14.02597	818.8757
16.36364	694.4003
18.7013	601.7632
21.03896	529.0107
23.37662	470.1669
25.71428	421.4282
28.05195	380.2494
30.38961	344.8768
32.72727	314.0507
35.06493	286.8476
37.4026	262.5749
39.74026	240.7021
42.07792	220.8163
44.41558	202.591
46.75325	185.7639
49.09091	170.1217
51.42857	155.4887
53.76624	141.7184
56.1039	128.6874
58.44156	116.2907
60.77922	104.4381
63.11688	93.05125
65.45454	82.06154
67.79221	71.40796
70.12987	61.03568
72.46753	50.89445
74.80519	40.93747
77.14286	31.12034
79.48052	21.40017
81.81818	11.73511
84.15585	2.083841
86.49351	7.594474
88.83117	17.34011
91.16883	27.19242
93.50649	37.18925
95.84415	47.3662
98.18182	57.75558
100.5195	68.3854
102.8571	79.27783
105.1948	90.44765
107.5325	101.9006
109.8701	113.6307
112.2078	125.6177
114.5455	137.8234
116.8831	150.187
119.2208	162.6197
121.5584	174.9972
123.8961	187.1515
126.2338	198.8605
128.5714	209.8374
130.9091	219.7203
133.2467	228.0615
135.5844	234.3258
137.9221	237.8912
140.2597	238.0658
142.5974	234.1198
144.9351	225.3373
147.2727	211.0901
149.6104	190.9227
151.9481	164.6505
154.2857	132.4389
156.6234	94.86456
158.961	52.93188
161.2987	8.016906
163.6364	38.20859
165.974	83.96412
168.3117	127.4828
170.6494	167.2231
172.987	201.9634
175.3247	230.939
177.6623	253.7992



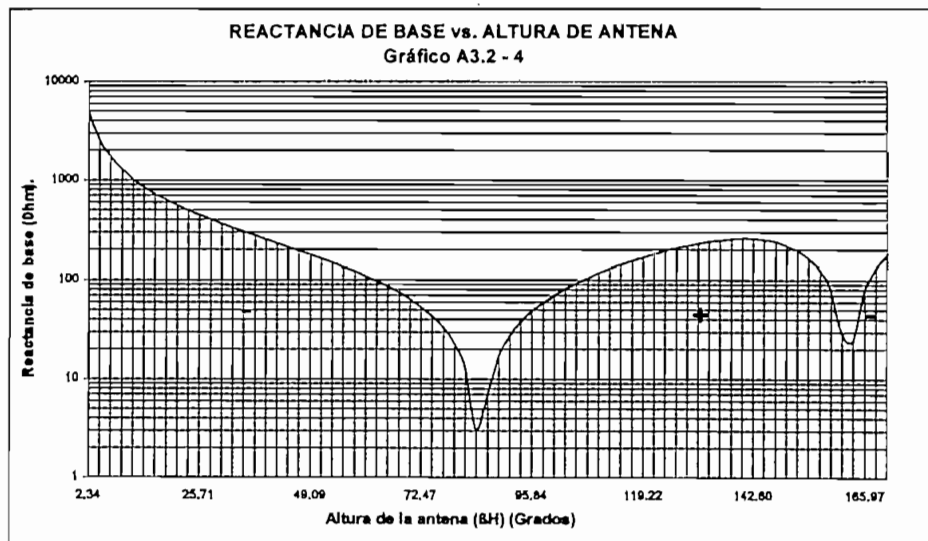
REACTANCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 245 \text{ ohm}$) Cuadro A3.2- 3

BH	Xb
2.337662	5130.303
4.675324	2560.356
7.012987	1701.582
9.350649	1270.606
11.68831	1010.754
14.02597	836.4645
16.36364	711.066
18.7013	616.2194
21.03896	541.7326
23.37662	481.4872
25.71428	431.5866
28.05195	389.4312
30.38961	353.2193
32.72727	321.6631
35.06493	293.8172
37.4026	268.9724
39.74026	246.5856
42.07792	226.2341
44.41558	207.5835
46.75325	190.3651
49.09091	174.3807
51.42857	159.3904
53.76624	145.3041
56.1039	131.9755
58.44156	119.2973
60.77922	107.177
63.11688	95.53445
65.45454	84.29951
67.79221	73.40978
70.12987	62.80917
72.46753	52.44636
74.80519	42.27357
77.14286	32.24551
79.48052	22.31855
81.81818	12.45011
84.15585	2.598212
86.49351	7.278582
88.83117	17.22116
91.16883	27.2695
93.50649	37.46216
95.84415	47.83558
98.18182	58.42311
100.5195	69.25413
102.8571	80.35261
105.1948	91.73571
107.5325	103.4123
109.8701	115.3807
112.2078	127.6258
114.5455	140.1165
116.8831	152.8008
119.2208	165.6005
121.5584	178.4046
123.8961	191.0607
126.2338	203.3644
128.5714	215.0482
130.9091	225.769
133.2467	235.0954
135.5844	242.5006
137.9221	247.3582
140.2597	248.95
142.5974	246.4898
144.9351	239.1676
147.2727	226.219
149.6104	207.0156
151.9481	181.1785
154.2857	148.6862
156.6234	109.9745
158.961	65.99323
161.2987	18.17842
163.6364	31.61625
165.974	81.33139
168.3117	128.8694
170.6494	172.369
172.987	210.3502
175.3247	241.8902
177.6623	266.582



REACTANCIA DE BASE O EXCITACION ($Z_{0av} = 250 \text{ ohm}$) Cuadro A3.2- 4

BH	Xb
2.337662	5250.25
4.675324	2620.231
7.012987	1741.388
9.350649	1300.345
11.68831	1034.425
14.02597	856.068
16.36364	727.7444
18.7013	630.6864
21.03896	554.4641
23.37662	492.816
25.71428	441.7548
28.05195	398.62
30.38961	361.5681
32.72727	329.2813
35.06493	300.7921
37.4026	275.3748
39.74026	252.4737
42.07792	231.6562
44.41558	212.5798
46.75325	194.97
49.09091	178.6031
51.42857	163.2951
53.76624	148.8926
56.1039	135.2663
58.44156	122.3062
60.77922	109.918
63.11688	98.01955
65.45454	86.53918
67.79221	75.41308
70.12987	64.58394
72.46753	53.99933
74.80519	43.61051
77.14286	33.37132
79.48052	23.23733
81.81818	13.16527
84.15585	3.112484
86.49351	6.963076
88.83117	17.10291
91.16883	27.34763
93.50649	37.7365
95.84415	48.30678
98.18182	59.09287
100.5195	70.12544
102.8571	81.43021
105.1948	93.02662
107.5325	104.9265
109.8701	117.1321
112.2078	129.6335
114.5455	142.406
116.8831	155.4057
119.2208	168.5649
121.5584	181.7849
123.8961	194.9282
126.2338	207.8076
128.5714	220.1747
130.9091	231.7059
133.2467	241.9878
135.5844	250.5062
137.9221	256.6357
140.2597	259.6408
142.5974	258.6898
144.9351	252.8897
147.2727	241.3493
149.6104	223.2691
151.9481	198.0661
154.2857	165.5085
156.6234	125.8548
158.961	79.95925
161.2987	29.28431
163.6364	24.14885
165.974	77.99049
168.3117	129.7783
170.6494	177.2861
172.987	218.7339
175.3247	253.0125
177.6623	279.648



PROGRAMA PARA DETERMINAR GRAFICAMENTE LA PARTE IMAGINARIA DE LA
IMPEDANCIA DE UNA ANTENA

```
CLS
'DIMENSIONAMIENTO DE LOS VECTORES
DIM V1(77), V2(77)
CONST PI = 3.141592654#
CONST EU = .5772157#
'DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
DEFDBL B-H
DEFDBL M-R
DEFDBL X
FACT = 1!
FACT1 = 1!

'ENTRADA DE DATOS
PRINT "INGRESO DEL NUMERO DE ELEMENTOS DE LAS SERIES: "
INPUT " VALOR DE N =", N
PRINT "INGRESO DE IMPEDANCIA CARACTERISTICA PROMEDIO: "
INPUT " VALOR DE Z0AV =", Z0AV
X = PI / 77
'SUBROUTINA PARA LA EVALUACION DE LA EXPRESION DEL SENO INTEGRAL
I = 1
WHILE X < (PI) AND X > 0
FOR K = 0 TO N
    J = 2 * K + 1
    L = J
    WHILE L > 1
        FACT = FACT * L
        L = L - 1
    WEND
    B1 = (-1) ^ K * (2 * X) ^ J / (J * FACT)
    C1 = (-1) ^ K * (4 * X) ^ J / (J * FACT)
    SUMB = SUMB + B1
    SUMC = SUMC + C1
    FACT = 1!
NEXT K

'SUBROUTINA PARA LA EVALUACION DE LA EXPRESION DEL COSENO INTEGRAL
FOR M = 1 TO N
    J1 = 2 * M
    L1 = J1
    WHILE L1 > 1
        FACT1 = FACT1 * L1
        L1 = L1 - 1
    WEND
    D1 = (-1) ^ M * (2 * X) ^ J1 / (J1 * FACT1)
    E1 = (-1) ^ M * (4 * X) ^ J1 / (J1 * FACT1)
    SUMD = SUMD + D1
    SUME = SUME + E1
    FACT1 = 1!
NEXT M
```

```
B = SUMB
C = SUMC
D = LOG(2 * X) + EU + SUMD
E = LOG(4 * X) + EU + SUME
```

'EVALUACION DE LAS EXPRESIONES PARA EL CALCULO DE XB

```
F = 60 * B + 30 * (E - LOG(X) - EU) * SIN(2 * X) - 30 * C * COS(2 * X)
H = 60 * (EU + LOG(2 * X) - D) + 30 * (EU + LOG(X) - 2 * D + E) * COS(2 * X) + 30 * (C - 2 * B) * SIN(2 * X)
M1 = 60 * (LOG(2 * X) - D + EU - 1 + COS(2 * X))
N1 = 60 * (B - SIN(2 * X))
P = H ^ 2 * SIN(X) * COS(X)
P1 = ((F - N1) * SIN(X) - (2 * ZOAV - M1) * COS(X))
Q = ((2 * ZOAV + M1) * SIN(X) + (F + N1) * COS(X))
R = H ^ 2 * (COS(X)) ^ 2
XB = ZOAV * (P + P1 * Q) / (Q ^ 2 + R)
XB1 = ABS(XB)
Y = X * 180 / PI
```

'EL VECTOR V1 CORRESPONDE A LOS ANGULOS EN PASOS DE PI/77

```
V1(I) = Y
```

'EL VECTOR V2 CORRESPONDE A LOS VALORES DE XB

```
V2(I) = XB1
```

```
X = X + PI / 77
```

**'SE ENCERAN LOS SUMATORIOS DE LAS EXPRESIONES DEL SENO Y COSENO
'INTEGRALES**

```
SUMB = 0!
```

```
SUMC = 0!
```

```
SUMD = 0!
```

```
SUME = 0!
```

```
B1 = 0!
```

```
C1 = 0!
```

```
D1 = 0!
```

```
E1 = 0!
```

```
I = I + 1
```

```
WEND
```

'SE MUESTRA EN PANTALLA EL CUADRO DE DATOS DE LA SIGUIENTE FORMA

```
PRINT "      ANGULO      XB1 "
```

```
I = 1
```

```
Y1 = 1
```

'SE ABRE UN ARCHIVO TABLAXB PARA GUARDAR EL CUADRO ANTERIOR

```
OPEN "TABLAXB" FOR OUTPUT AS 1
```

```
WHILE I < 77
```

```
PRINT V1 (I), V2(I)
```

```
WRITE #1, V1(I), V2(I)
```

```
I = I + 1
```

```
Y1 = Y1 + 1
```

'LAZO PARA MOSTRAR EN PANTALLA LOS DATOS DE 20 EN 20

```
IF Y1 = 20 OR Y1 = 40 OR Y1 = 60 THEN
```

```
INPUT "PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR", Z$
```

```
END IF
```

WEND
CLOSE 1
'FIN DEL PROGRAMA
END

ANEXO No. 4

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UNA ANTENA DE 4 DIPOLOS
CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz**

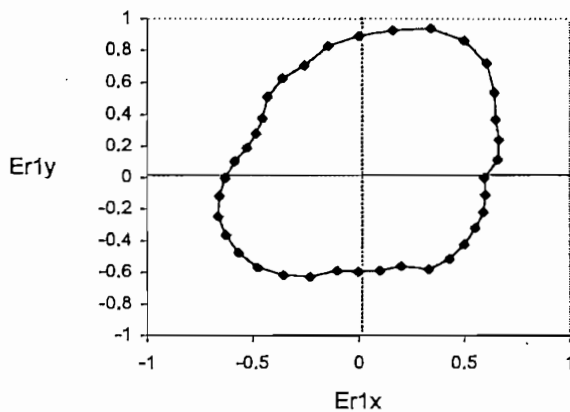
Cuadro A4.1 - 1A

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
4.5	5	4.7
4.5	4	4.2
3.5	3.3	3.4
3	2	2.5
2.5	1	1.7
1.5	0.5	1.0
0.5	0	0.2
0	0	0.0
0	0.5	0.2
0.5	1	0.7
1	2	1.5
1.5	3	2.2
2.5	4	3.2
2.8	5	3.8
3.5	5.5	4.4
4.5	5.5	5.0
5	5.5	5.2
5	5	5.0
4.5	4	4.2
4	3.2	3.6
3.5	2.8	3.1
3	2.8	2.9
2.8	3	2.9
2.6	3	2.8
2.6	3.5	3.0
3	4.5	3.7
3.5	5	4.2
4.5	5	4.7
4.5	4	4.2
4.5	3.6	4.0
4.5	3.4	3.9
3.5	3.5	3.5
3.5	4	3.7
3.7	5	4.3
3.9	5.5	4.7
4	6	4.9
4.3	5	4.6

Cuadro A4.1 - 1B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-32	-32	0	4.5	0.5956621	0.5956621	0
10	0.1745329	-31	-30.52904	-5.383094	3.5	0.6683439	0.6581903	0.116056703
20	0.3490659	-30.5	-28.66062	-10.43161	3	0.7079458	0.6652514	0.242131719
30	0.5235988	-30	-25.98076	-15	2.5	0.7498942	0.6494274	0.374947105
40	0.6981317	-29	-22.21529	-18.64084	1.5	0.8413951	0.6445461	0.540838372
50	0.8726646	-28	-17.99805	-21.44924	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588
60	1.0471976	-27.5	-13.75	-23.8157	0	1	0.5	0.866025404
70	1.2217305	-27.5	-9.405554	-25.84155	0	1	0.3420201	0.939692621
80	1.3962634	-28	-4.862149	-27.57462	0.5	0.9440609	0.1639345	0.92971847
90	1.5707963	-28.5	-1.75E-15	-28.5	1	0.8912509	5.46E-17	0.891250938
100	1.7453293	-29	5.0357972	-28.55942	1.5	0.8413951	-0.146107	0.828612459
110	1.9198622	-30	10.260604	-28.19078	2.5	0.7498942	-0.256479	0.704670055
120	2.0943951	-30.3	15.15	-26.24057	2.8	0.724436	-0.362218	0.627379945
130	2.268928	-31	19.926416	-23.74738	3.5	0.6683439	-0.429603	0.511981144
140	2.443461	-32	24.513422	-20.5692	4.5	0.5956621	-0.456304	0.382884245
150	2.6179939	-32.5	28.145826	-16.25	5	0.5623413	-0.487002	0.281170663
160	2.7925268	-32.5	30.54001	-11.11565	5	0.5623413	-0.528428	0.192332061
170	2.9670597	-32	31.513848	-5.556742	4.5	0.5956621	-0.586613	0.103435646
180	3.1415927	-31.5	31.5	-3.86E-15	4	0.6309573	-0.630957	7.73016E-17
190	3.3161256	-31	30.52904	5.3830935	3.5	0.6683439	-0.65819	-0.116056703
200	3.4906585	-30.5	28.660625	10.431614	3	0.7079458	-0.665251	-0.242131719
210	3.6651914	-30.3	26.24057	15.15	2.8	0.724436	-0.62738	-0.36221798
220	3.8397244	-30.1	23.057938	19.347907	2.6	0.7413102	-0.567877	-0.476505038
230	4.0142573	-30.1	19.347907	23.057938	2.6	0.7413102	-0.476505	-0.567876591
240	4.1887902	-30.5	15.25	26.413775	3	0.7079458	-0.353973	-0.613099034
250	4.3633231	-31	10.602624	29.130471	3.5	0.6683439	-0.228587	-0.628037847
260	4.5378561	-32	5.5567417	31.513848	4.5	0.5956621	-0.103436	-0.586612697
270	4.712389	-32	5.881E-15	32	4.5	0.5956621	-1.09E-16	-0.595662144
280	4.8869219	-32	-5.556742	31.513848	4.5	0.5956621	0.1034356	-0.586612697
290	5.0614548	-32	-10.94464	30.070164	4.5	0.5956621	0.2037285	-0.559739321
300	5.2359878	-31	-15.5	26.846788	3.5	0.6683439	0.334172	-0.578802811
310	5.4105207	-31	-19.92642	23.747378	3.5	0.6683439	0.4296032	-0.511981144
320	5.5850536	-31.2	-23.90059	20.054973	3.7	0.6531306	0.500327	-0.419824227
330	5.7595865	-31.4	-27.1932	15.7	3.9	0.6382635	0.5527524	-0.319731743
340	5.9341195	-31.5	-29.60032	10.773635	4	0.6309573	0.592906	-0.215800121
350	6.1086524	-31.8	-31.31689	5.522012	4.3	0.6095369	0.6002767	-0.105844971
360	6.2831853	-32	-32	7.841E-15	4.5	0.5956621	0.5956621	-1.45955E-16

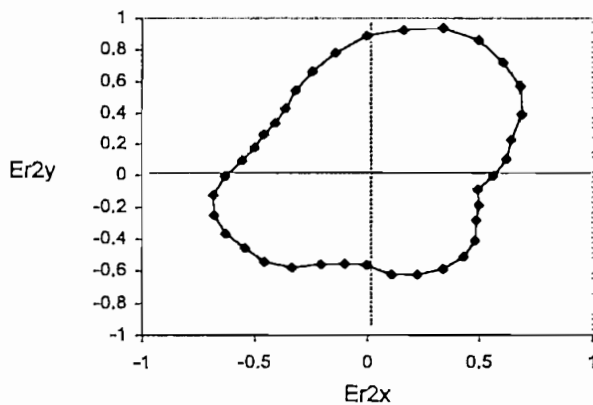
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA DE 4 DIPOLOS) CON ANTENA TX HORIZONTAL
Gráfico A4.1 - 1B



Cuadro A4.1 - 1C

GIRO										
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)		
0	0	-32	-32	0	5	0.5623413	0.5623413	0		
10	0.1745329	-31	-30.52904	-5.383094	4	0.6309573	0.6213717	0.1095646		
20	0.3490659	-30.3	-28.47269	-10.36321	3.3	0.6839116	0.6426667	0.2339116		
30	0.5235988	-29	-25.11474	-14.5	2	0.7943282	0.6879084	0.3971641		
40	0.6981317	-28	-21.44924	-17.99805	1	0.8912509	0.6827378	0.5728851		
50	0.8726646	-27.5	-17.67666	-21.06622	0.5	0.9440609	0.6068306	0.7231926		
60	1.0471976	-27	-13.5	-23.38269	0	1	0.5	0.8660254		
70	1.2217305	-27	-9.234544	-25.3717	0	1	0.3420201	0.9396926		
80	1.3962634	-27.5	-4.775325	-27.08221	0.5	0.9440609	0.1639345	0.9297185		
90	1.5707963	-28	-1.72E-15	-28	1	0.8912509	5.46E-17	0.8912509		
100	1.7453293	-29	5.0357972	-28.55942	2	0.7943282	-0.137934	0.7822606		
110	1.9198622	-30	10.260604	-28.19078	3	0.7079458	-0.242132	0.6652514		
120	2.0943951	-31	15.5	-26.84679	4	0.6309573	-0.315479	0.5464251		
130	2.268928	-32	20.569204	-24.51342	5	0.5623413	-0.361466	0.4307784		
140	2.443461	-32.5	24.896444	-20.8906	5.5	0.5308844	-0.406681	0.3412459		
150	2.6179939	-32.5	28.145826	-16.25	5.5	0.5308844	-0.459759	0.2654422		
160	2.7925268	-32.5	30.54001	-11.11565	5.5	0.5308844	-0.498868	0.1815732		
170	2.9670597	-32	31.513848	-5.556742	5	0.5623413	-0.553798	0.0976495		
180	3.1415927	-31	31	-3.8E-15	4	0.6309573	-0.630957	7.73E-17		
190	3.3161256	-30.2	29.741194	5.244175	3.2	0.691831	-0.681321	-0.1201352		
200	3.4906585	-29.8	28.00284	10.1922	2.8	0.724436	-0.680747	-0.2477717		
210	3.6651914	-29.8	25.807557	14.9	2.8	0.724436	-0.62738	-0.362218		
220	3.8397244	-30	22.981333	19.283628	3	0.7079458	-0.542318	-0.4550588		
230	4.0142573	-30	19.283628	22.981333	3	0.7079458	-0.455059	-0.5423179		
240	4.1887902	-30.5	15.25	26.413775	3.5	0.6683439	-0.334172	-0.5788028		
250	4.3633231	-31.5	10.773635	29.600318	4.5	0.5956621	-0.203728	-0.5597393		
260	4.5378561	-32	5.5567417	31.513848	5	0.5623413	-0.09765	-0.5537981		
270	4.712389	-32	5.881E-15	32	5	0.5623413	-1.03E-16	-0.5623413		
280	4.8869219	-31	-5.383094	30.52904	4	0.6309573	0.1095646	-0.6213717		
290	5.0614548	-30.6	-10.46582	28.754594	3.6	0.6606934	0.2259705	-0.6208488		
300	5.2359878	-30.4	-15.2	26.327172	3.4	0.676083	0.3380415	-0.585505		
310	5.4105207	-30.5	-19.60502	23.364356	3.5	0.6683439	0.4296032	-0.5119811		
320	5.5850536	-31	-23.74738	19.926416	4	0.6309573	0.4833414	-0.4055716		
330	5.7595865	-32	-27.71281	16	5	0.5623413	0.4870019	-0.2811707		
340	5.9341195	-32.5	-30.54001	11.115655	5.5	0.5308844	0.4988682	-0.1815732		
350	6.1086524	-33	-32.49866	5.7303899	6	0.5011872	0.4935731	-0.0870302		
360	6.2831853	-32	-32	7.841E-15	5	0.5623413	0.5623413	-1.378E-16		

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA DE 4 DIPOLOS) CON ANTENA TX
HORIZONTAL**
Gráfico A4.1 - 1C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UNA ANTENA DE 4 DIPOLOS
CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.1 - 2A

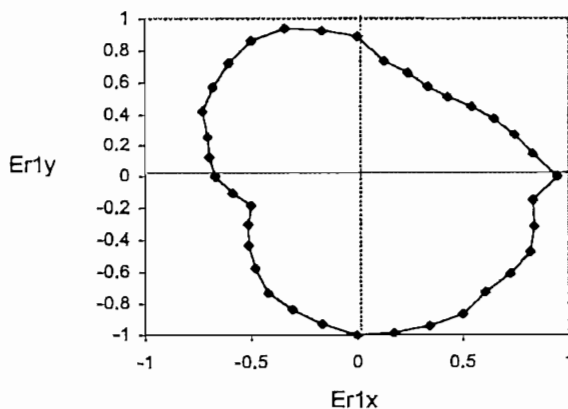
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0.5	2.2	1.3
0.5	3.2	1.7
1.5	4	2.7
2	4.2	3.0
2.5	4.7	3.5
3	5.2	4.0
3.5	4.2	3.8
3.5	3.7	3.6
3	2.7	2.8
2.5	2.2	2.3
1	1.7	1.3
0.5	1.2	0.8
0	1.2	0.6
0	1.7	0.8
0.5	2.2	1.3
1	2.5	1.7
1.5	3.2	2.3
2.5	3.7	3.1
3	4.2	3.6
3.5	4.7	4.1
4.5	5.2	4.8
5.5	4.2	4.8
4.5	3.2	3.8
3.5	2.2	2.8
2.5	1.2	1.8
1.5	0.7	1.1
1	0.2	0.6
0.5	0	0.2
0	0.2	0.1
0	0.2	0.1
0	0.2	0.1
0	0.2	0.1
0.5	0.7	0.6
0.5	1.2	0.8
0.5	2	1.2
1	2.2	1.6
1.5	2.2	1.8

Cuadro A4.1 - 2B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-28	-28	0	0.5	0.9440609	0.9440609	0
10	0.1745329	-29	-28.55942	-5.035797	1.5	0.8413951	0.8286125	0.146106733
20	0.3490659	-29.5	-27.72093	-10.08959	2	0.7943282	0.7464244	0.271676257
30	0.5235988	-30	-25.98076	-15	2.5	0.7498942	0.6494274	0.374947105
40	0.6981317	-30.5	-23.36436	-19.60502	3	0.7079458	0.5423179	0.455058779
50	0.8726646	-31	-19.92642	-23.74738	3.5	0.6683439	0.4296032	0.511981144
60	1.0471976	-31	-15.5	-26.84679	3.5	0.6683439	-0.334172	0.578802811
70	1.2217305	-30.5	-10.43161	-28.66062	3	0.7079458	0.2421317	0.66525143
80	1.3962634	-30	-5.209445	-29.54423	2.5	0.7498942	0.1302178	0.738501631
90	1.5707963	-28.5	-1.75E-15	-28.5	1	0.8912509	5.46E-17	0.891250938
100	1.7453293	-28	4.862149	-27.57462	0.5	0.9440609	-0.163934	0.92971847
110	1.9198622	-27.5	9.4055539	-25.84155	0	1	-0.34202	0.939692621
120	2.0943951	-27.5	13.75	-23.8157	0	1	-0.5	0.866025404
130	2.268928	-28	17.998053	-21.44924	0.5	0.9440609	-0.606831	0.723192588
140	2.443461	-28.5	21.832267	-18.31945	1	0.8912509	-0.682738	0.57288506
150	2.6179939	-29	25.114737	-14.5	1.5	0.8413951	-0.72867	0.420697571
160	2.7925268	-30	28.190779	-10.2606	2.5	0.7498942	-0.70467	0.256478925
170	2.9670597	-30.5	30.036636	-5.296269	3	0.7079458	-0.69719	0.122933495
180	3.1415927	-31	31	-3.8E-15	3.5	0.6683439	-0.668344	8.18821E-17
190	3.3161256	-32	31.513848	5.5567417	4.5	0.5956621	-0.586613	-0.103435646
200	3.4906585	-33	31.009856	11.286665	5.5	0.5308844	-0.498868	-0.181573174
210	3.6651914	-32	27.712813	16	4.5	0.5956621	-0.515859	-0.297831072
220	3.8397244	-31	23.747378	19.926416	3.5	0.6683439	-0.511981	-0.429603189
230	4.0142573	-30	19.283628	22.981333	2.5	0.7498942	-0.482023	-0.574452292
240	4.1887902	-29	14.5	25.114737	1.5	0.8413951	-0.420698	-0.728669567
250	4.3633231	-28.5	9.7475741	26.78124	1	0.8912509	-0.304826	-0.83750193
260	4.5378561	-28	4.862149	27.574617	0.5	0.9440609	-0.163934	-0.92971847
270	4.712389	-27.5	5.054E-15	27.5	0	1	-1.84E-16	-1
280	4.8869219	-27.5	-4.775325	27.082213	0	1	0.1736482	-0.984807753
290	5.0614548	-27.5	-9.405554	25.841547	0	1	0.3420201	-0.939692621
300	5.2359878	-27.5	-13.75	23.815699	0	1	0.5	-0.866025404
310	5.4105207	-28	-17.99805	21.449244	0.5	0.9440609	0.6068306	-0.723192588
320	5.5850536	-28	-21.44924	17.998053	0.5	0.9440609	0.7231926	-0.606830634
330	5.7595865	-28	-24.24871	14	0.5	0.9440609	0.8175807	-0.472030438
340	5.9341195	-28.5	-26.78124	9.7475741	1	0.8912509	0.8375019	-0.304825774
350	6.1086524	-29	-28.55942	5.0357972	1.5	0.8413951	0.8286125	-0.146106733
360	6.2831853	-28	-28	6.861E-15	0.5	0.9440609	0.9440609	-2.31323E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA DE 4 DIPOLOS) CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.1 - 2B

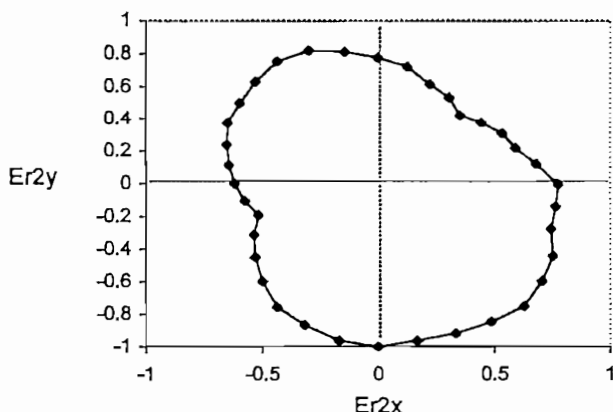


Cuadro A4.1 - 2C

GIRO									
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)	
0	0	-30	-30	0	2.2	0.776247	0.776247	0	
10	0.174533	-31	-30.52904	-5.383094	3.2	0.691831	0.681321	0.1201352	
20	0.349066	-31.8	-29.88223	-10.87624	4	0.630957	0.592906	0.2158001	
30	0.523599	-32	-27.71281	-16	4.2	0.616595	0.533987	0.3082975	
40	0.698132	-32.5	-24.89644	-20.8906	4.7	0.582103	0.445917	0.3741687	
50	0.872665	-33	-21.21199	-25.27947	5.2	0.549541	0.353238	0.4209727	
60	1.047198	-32	-16	-27.71281	4.2	0.616595	0.308298	0.5339869	
70	1.22173	-31.5	-10.77363	-29.60032	3.7	0.653131	0.223384	0.613742	
80	1.396263	-30.5	-5.296269	-30.03664	2.7	0.732825	0.127254	0.7216913	
90	1.570796	-30	-1.84E-15	-30	2.2	0.776247	4.76E-17	0.7762471	
100	1.745329	-29.5	5.122621	-29.05183	1.7	0.822243	-0.142781	0.8097509	
110	1.919862	-29	9.918584	-27.25109	1.2	0.870964	-0.297887	0.8184381	
120	2.094395	-29	14.5	-25.11474	1.2	0.870964	-0.435482	0.7542766	
130	2.268928	-29.5	18.96223	-22.59831	1.7	0.822243	-0.528527	0.6298744	
140	2.443461	-30	22.98133	-19.28363	2.2	0.776247	-0.59464	0.498962	
150	2.617994	-30.3	26.24057	-15.15	2.5	0.749894	-0.649427	0.3749471	
160	2.792527	-31	29.13047	-10.60262	3.2	0.691831	-0.650108	0.2366201	
170	2.96706	-31.5	31.02144	-5.469918	3.7	0.653131	-0.643208	0.1134149	
180	3.141593	-32	32	-3.92E-15	4.2	0.616595	-0.616595	7.554E-17	
190	3.316126	-32.5	32.00625	5.643566	4.7	0.582103	-0.57326	-0.101081	
200	3.490659	-33	31.00986	11.28666	5.2	0.549541	-0.5164	-0.187954	
210	3.665191	-32	27.71281	16	4.2	0.616595	-0.533987	-0.308298	
220	3.839724	-31	23.74738	19.92642	3.2	0.691831	-0.529973	-0.4447	
230	4.014257	-30	19.28363	22.98133	2.2	0.776247	-0.498962	-0.59464	
240	4.18879	-29	14.5	25.11474	1.2	0.870964	-0.435482	-0.754277	
250	4.363323	-28.5	9.747574	26.78124	0.7	0.922571	-0.315538	-0.866934	
260	4.537856	-28	4.862149	27.57462	0.2	0.977237	-0.169695	-0.962391	
270	4.712389	-27.8	5.11E-15	27.8	0	1	-1.84E-16	-1	
280	4.886922	-28	-4.862149	27.57462	0.2	0.977237	0.169695	-0.962391	
290	5.061455	-28	-9.576564	26.31139	0.2	0.977237	0.334235	-0.918303	
300	5.235988	-28	-14	24.24871	0.2	0.977237	0.488619	-0.846312	
310	5.410521	-28	-17.99805	21.44924	0.2	0.977237	0.628156	-0.748607	
320	5.585054	-28.5	-21.83227	18.31945	0.7	0.922571	0.706731	-0.593017	
330	5.759587	-29	-25.11474	14.5	1.2	0.870964	0.754277	-0.435482	
340	5.934119	-29.8	-28.00284	10.1922	2	0.794328	0.746424	-0.271676	
350	6.108652	-30	-29.54423	5.209445	2.2	0.776247	0.764454	-0.134794	
360	6.283185	-30	-30	7.35E-15	2.2	0.776247	0.776247	-1.9E-16	

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA DE 4 DIPOLOS) CON ANTENA TX VERTICAL

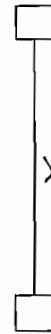
Gráfico A4.1 - 2C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.2 - 1A

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav (dB)
2.5	1.7	2.1
2.5	2.2	2.3
2.5	3.2	2.8
4	5.2	4.6
5	7.2	6.0
7.5	9.7	8.5
11.5	14.2	12.7
14	16.2	15.0
12.5	16.2	14.2
9.5	11.7	10.5
6	7.2	6.6
3.5	4.7	4.1
1.5	2.7	2.1
1	1.7	1.3
0.5	0.7	0.6
0.5	0.2	0.3
0.3	0.2	0.2
0.3	0.4	0.3
0.5	0.2	0.3
0.3	0.2	0.2
0	0	0.0
0	0	0.0
0	0.2	0.1
0.5	0.2	0.3
1	0.7	0.8
1.5	1.2	1.3
2	1.2	1.6
2.5	2.2	2.3
3.5	3.2	3.3
4	3.2	3.6
4.5	3.7	4.1
4	4.2	4.1
4	4.2	4.1
3.5	3.7	3.6
3	3.2	3.1
2.5	2.2	2.3
2.5	1.7	2.1

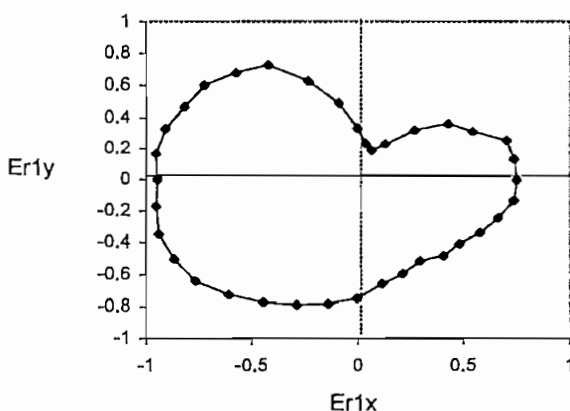


Cuadro A4.2 - 1B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Erlly(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-12	-12	0	2.5	0.7498942	0.7498942	0
10	0.1745329	-12	-11.81769	-2.083778	2.5	0.7498942	0.7385016	0.130217763
20	0.3490659	-12	-11.27631	-4.104242	2.5	0.7498942	0.7046701	0.256478925
30	0.5235988	-13.5	-11.69134	-6.75	4	0.6309573	0.5464251	0.315478672
40	0.6981317	-14.5	-11.70764	-9.32042	5	0.5623413	0.4307784	0.361466036
50	0.8726646	-17	-10.92739	-13.02276	7.5	0.4216965	0.2710613	0.323038263
60	1.0471976	-21	-10.5	-18.18653	11.5	0.2660725	0.1330363	0.230425549
70	1.2217305	-23.5	-8.037473	-22.08278	14	0.1995262	0.068242	0.187493327
80	1.3962634	-22	-3.82026	-21.66577	12.5	0.2371374	0.0411785	0.233534721
90	1.5707963	-19	-1.16E-15	-19	9.5	0.3349654	2.052E-17	0.334965439
100	1.7453293	-15.5	2.6915468	-15.26452	6	0.5011872	-0.08703	0.493573073
110	1.9198622	-13	4.4462619	-12.216	3.5	0.6683439	-0.228587	0.628037847
120	2.0943951	-11	5.5	-9.526279	1.5	0.8413951	-0.420698	0.728669567
130	2.268928	-10.5	6.7492699	-8.043467	1	0.8912509	-0.572885	0.682737829
140	2.443461	-10	7.6604444	-6.427876	0.5	0.9440609	-0.723193	0.606830634
150	2.6179939	-10	8.660254	-5	0.5	0.9440609	-0.817581	0.472030438
160	2.7925268	-9.8	9.2089877	-3.351797	0.3	0.9660509	-0.907791	0.33040886
170	2.9670597	-9.8	9.651116	-1.701752	0.3	0.9660509	-0.951374	0.167752975
180	3.1415927	-10	10	-1.23E-15	0.5	0.9440609	-0.944061	1.15661E-16
190	3.3161256	-9.8	9.651116	1.7017521	0.3	0.9660509	-0.951374	-0.167752975
200	3.4906585	-9.5	8.9270799	3.2491914	0	1	-0.939693	-0.342020143
210	3.6651914	-9.5	8.2272413	4.75	0	1	-0.866025	-0.5
220	3.8397244	-9.5	7.2774222	6.1064823	0	1	-0.766044	-0.64278761
230	4.0142573	-10	6.4278761	7.6604444	0.5	0.9440609	-0.606831	-0.723192588
240	4.1887902	-10.5	5.25	9.0932667	1	0.8912509	-0.445625	-0.771845954
250	4.3633231	-11	3.7622216	10.336619	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.790652806
260	4.5378561	-11.5	1.996954	11.325289	2	0.7943282	-0.137934	-0.782260604
270	4.712389	-12	2.205E-15	12	2.5	0.7498942	-1.38E-16	-0.749894209
280	4.8869219	-13	-2.257426	12.802501	3.5	0.6683439	0.1160567	-0.658190272
290	5.0614548	-13.5	-4.617272	12.68585	4	0.6309573	0.2158001	-0.592905961
300	5.2359878	-14	-7	12.124356	4.5	0.5956621	0.2978311	-0.515858548
310	5.4105207	-13.5	-8.677633	10.3416	4	0.6309573	0.4055716	-0.483341368
320	5.5850536	-13.5	-10.3416	8.6776327	4	0.6309573	0.4833414	-0.405571563
330	5.7595865	-13	-11.25833	6.5	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334171959
340	5.9341195	-12.5	-11.74616	4.2752518	3	0.7079458	0.6652514	-0.242131719
350	6.1086524	-12	-11.81769	2.0837781	2.5	0.7498942	0.7385016	-0.130217763
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	2.5	0.7498942	0.7498942	-1.83746E-16

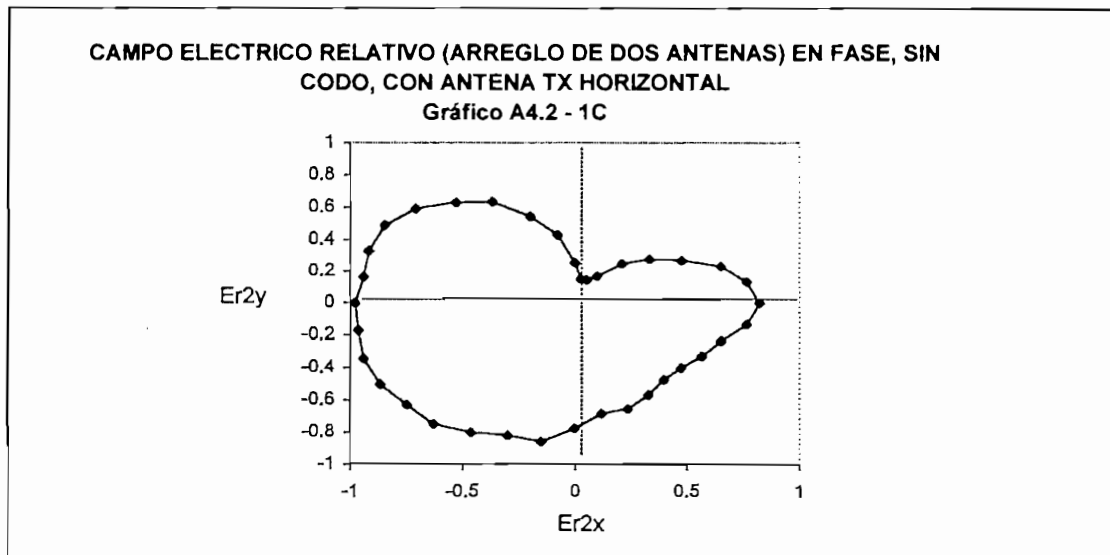
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 1B



Cuadro A4.2 - 1C

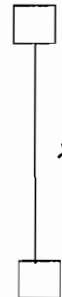
GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-11.5	-11.5	0	1.7	0.8222426	0.8222426	0
10	0.1745329	-12	-11.81769	-2.083778	2.2	0.7762471	0.7644542	0.1347939
20	0.3490659	-13	-12.216	-4.446262	3.2	0.691831	0.6501085	0.2366201
30	0.5235988	-15	-12.99038	-7.5	5.2	0.5495409	0.4759164	0.2747704
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	7.2	0.4365158	0.3343905	0.280587
50	0.8726646	-19.5	-12.53436	-14.93787	9.7	0.3273407	0.2104105	0.2507575
60	1.0471976	-24	-12	-20.78461	14.2	0.1949845	0.0974922	0.1688615
70	1.2217305	-26	-8.892524	-24.43201	16.2	0.1548817	0.0529726	0.1455412
80	1.3962634	-26	-4.514853	-25.605	16.2	0.1548817	0.0268949	0.1525287
90	1.5707963	-21.5	-1.32E-15	-21.5	11.7	0.260016	1.593E-17	0.260016
100	1.7453293	-17	2.952019	-16.74173	7.2	0.4365158	-0.0758	0.4298842
110	1.9198622	-14.5	4.9592921	-13.62554	4.7	0.5821032	-0.199091	0.5469981
120	2.0943951	-12.5	6.25	-10.82532	2.7	0.7328245	-0.366412	0.6346447
130	2.268928	-11.5	7.3920575	-8.809511	1.7	0.8222426	-0.528527	0.6298744
140	2.443461	-10.5	8.0434667	-6.74927	0.7	0.9225714	-0.706731	0.5930175
150	2.6179939	-10	8.660254	-5	0.2	0.9772372	-0.846312	0.4886186
160	2.7925268	-10	9.3969262	-3.420201	0.2	0.9772372	-0.918303	0.3342348
170	2.9670597	-10.2	10.045039	-1.771211	0.4	0.9549926	-0.940484	0.1658327
180	3.1415927	-10	10	-1.23E-15	0.2	0.9772372	-0.977237	1.197E-16
190	3.3161256	-10	9.8480775	1.7364818	0.2	0.9772372	-0.962391	-0.1696955
200	3.4906585	-9.8	9.2089877	3.3517974	0	1	-0.939693	-0.3420201
210	3.6651914	-9.8	8.487049	4.9	0	1	-0.866025	-0.5
220	3.8397244	-10	7.6604444	6.4278761	0.2	0.9772372	-0.748607	-0.628156
230	4.0142573	-10	6.4278761	7.6604444	0.2	0.9772372	-0.628156	-0.7486071
240	4.1887902	-10.5	5.25	9.0932667	0.7	0.9225714	-0.461286	-0.7989703
250	4.3633231	-11	3.7622216	10.336619	1.2	0.8709636	-0.297887	-0.8184381
260	4.5378561	-11	1.91013	10.832885	1.2	0.8709636	-0.151241	-0.8577317
270	4.712389	-12	2.205E-15	12	2.2	0.7762471	-1.43E-16	-0.7762471
280	4.8869219	-13	-2.257426	12.802501	3.2	0.691831	0.1201352	-0.6813205
290	5.0614548	-13	-4.446262	12.216004	3.2	0.691831	0.2366201	-0.6501085
300	5.2359878	-13.5	-6.75	11.691343	3.7	0.6531306	0.3265653	-0.5656277
310	5.4105207	-14	-8.999027	10.724622	4.2	0.616595	0.3963396	-0.4723392
320	5.5850536	-14	-10.72462	8.9990265	4.2	0.616595	0.4723392	-0.3963396
330	5.7595865	-13.5	-11.69134	6.75	3.7	0.6531306	0.5656277	-0.3265653
340	5.9341195	-13	-12.216	4.4462619	3.2	0.691831	0.6501085	-0.2366201
350	6.1086524	-12	-11.81769	2.0837781	2.2	0.7762471	0.7644542	-0.1347939
360	6.2831853	-11.5	-11.5	2.818E-15	1.7	0.8222426	0.8222426	-2.015E-16



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.2 - 2A

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
1.5	1.5	1.5
0.5	1	0.7
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0.5	0.3	0.4
0.5	0.5	0.5
1	1.5	1.2
1.5	2.5	2.0
2	3.5	2.7
3	4.5	3.7
3.5	5.5	4.4
4.5	6	5.2
5	6.5	5.7
5	6	5.5
6	5.5	5.7
6	5.5	5.7
6.5	7	6.7
8.5	9.5	9.0
12.5	13.5	13.0
18.5	18.5	18.5
16.5	16.5	16.5
13	12.5	12.7
11.5	10.5	11.0
10.5	9.5	10.0
10.5	7.5	8.9
11	7.5	9.1
10.5	8	9.2
10.5	9.5	10.0
12.5	11.5	12.0
15.5	15.5	15.5
18.5	17.5	18.0
13.5	12	12.7
9.5	8.5	9.0
7.5	5.5	6.4
6.5	3.5	4.9
4.5	2.5	3.4
1.5	1	1.2

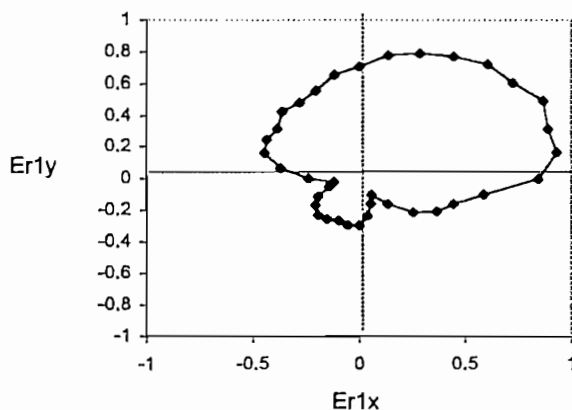


Cuadro A4.2 - 2B

GIRO									
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)	
0	0	-10	-10	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0	0
10	0.1745329	-9	-8.86327	-1.562834	0.5	0.9440609	0.9297185	0.163934451	
20	0.3490659	-9	-8.457234	-3.078181	0.5	0.9440609	0.887127	0.322887836	
30	0.5235988	-8.5	-7.361216	-4.25	0	1	0.8660254	0.5	
40	0.6981317	-9	-6.8944	-5.785088	0.5	0.9440609	0.7231926	0.606830634	
50	0.8726646	-9	-5.785088	-6.8944	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588	
60	1.0471976	-9.5	-4.75	-8.227241	1	0.8912509	0.4456255	0.771845954	
70	1.2217305	-10	-3.420201	-9.396926	1.5	0.8413951	0.2877741	0.790652806	
80	1.3962634	-10.5	-1.823306	-10.34048	2	0.7943282	0.1379337	0.782260604	
90	1.5707963	-11.5	-7.04E-16	-11.5	3	0.7079458	4.337E-17	0.707945784	
100	1.7453293	-12	2.0837781	-11.81769	3.5	0.6683439	-0.116057	0.658190272	
110	1.9198622	-13	4.4462619	-12.216	4.5	0.5956621	-0.203728	0.559739321	
120	2.0943951	-13.5	6.75	-11.69134	5	0.5623413	-0.281171	0.487001873	
130	2.268928	-13.5	8.6776327	-10.3416	5	0.5623413	-0.361466	0.430778447	
140	2.443461	-14.5	11.107644	-9.32042	6	0.5011872	-0.383932	0.322156944	
150	2.6179939	-14.5	12.557368	-7.25	6	0.5011872	-0.434041	0.250593617	
160	2.7925268	-15	14.095389	-5.130302	6.5	0.4731513	-0.444617	0.161827261	
170	2.9670597	-17	16.741732	-2.952019	8.5	0.3758374	-0.370128	0.06526348	
180	3.1415927	-21	21	-2.57E-15	12.5	0.2371374	-0.237137	2.90528E-17	
190	3.3161256	-27	26.589809	4.6885008	18.5	0.1188502	-0.117045	-0.020638125	
200	3.4906585	-25	23.492316	8.5505036	16.5	0.1496236	-0.1406	-0.051174273	
210	3.6651914	-21.5	18.619546	10.75	13	0.2238721	-0.193879	-0.111936057	
220	3.8397244	-20	15.320889	12.855752	11.5	0.2660725	-0.203823	-0.17102811	
230	4.0142573	-19	12.212965	14.554844	10.5	0.2985383	-0.191897	-0.228693577	
240	4.1887902	-19	9.5	16.454483	10.5	0.2985383	-0.149269	-0.258541719	
250	4.3633231	-19.5	6.6693928	18.324006	11	0.2818383	-0.096394	-0.264841364	
260	4.5378561	-19	3.2993154	18.711347	10.5	0.2985383	-0.051841	-0.294002795	
270	4.712389	-19	3.492E-15	19	10.5	0.2985383	-5.49E-17	-0.298538262	
280	4.8869219	-21	-3.646612	20.680963	12.5	0.2371374	0.0411785	-0.233534721	
290	5.0614548	-24	-8.208483	22.552623	15.5	0.1678804	0.0574185	-0.157755975	
300	5.2359878	-27	-13.5	23.382686	18.5	0.1188502	0.0594251	-0.102927312	
310	5.4105207	-22	-14.14133	16.852978	13.5	0.2113489	0.1358525	-0.161902653	
320	5.5850536	-18	-13.7888	11.570177	9.5	0.3349654	0.2565984	-0.215311634	
330	5.7595865	-16	-13.85641	8	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.210848252	
340	5.9341195	-15	-14.09539	5.1303021	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.161827261	
350	6.1086524	-13	-12.8025	2.2574263	4.5	0.5956621	0.5866127	-0.103435646	
360	6.2831853	-10	-10	2.45E-15	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.06167E-16	

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

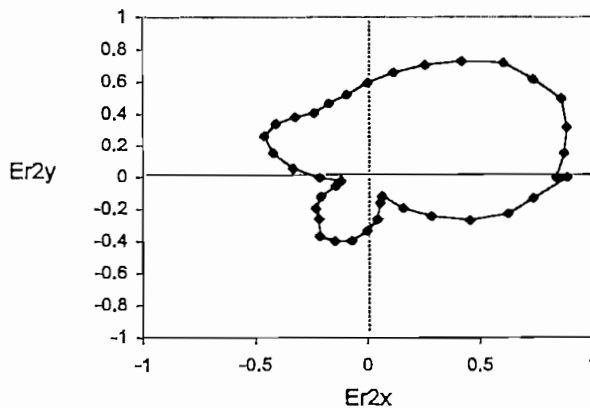
Gráfico A4.2 - 2B



Cuadro A4.2 - 2C

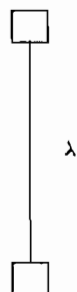
GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-10	-10	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-9.5	-9.355674	-1.649658	1	0.8912509	0.8777108	0.1547641
20	0.3490659	-9	-8.457234	-3.078181	0.5	0.9440609	0.887127	0.3228878
30	0.5235988	-8.5	-7.361216	-4.25	0	1	0.8660254	0.5
40	0.6981317	-8.8	-6.741191	-5.656531	0.3	0.9660509	0.7400379	0.6209655
50	0.8726646	-9	-5.785088	-6.8944	0.5	0.9440609	0.6068306	0.7231926
60	1.0471976	-10	-5	-8.660254	1.5	0.8413951	0.4206976	0.7286696
70	1.2217305	-11	-3.762222	-10.33662	2.5	0.7498942	0.2564789	0.7046701
80	1.3962634	-12	-2.083778	-11.81769	3.5	0.6683439	0.1160567	0.6581903
90	1.5707963	-13	-7.96E-16	-13	4.5	0.5956621	3.649E-17	0.5956621
100	1.7453293	-14	2.4310745	-13.78731	5.5	0.5308844	-0.092187	0.5228191
110	1.9198622	-14.5	4.9592921	-13.62554	6	0.5011872	-0.171416	0.4709619
120	2.0943951	-15	7.5	-12.99038	6.5	0.4731513	-0.236576	0.409761
130	2.268928	-14.5	9.3204203	-11.10764	6	0.5011872	-0.322157	0.3839317
140	2.443461	-14	10.724622	-8.999027	5.5	0.5308844	-0.406681	0.3412459
150	2.6179939	-14	12.124356	-7	5.5	0.5308844	-0.459759	0.2654422
160	2.7925268	-15.5	14.565236	-5.301312	7	0.4466836	-0.419745	0.1527748
170	2.9670597	-18	17.72654	-3.125667	9.5	0.3349654	-0.329877	0.0581661
180	3.1415927	-22	22	-2.7E-15	13.5	0.2113489	-0.211349	2.589E-17
190	3.3161256	-27	26.589809	4.6885008	18.5	0.1188502	-0.117045	-0.0206381
200	3.4906585	-25	23.492316	8.5505036	16.5	0.1496236	-0.1406	-0.0511743
210	3.6651914	-21	18.186533	10.5	12.5	0.2371374	-0.205367	-0.1185687
220	3.8397244	-19	14.554844	12.212965	10.5	0.2985383	-0.228694	-0.1918967
230	4.0142573	-18	11.570177	13.7888	9.5	0.3349654	-0.215312	-0.2565984
240	4.1887902	-16	8	13.856406	7.5	0.4216965	-0.210848	-0.3651999
250	4.3633231	-16	5.4723223	15.035082	7.5	0.4216965	-0.144229	-0.3962651
260	4.5378561	-16.5	2.8651949	16.249328	8	0.3981072	-0.069131	-0.392059
270	4.712389	-18	3.308E-15	18	9.5	0.3349654	-6.16E-17	-0.3349654
280	4.8869219	-20	-3.472964	19.696155	11.5	0.2660725	0.046203	-0.2620303
290	5.0614548	-24	-8.208483	22.552623	15.5	0.1678804	0.0574185	-0.157756
300	5.2359878	-26	-13	22.51666	17.5	0.1333521	0.0666761	-0.1154863
310	5.4105207	-20.5	-13.17715	15.703911	12	0.2511886	0.1614609	-0.1924217
320	5.5850536	-17	-13.02276	10.927389	8.5	0.3758374	0.2879082	-0.2415836
330	5.7595865	-14	-12.12436	7	5.5	0.5308844	0.4597594	-0.2654422
340	5.9341195	-12	-11.27631	4.1042417	3.5	0.6683439	0.6280378	-0.2285871
350	6.1086524	-11	-10.83289	1.91013	2.5	0.7498942	0.7385016	-0.1302178
360	6.2831853	-9.5	-9.5	2.328E-15	1	0.8912509	0.8912509	-2.184E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL
Gráfico A4.2 - 2C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, SIN CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 3A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
1.5	2.5	2.0
2.5	3.5	3.0
5	5.5	5.2
7	7	7.0
8	8	8.0
8.5	8.5	8.5
9	9.5	9.2
11	11.5	11.2
9	9.5	9.2
6	5.5	5.7
2.5	2.5	2.5
0.5	1	0.7
0	0	0.0
0	0.5	0.2
1	0.5	0.7
2	1.5	1.7
2	1.5	1.7
2.5	2	2.2
2.5	2	2.2
2	2	2.0
1.5	2	1.7
1.5	1.5	1.5
2	1.5	1.7
1.5	1	1.2
1	1	1.0
1	0.5	0.7
1	0.5	0.7
1	0.5	0.7
1	0.5	0.7
2	2	2.0
2.5	2.5	2.5
3.5	3	3.2
4	3.5	3.7
3.5	3.5	3.5
3	2.5	2.7
2	2.5	2.2
1.5	2.5	2.0

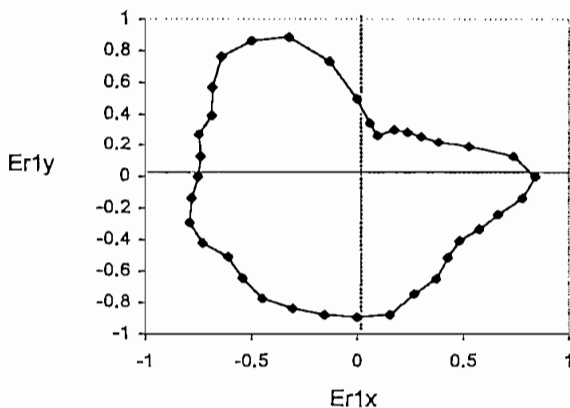


Cuadro A4.2 - 3B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-8.5	-8.5	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-9.5	-9.355674	-1.649658	2.5	0.7498942	0.7385016	0.130217763
20	0.3490659	-12	-11.27631	-4.104242	5	0.5623413	0.528428	0.192332061
30	0.5235988	-14	-12.12436	-7	7	0.4466836	0.3868393	0.223341796
40	0.6981317	-15	-11.49067	-9.641814	8	0.3981072	0.3049678	0.255898357
50	0.8726646	-15.5	-9.963208	-11.87369	8.5	0.3758374	0.2415836	0.287908155
60	1.0471976	-16	-8	-13.85641	9	0.3548134	0.1774067	0.307277409
70	1.2217305	-18	-6.156363	-16.91447	11	0.2818383	0.0963944	0.264841364
80	1.3962634	-16	-2.778371	-15.75692	9	0.3548134	0.0616127	0.349422977
90	1.5707963	-13	-7.96E-16	-13	6	0.5011872	3.07E-17	0.501187234
100	1.7453293	-9.5	1.6496577	-9.355674	2.5	0.7498942	-0.130218	0.738501631
110	1.9198622	-7.5	2.5651511	-7.047695	0.5	0.9440609	-0.322888	0.887127039
120	2.0943951	-7	3.5	-6.062178	0	1	-0.5	0.866025404
130	2.268928	-7	4.4995133	-5.362311	0	1	-0.642788	0.766044443
140	2.443461	-8	6.1283555	-5.142301	1	0.8912509	-0.682738	0.57288506
150	2.6179939	-9	7.7942286	-4.5	2	0.7943282	-0.687908	0.397164117
160	2.7925268	-9	8.4572336	-3.078181	2	0.7943282	-0.746424	0.271676257
170	2.9670597	-9.5	9.3556737	-1.649658	2.5	0.7498942	-0.738502	0.130217763
180	3.1415927	-9.5	9.5	-1.16E-15	2.5	0.7498942	-0.749894	9.18732E-17
190	3.3161256	-9	8.8632698	1.5628336	2	0.7943282	-0.782261	-0.13793365
200	3.4906585	-8.5	7.9873873	2.9071712	1.5	0.8413951	-0.790653	-0.287774087
210	3.6651914	-8.5	7.3612159	4.25	1.5	0.8413951	-0.72867	-0.420697571
220	3.8397244	-9	6.8944	5.7850885	2	0.7943282	-0.608491	-0.510584347
230	4.0142573	-8.5	5.4636947	6.5113778	1.5	0.8413951	-0.540838	-0.644546073
240	4.1887902	-8	4	6.9282032	1	0.8912509	-0.445625	-0.771845954
250	4.3633231	-8	2.7361611	7.517541	1	0.8912509	-0.304826	-0.83750193
260	4.5378561	-8	1.3891854	7.878462	1	0.8912509	-0.154764	-0.877710834
270	4.712389	-8	1.47E-15	8	1	0.8912509	-1.64E-16	-0.891250938
280	4.8869219	-8	-1.389185	7.878462	1	0.8912509	0.1547641	-0.877710834
290	5.0614548	-9	-3.078181	8.4572336	2	0.7943282	0.2716763	-0.746424381
300	5.2359878	-9.5	-4.75	8.2272413	2.5	0.7498942	0.3749471	-0.649427435
310	5.4105207	-10.5	-6.74927	8.0434667	3.5	0.6683439	0.4296032	-0.511981144
320	5.5850536	-11	-8.426489	7.0706637	4	0.6309573	0.4833414	-0.405571563
330	5.7595865	-10.5	-9.093267	5.25	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334171959
340	5.9341195	-10	-9.396926	3.4202014	3	0.7079458	0.6652514	-0.242131719
350	6.1086524	-9	-8.86327	1.5628336	2	0.7943282	0.7822606	-0.13793365
360	6.2831853	-8.5	-8.5	2.083E-15	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.06167E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**

Gráfico A4.2 - 3B

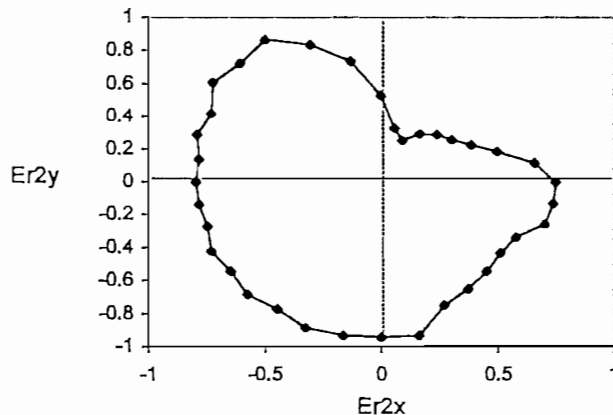


Cuadro A4.2 - 3C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-10	-10	0	2.5	0.749894	0.749894	0
10	0.174533	-11	-10.83289	-1.91013	3.5	0.668344	0.65819	0.1160567
20	0.349066	-13	-12.216	-4.446262	5.5	0.530884	0.498868	0.1815732
30	0.523599	-14.5	-12.55737	-7.25	7	0.446684	0.386839	0.2233418
40	0.698132	-15.5	-11.87369	-9.963208	8	0.398107	0.304968	0.2558984
50	0.872665	-16	-10.2846	-12.25671	8.5	0.375837	0.241584	0.2879082
60	1.047198	-17	-8.5	-14.72243	9.5	0.334965	0.167483	0.2900886
70	1.22173	-19	-6.498383	-17.85416	11.5	0.266073	0.091002	0.2500264
80	1.396263	-17	-2.952019	-16.74173	9.5	0.334965	0.058166	0.3298766
90	1.570796	-13	-7.96E-16	-13	5.5	0.530884	3.25E-17	0.5308844
100	1.745329	-10	1.736482	-9.848078	2.5	0.749894	-0.130218	0.7385016
110	1.919862	-8.5	2.907171	-7.987387	1	0.891251	-0.304826	0.8375019
120	2.094395	-7.5	3.75	-6.495191	0	1	-0.5	0.8660254
130	2.268928	-8	5.142301	-6.128356	0.5	0.944061	-0.606831	0.7231926
140	2.443461	-8	6.128356	-5.142301	0.5	0.944061	-0.723193	0.6068306
150	2.617994	-9	7.794229	-4.5	1.5	0.841395	-0.72867	0.4206976
160	2.792527	-9	8.457234	-3.078181	1.5	0.841395	-0.790653	0.2877741
170	2.96706	-9.5	9.355674	-1.649658	2	0.794328	-0.782261	0.1379337
180	3.141593	-9.5	9.5	-1.16E-15	2	0.794328	-0.794328	9.732E-17
190	3.316126	-9.5	9.355674	1.649658	2	0.794328	-0.782261	-0.137934
200	3.490659	-9.5	8.92708	3.249191	2	0.794328	-0.746424	-0.271676
210	3.665191	-9	7.794229	4.5	1.5	0.841395	-0.72867	-0.420698
220	3.839724	-9	6.8944	5.785088	1.5	0.841395	-0.644546	-0.540838
230	4.014257	-8.5	5.463695	6.511378	1	0.891251	-0.572885	-0.682738
240	4.18879	-8.5	4.25	7.361216	1	0.891251	-0.445625	-0.771846
250	4.363323	-8	2.736161	7.517541	0.5	0.944061	-0.322888	-0.887127
260	4.537856	-8	1.389185	7.878462	0.5	0.944061	-0.163934	-0.929718
270	4.712389	-8	1.47E-15	8	0.5	0.944061	-1.73E-16	-0.944061
280	4.886922	-8	-1.389185	7.878462	0.5	0.944061	0.163934	-0.929718
290	5.061455	-9.5	-3.249191	8.92708	2	0.794328	0.271676	-0.746424
300	5.235988	-10	-5	8.660254	2.5	0.749894	0.374947	-0.649427
310	5.410521	-10.5	-6.74927	8.043467	3	0.707946	0.455059	-0.542318
320	5.585054	-11	-8.426489	7.070664	3.5	0.668344	0.511981	-0.429603
330	5.759587	-11	-9.526279	5.5	3.5	0.668344	0.578803	-0.334172
340	5.934119	-10	-9.396926	3.420201	2.5	0.749894	0.70467	-0.256479
350	6.108652	-10	-9.848078	1.736482	2.5	0.749894	0.738502	-0.130218
360	6.283185	-10	-10	2.45E-15	2.5	0.749894	0.749894	-1.84E-16

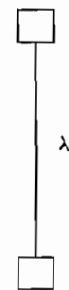
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**

Gráfico A4.2 - 3C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, SIN CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 4A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0.7	0.5	0.6
1.2	1	1.1
1.2	1.5	1.3
1.2	1.5	1.3
1.2	1	1.1
1.2	1	1.1
1.2	1	1.1
1.2	1	1.1
1.2	1	1.1
1.7	1.5	1.6
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
1.2	1.5	1.3
1.2	1	1.1
0.7	1	0.8
0.2	0.5	0.3
0	0	0.0
0	0	0.0
0.2	0.5	0.3
0.2	1	0.6
0.2	1	0.6
0.7	1	0.8
2.2	2	2.1
2.2	2.5	2.3
2.2	2.5	2.3
2.2	2.5	2.3
2.2	2.5	2.3
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
2.2	2	2.1
1.7	2	1.8
1.7	1.5	1.6
1.2	1	1.1
1.2	1	1.1
0.7	0.5	0.6

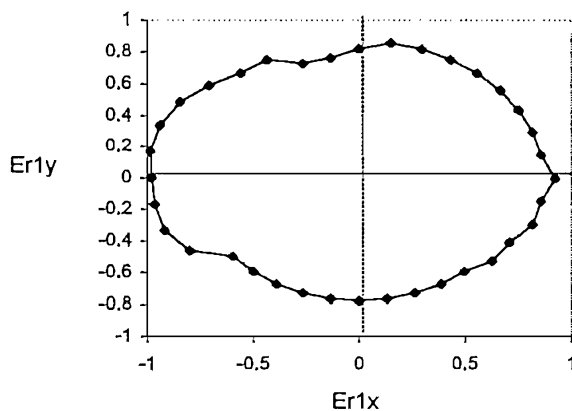


Cuadro A4.2 - 4B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-7.5	-7.5	0	0.7	0.9225714	0.9225714	0
10	0.1745329	-8	-7.878462	-1.389185	1.2	0.8709636	0.8577317	0.15124124
20	0.3490659	-8	-7.517541	-2.736161	1.2	0.8709636	0.8184381	0.297887092
30	0.5235988	-8	-6.928203	-4	1.2	0.8709636	0.7542766	0.435481795
40	0.6981317	-8	-6.128356	-5.142301	1.2	0.8709636	0.6671968	0.559844604
50	0.8726646	-8	-5.142301	-6.128356	1.2	0.8709636	0.5598446	0.667196818
60	1.0471976	-8	-4	-6.928203	1.2	0.8709636	0.4354818	0.754276595
70	1.2217305	-8	-2.736161	-7.517541	1.2	0.8709636	0.2978871	0.818438058
80	1.3962634	-8	-1.389185	-7.878462	1.2	0.8709636	0.1512412	0.857731696
90	1.5707963	-8.5	-5.21E-16	-8.5	1.7	0.8222426	5.037E-17	0.82224265
100	1.7453293	-9	1.5628336	-8.86327	2.2	0.7762471	-0.134794	0.764454179
110	1.9198622	-9	3.0781813	-8.457234	2.2	0.7762471	-0.265492	0.729433687
120	2.0943951	-8	4	-6.928203	1.2	0.8709636	-0.435482	0.754276595
130	2.268928	-8	5.1423009	-6.128356	1.2	0.8709636	-0.559845	0.667196818
140	2.443461	-7.5	5.7453333	-4.820907	0.7	0.9225714	-0.706731	0.593017482
150	2.6179939	-7	6.0621778	-3.5	0.2	0.9772372	-0.846312	0.48861861
160	2.7925268	-6.8	6.3899098	-2.325737	0	1	-0.939693	0.342020143
170	2.9670597	-6.8	6.6966927	-1.180808	0	1	-0.984808	0.173648178
180	3.1415927	-7	7	-8.58E-16	0.2	0.9772372	-0.977237	1.19726E-16
190	3.3161256	-7	6.8936543	1.2155372	0.2	0.9772372	-0.962391	-0.169695463
200	3.4906585	-7	6.5778483	2.394141	0.2	0.9772372	-0.918303	-0.334234814
210	3.6651914	-7.5	6.4951905	3.75	0.7	0.9225714	-0.79897	-0.461285714
220	3.8397244	-9	6.8944	5.7850885	2.2	0.7762471	-0.59464	-0.498962029
230	4.0142573	-9	5.7850885	6.8944	2.2	0.7762471	-0.498962	-0.59463979
240	4.1887902	-9	4.5	7.7942286	2.2	0.7762471	-0.388124	-0.672249723
250	4.3633231	-9	3.0781813	8.4572336	2.2	0.7762471	-0.265492	-0.729433687
260	4.5378561	-9	1.5628336	8.8632698	2.2	0.7762471	-0.134794	-0.764454179
270	4.712389	-9	1.654E-15	9	2.2	0.7762471	-1.43E-16	-0.776247117
280	4.8869219	-9	-1.562834	8.8632698	2.2	0.7762471	0.1347939	-0.764454179
290	5.0614548	-9	-3.078181	8.4572336	2.2	0.7762471	0.2654922	-0.729433687
300	5.2359878	-9	-4.5	7.7942286	2.2	0.7762471	0.3881236	-0.672249723
310	5.4105207	-9	-5.785088	6.8944	2.2	0.7762471	0.498962	-0.59463979
320	5.5850536	-8.5	-6.511378	5.4636947	1.7	0.8222426	0.6298744	-0.528527388
330	5.7595865	-8.5	-7.361216	4.25	1.7	0.8222426	0.712083	-0.411121325
340	5.9341195	-8	-7.517541	2.7361611	1.2	0.8709636	0.8184381	-0.297887092
350	6.1086524	-8	-7.878462	1.3891854	1.2	0.8709636	0.8577317	-0.15124124
360	6.2831853	-7.5	-7.5	1.838E-15	0.7	0.9225714	0.9225714	-2.26057E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.2 - 4B

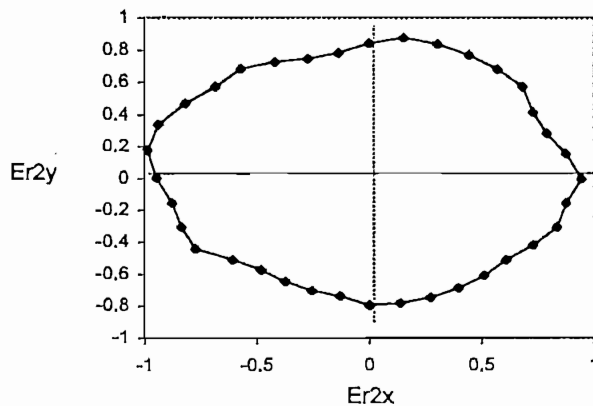


Cuadro A4.2 - 4C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-7.5	-7.5	0	0.5	0.9440609	0.9440609	0
10	0.1745329	-8	-7.878462	-1.389185	1	0.8912509	0.8777108	0.1547641
20	0.3490659	-8.5	-7.987387	-2.907171	1.5	0.8413951	0.7906528	0.2877741
30	0.5235988	-8.5	-7.361216	-4.25	1.5	0.8413951	0.7286696	0.4206976
40	0.6981317	-8	-6.128356	-5.142301	1	0.8912509	0.6827378	0.5728851
50	0.8726646	-8	-5.142301	-6.128356	1	0.8912509	0.5728851	0.6827378
60	1.0471976	-8	-4	-6.928203	1	0.8912509	0.4456255	0.771846
70	1.2217305	-8	-2.736161	-7.517541	1	0.8912509	0.3048258	0.8375019
80	1.3962634	-8	-1.389185	-7.878462	1	0.8912509	0.1547641	0.8777108
90	1.5707963	-8.5	-5.21E-16	-8.5	1.5	0.8413951	5.154E-17	0.8413951
100	1.7453293	-9	1.5628336	-8.86327	2	0.7943282	-0.137934	0.7822606
110	1.9198622	-9	3.0781813	-8.457234	2	0.7943282	-0.271676	0.7464244
120	2.0943951	-8.5	4.25	-7.361216	1.5	0.8413951	-0.420698	0.7286696
130	2.268928	-8	5.1423009	-6.128356	1	0.8912509	-0.572885	0.6827378
140	2.443461	-8	6.1283555	-5.142301	1	0.8912509	-0.682738	0.5728851
150	2.6179939	-7.5	6.4951905	-3.75	0.5	0.9440609	-0.817581	0.4720304
160	2.7925268	-7	6.5778483	-2.394141	0	1	-0.939693	0.3420201
170	2.9670597	-7	6.8936543	-1.215537	0	1	-0.984808	0.1736482
180	3.1415927	-7.5	7.5	-9.19E-16	0.5	0.9440609	-0.944061	1.157E-16
190	3.3161256	-8	7.878462	1.3891854	1	0.8912509	-0.877711	-0.1547641
200	3.4906585	-8	7.517541	2.7361611	1	0.8912509	-0.837502	-0.3048258
210	3.6651914	-8	6.9282032	4	1	0.8912509	-0.771846	-0.4456255
220	3.8397244	-9	6.8944	5.7850885	2	0.7943282	-0.608491	-0.5105843
230	4.0142573	-9.5	6.1064823	7.2774222	2.5	0.7498942	-0.482023	-0.5744523
240	4.1887902	-9.5	4.75	8.2272413	2.5	0.7498942	-0.374947	-0.6494274
250	4.3633231	-9.5	3.2491914	8.9270799	2.5	0.7498942	-0.256479	-0.7046701
260	4.5378561	-9.5	1.6496577	9.3556737	2.5	0.7498942	-0.130218	-0.7385016
270	4.712389	-9	1.654E-15	9	2	0.7943282	-1.46E-16	-0.7943282
280	4.8869219	-9	-1.562834	8.8632698	2	0.7943282	0.1379337	-0.7822606
290	5.0614548	-9	-3.078181	8.4572336	2	0.7943282	0.2716763	-0.7464244
300	5.2359878	-9	-4.5	7.7942286	2	0.7943282	0.3971641	-0.6879084
310	5.4105207	-9	-5.785088	6.8944	2	0.7943282	0.5105843	-0.6084907
320	5.5850536	-9	-6.8944	5.7850885	2	0.7943282	0.6084907	-0.5105843
330	5.7595865	-8.5	-7.361216	4.25	1.5	0.8413951	0.7286696	-0.4206976
340	5.9341195	-8	-7.517541	2.7361611	1	0.8912509	0.8375019	-0.3048258
350	6.1086524	-8	-7.878462	1.3891854	1	0.8912509	0.8777108	-0.1547641
360	6.2831853	-7.5	-7.5	1.838E-15	0.5	0.9440609	0.9440609	-2.313E-16

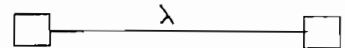
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.2 - 4C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 5A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3	3.5	3.2
4	4.5	4.2
6	7	6.5
9	10	9.5
13	12	12.5
20	15	17.1
20	19.5	19.7
13	14.5	13.7
8	9	8.5
4	5.5	4.7
1.5	2.5	2.0
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0	1	0.5
1	2	1.5
3	4.5	3.7
8	8.5	8.2
20	17.5	18.7
14.5	17.5	15.9
10	10	10.0
7	7.5	7.2
7	7.5	7.2
7	7.5	7.2
8	8.5	8.2
9	10.5	9.7
10.5	11.5	11.0
14	17	15.4
20	14.5	16.8
11	7.5	9.1
6	3.5	4.7
4	1.5	2.7
3.5	2.5	3.0
5	4	4.5
7.5	6.5	7.0
8	6.5	7.2
5.5	5	5.2
3	3.5	3.2

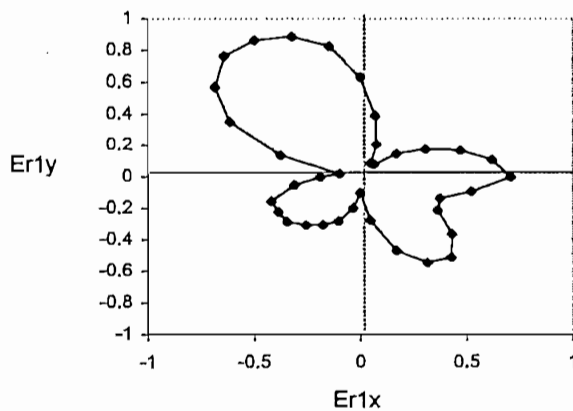


Cuadro A4.2 - 5B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	E1(dB)	E1(lin)	E1x(lin)	E1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-7	-7	0	3	0.7079458	0.7079458	0
10	0.1745329	-8	-7.878462	-1.389185	4	0.6309573	0.6213717	0.109564593
20	0.3490659	-10	-9.396926	-3.420201	6	0.5011872	0.4709619	0.171416129
30	0.5235988	-13	-11.25833	-6.5	9	0.3548134	0.3072774	0.177406695
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	13	0.2238721	0.171496	0.143902221
50	0.8726646	-24	-15.4269	-18.38507	20	0.1	0.0642788	0.076604444
60	1.0471976	-24	-12	-20.78461	20	0.1	0.05	0.08660254
70	1.2217305	-17	-5.814342	-15.97477	13	0.2238721	0.0765688	0.210370973
80	1.3962634	-12	-2.083778	-11.81769	8	0.3981072	0.0691306	0.392059028
90	1.5707963	-8	-4.9E-16	-8	4	0.6309573	3.865E-17	0.630957344
100	1.7453293	-5.5	0.955065	-5.416443	1.5	0.8413951	-0.146107	0.828612459
110	1.9198622	-4.5	1.5390906	-4.228617	0.5	0.9440609	-0.322888	0.887127039
120	2.0943951	-4	2	-3.464102	0	1	-0.5	0.866025404
130	2.268928	-4	2.5711504	-3.064178	0	1	-0.642788	0.766044443
140	2.443461	-5	3.8302222	-3.213938	1	0.8912509	-0.682738	0.57288506
150	2.6179939	-7	6.0621778	-3.5	3	0.7079458	-0.613099	0.353972892
160	2.7925268	-12	11.276311	-4.104242	8	0.3981072	-0.374098	0.136160672
170	2.9670597	-24	23.635386	-4.167556	20	0.1	-0.098481	0.017364818
180	3.1415927	-18.5	18.5	-2.27E-15	14.5	0.1883649	-0.188365	2.30775E-17
190	3.3161256	-14	13.787309	2.4310745	10	0.3162278	-0.311424	-0.054912375
200	3.4906585	-11	10.336619	3.7622216	7	0.4466836	-0.419745	-0.152774786
210	3.6651914	-11	9.5262794	5.5	7	0.4466836	-0.386839	-0.223341796
220	3.8397244	-11	8.4264889	7.0706637	7	0.4466836	-0.342179	-0.287122678
230	4.0142573	-12	7.7134513	9.1925333	8	0.3981072	-0.255898	-0.304967786
240	4.1887902	-13	6.5	11.25833	9	0.3548134	-0.177407	-0.307277409
250	4.3633231	-14.5	4.9592921	13.625543	10.5	0.2985383	-0.102106	-0.280534202
260	4.5378561	-18	3.1256672	17.72654	14	0.1995262	-0.034647	-0.19649498
270	4.712389	-24	4.411E-15	24	20	0.1	-1.84E-17	-0.1
280	4.8869219	-15	-2.604723	14.772116	11	0.2818383	0.0489407	-0.277556536
290	5.0614548	-10	-3.420201	9.3969262	6	0.5011872	0.1714161	-0.470961945
300	5.2359878	-8	-4	6.9282032	4	0.6309573	0.3154787	-0.546425089
310	5.4105207	-7.5	-4.820907	5.7453333	3.5	0.6683439	0.4296032	-0.511981144
320	5.5850536	-9	-6.8944	5.7850885	5	0.5623413	0.4307784	-0.361466036
330	5.7595865	-11.5	-9.959292	5.75	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.210848252
340	5.9341195	-12	-11.27631	4.1042417	8	0.3981072	0.3740984	-0.136160672
350	6.1086524	-9.5	-9.355674	1.6496577	5.5	0.5308844	0.5228191	-0.092187116
360	6.2831853	-7	-7	1.715E-15	3	0.7079458	0.7079458	-1.73468E-16

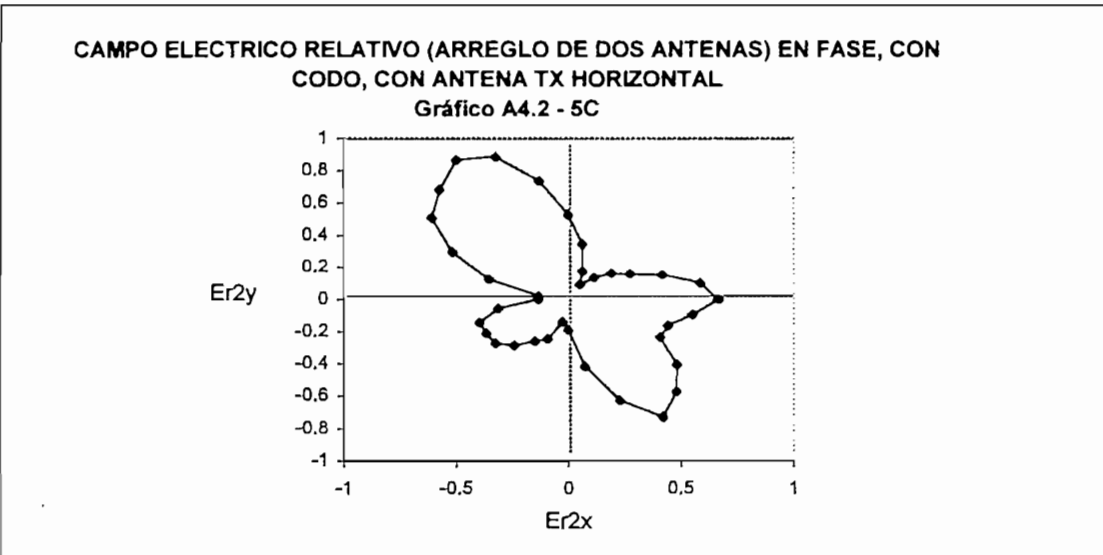
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 5B



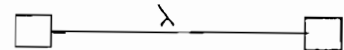
Cuadro A4.2 - 5C

GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-8	-8	0	3.5	0.6683439	0.6683439	0
10	0.1745329	-9	-8.86327	-1.562834	4.5	0.5956621	0.5866127	0.1034356
20	0.3490659	-11.5	-10.80647	-3.933232	7	0.4466836	0.4197453	0.1527748
30	0.5235988	-14.5	-12.55737	-7.25	10	0.3162278	0.2738613	0.1581139
40	0.6981317	-16.5	-12.63973	-10.606	12	0.2511886	0.1924217	0.1614609
50	0.8726646	-19.5	-12.53436	-14.93787	15	0.1778279	0.1143056	0.1362241
60	1.0471976	-24	-12	-20.78461	19.5	0.1059254	0.0529627	0.0917341
70	1.2217305	-19	-6.498383	-17.85416	14.5	0.1883649	0.0644246	0.1770051
80	1.3962634	-13.5	-2.34425	-13.2949	9	0.3548134	0.0616127	0.349423
90	1.5707963	-10	-6.13E-16	-10	5.5	0.5308844	3.252E-17	0.5308844
100	1.7453293	-7	1.2155372	-6.893654	2.5	0.7498942	-0.130218	0.7385016
110	1.9198622	-5	1.7101007	-4.698463	0.5	0.9440609	-0.322888	0.887127
120	2.0943951	-4.5	2.25	-3.897114	0	1	-0.5	0.8660254
130	2.268928	-5.5	3.5353319	-4.213244	1	0.8912509	-0.572885	0.6827378
140	2.443461	-6.5	4.9792889	-4.178119	2	0.7943282	-0.608491	0.5105843
150	2.6179939	-9	7.7942286	-4.5	4.5	0.5956621	-0.515859	0.2978311
160	2.7925268	-13	12.216004	-4.446262	8.5	0.3758374	-0.353172	0.128544
170	2.9670597	-22	21.665771	-3.82026	17.5	0.1333521	-0.131326	0.0231564
180	3.1415927	-22	22	-2.7E-15	17.5	0.1333521	-0.133352	1.634E-17
190	3.3161256	-14.5	14.279712	2.5178986	10	0.3162278	-0.311424	-0.0549124
200	3.4906585	-12	11.276311	4.1042417	7.5	0.4216965	-0.396265	-0.1442287
210	3.6651914	-12	10.392305	6	7.5	0.4216965	-0.3652	-0.2108483
220	3.8397244	-12	9.1925333	7.7134513	7.5	0.4216965	-0.323038	-0.2710613
230	4.0142573	-13	8.3562389	9.9585778	8.5	0.3758374	-0.241584	-0.2879082
240	4.1887902	-15	7.5	12.990381	10.5	0.2985383	-0.149269	-0.2585417
250	4.3633231	-16	5.4723223	15.035082	11.5	0.2660725	-0.091002	-0.2500264
260	4.5378561	-21.5	3.7334358	21.173367	17	0.1412538	-0.024528	-0.1391078
270	4.712389	-19	3.492E-15	19	14.5	0.1883649	-3.46E-17	-0.1883649
280	4.8869219	-12	-2.083778	11.817693	7.5	0.4216965	0.0732268	-0.41529
290	5.0614548	-8	-2.736161	7.517541	3.5	0.6683439	0.2285871	-0.6280378
300	5.2359878	-6	-3	5.1961524	1.5	0.8413951	0.4206976	-0.7286696
310	5.4105207	-7	-4.499513	5.3623111	2.5	0.7498942	0.4820227	-0.5744523
320	5.5850536	-8.5	-6.511378	5.4636947	4	0.6309573	0.4833414	-0.4055716
330	5.7595865	-11	-9.526279	5.5	6.5	0.4731513	0.409761	-0.2365756
340	5.9341195	-11	-10.33662	3.7622216	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.1618273
350	6.1086524	-9.5	-9.355674	1.6496577	5	0.5623413	0.5537981	-0.0976495
360	6.2831853	-8	-8	1.96E-15	3.5	0.6683439	0.6683439	-1.638E-16



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 6A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
5	5	5.0
2.5	3	2.7
2	2.5	2.2
2	4	2.9
4	7	5.4
5	9	6.8
8	10	8.9
8	10	8.9
9	13	10.8
11	14	12.4
15	20	17.1
17	17	17.0
10.5	10	10.2
6.5	6	6.2
4	3.5	3.7
3	3	3.0
3.2	3.5	3.3
4	4	4.0
3	3	3.0
1	1	1.0
0	0	0.0
0	0.5	0.2
2	2	2.0
5.7	6	5.8
8.5	9	8.7
12.5	15	13.7
17	16.5	16.7
20	21	20.5
18	17	17.5
11	10.5	10.7
7	7	7.0
4	4	4.0
4	4	4.0
6	6	6.0
8	8.5	8.2
10	10	10.0
5	5	5.0

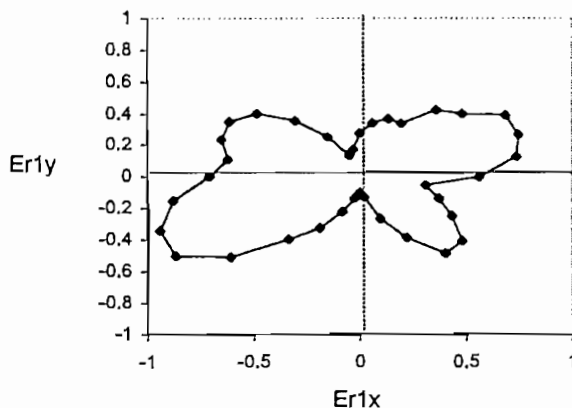


Cuadro A4.2 - 6B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-12	-12	0	5	0.5623413	0.5623413	0
10	0.1745329	-9.5	-9.355674	-1.649658	2.5	0.7498942	0.7385016	0.130217763
20	0.3490659	-9	-8.457234	-3.078181	2	0.7943282	0.7464244	0.271676257
30	0.5235988	-9	-7.794229	-4.5	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-11	-8.426489	-7.070664	4	0.6309573	0.4833414	0.405571563
50	0.8726646	-12	-7.713451	-9.192533	5	0.5623413	0.361466	0.430778447
60	1.0471976	-15	-7.5	-12.99038	8	0.3981072	0.1990536	0.344770923
70	1.2217305	-15	-5.130302	-14.09539	8	0.3981072	0.1361607	0.37409837
80	1.3962634	-16	-2.778371	-15.75692	9	0.3548134	0.0616127	0.349422977
90	1.5707963	-18	-1.1E-15	-18	11	0.2818383	1.726E-17	0.281838293
100	1.7453293	-22	3.8202599	-21.66577	15	0.1778279	-0.030879	0.175126335
110	1.9198622	-24	8.2084834	-22.55262	17	0.1412538	-0.048312	0.132735111
120	2.0943951	-17.5	8.75	-15.15544	10.5	0.2985383	-0.149269	0.258541719
130	2.268928	-13.5	8.6776327	-10.3416	6.5	0.4731513	-0.304136	0.362454893
140	2.443461	-11	8.4264889	-7.070664	4	0.6309573	-0.483341	0.405571563
150	2.6179939	-10	8.660254	-5	3	0.7079458	-0.613099	0.353972892
160	2.7925268	-10.2	9.5848647	-3.488605	3.2	0.691831	-0.650108	0.236620128
170	2.9670597	-11	10.832885	-1.91013	4	0.6309573	-0.621372	0.109564593
180	3.1415927	-10	10	-1.23E-15	3	0.7079458	-0.707946	8.67339E-17
190	3.3161256	-8	7.878462	1.3891854	1	0.8912509	-0.877711	-0.154764101
200	3.4906585	-7	6.5778483	2.394141	0	1	-0.939693	-0.342020143
210	3.6651914	-7	6.0621778	3.5	0	1	-0.866025	-0.5
220	3.8397244	-9	6.8944	5.7850885	2	0.7943282	-0.608491	-0.510584347
230	4.0142573	-12.7	8.1634026	9.7287644	5.7	0.5188	-0.333478	-0.397423887
240	4.1887902	-15.5	7.75	13.423394	8.5	0.3758374	-0.187919	-0.32548474
250	4.3633231	-19.5	6.6693928	18.324006	12.5	0.2371374	-0.081106	-0.222836237
260	4.5378561	-24	4.1675563	23.635386	17	0.1412538	-0.024528	-0.139107793
270	4.712389	-27	4.962E-15	27	20	0.1	-1.84E-17	-0.1
280	4.8869219	-25	-4.341204	24.620194	18	0.1258925	0.021861	-0.123979951
290	5.0614548	-18	-6.156363	16.914467	11	0.2818383	0.0963944	-0.264841364
300	5.2359878	-14	-7	12.124356	7	0.4466836	0.2233418	-0.386839338
310	5.4105207	-11	-7.070664	8.4264889	4	0.6309573	0.4055716	-0.483341368
320	5.5850536	-11	-8.426489	7.0706637	4	0.6309573	0.4833414	-0.405571563
330	5.7595865	-13	-11.25833	6.5	6	0.5011872	0.4340409	-0.250593617
340	5.9341195	-15	-14.09539	5.1303021	8	0.3981072	0.3740984	-0.136160672
350	6.1086524	-17	-16.74173	2.952019	10	0.3162278	0.3114236	-0.054912375
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	5	0.5623413	0.5623413	-1.3779E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.2 - 6B

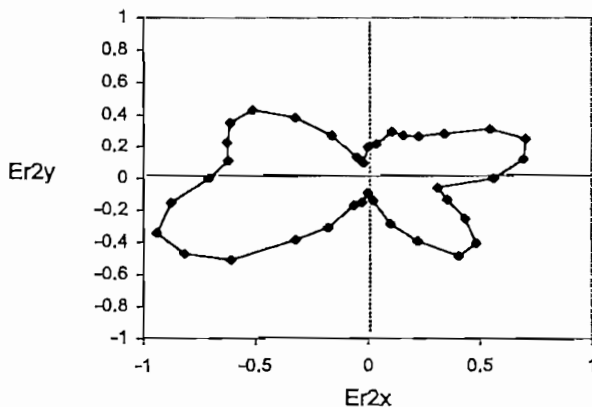


Cuadro A4.2 - 6C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-12	-12	0	5	0.5623413	0.5623413	0
10	0.1745329	-10	-9.848078	-1.736482	3	0.7079458	0.6971905	0.1229335
20	0.3490659	-9.5	-8.92708	-3.249191	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-11	-9.526279	-5.5	4	0.6309573	0.5464251	0.3154787
40	0.6981317	-14	-10.72462	-8.999027	7	0.4466836	0.3421795	0.2871227
50	0.8726646	-16	-10.2846	-12.25671	9	0.3548134	0.2280697	0.2718028
60	1.0471976	-17	-8.5	-14.72243	10	0.3162278	0.1581139	0.2738613
70	1.2217305	-17	-5.814342	-15.97477	10	0.3162278	0.1081563	0.2971569
80	1.3962634	-20	-3.472964	-19.69616	13	0.2238721	0.038875	0.220471
90	1.5707963	-21	-1.29E-15	-21	14	0.1995262	1.222E-17	0.1995262
100	1.7453293	-27	4.6885008	-26.58981	20	0.1	-0.017365	0.0984808
110	1.9198622	-24	8.2084834	-22.55262	17	0.1412538	-0.048312	0.1327351
120	2.0943951	-17	8.5	-14.72243	10	0.3162278	-0.158114	0.2738613
130	2.268928	-13	8.3562389	-9.958578	6	0.5011872	-0.322157	0.3839317
140	2.443461	-10.5	8.0434667	-6.74927	3.5	0.6683439	-0.511981	0.4296032
150	2.6179939	-10	8.660254	-5	3	0.7079458	-0.613099	0.3539729
160	2.7925268	-10.5	9.8667725	-3.591212	3.5	0.6683439	-0.628038	0.285871
170	2.9670597	-11	10.832885	-1.91013	4	0.6309573	-0.621372	0.1095646
180	3.1415927	-10	10	-1.23E-15	3	0.7079458	-0.707946	8.673E-17
190	3.3161256	-8	7.878462	1.3891854	1	0.8912509	-0.877711	-0.1547641
200	3.4906585	-7	6.5778483	2.394141	0	1	-0.939693	-0.3420201
210	3.6651914	-7.5	6.4951905	3.75	0.5	0.9440609	-0.817581	-0.4720304
220	3.8397244	-9	6.8944	5.7850885	2	0.7943282	-0.608491	-0.5105843
230	4.0142573	-13	8.3562389	9.9585778	6	0.5011872	-0.322157	-0.3839317
240	4.1887902	-16	8	13.856406	9	0.3548134	-0.177407	-0.3072774
250	4.3633231	-22	7.5244432	20.873238	15	0.1778279	-0.060821	-0.1671036
260	4.5378561	-23.5	4.0807322	23.142982	16.5	0.1496236	-0.025982	-0.1473504
270	4.712389	-28	5.146E-15	28	21	0.0891251	-1.64E-17	-0.0891251
280	4.8869219	-24	-4.167556	23.635386	17	0.1412538	0.0245285	-0.1391078
290	5.0614548	-17.5	-5.985353	16.444621	10.5	0.2985383	0.1021061	-0.2805342
300	5.2359878	-14	-7	12.124356	7	0.4466836	0.2233418	-0.3868393
310	5.4105207	-11	-7.070664	8.4264889	4	0.6309573	0.4055716	-0.4833414
320	5.5850536	-11	-8.426489	7.0706637	4	0.6309573	0.4833414	-0.4055716
330	5.7595865	-13	-11.25833	6.5	6	0.5011872	0.4340409	-0.2505936
340	5.9341195	-15.5	-14.56524	5.3013122	8.5	0.3758374	0.3531716	-0.128544
350	6.1086524	-17	-16.74173	2.952019	10	0.3162278	0.3114236	-0.0549124
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	5	0.5623413	0.5623413	-1.378E-16

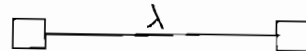
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.2 - 6C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 7A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
6	6.5	6.2
3	3.5	3.2
2	2.5	2.2
2	2	2.0
5	4.5	4.7
7	5.5	6.2
4	4	4.0
2	1	1.5
1.5	1	1.2
2.5	2	2.2
6.5	7.5	7.0
18	18.5	18.2
12	11.5	11.7
8	7	7.5
7.5	7	7.2
9.5	10	9.7
12.5	13.5	13.0
11.5	13.5	12.4
7.5	8.5	8.0
4	3.5	3.7
1.5	1	1.2
0.5	0	0.2
1	0.5	0.7
3	3	3.0
3	3.5	3.2
6	5	5.5
2	0	0.9
0.5	0	0.2
0	0	0.0
2	1.5	1.7
4	5	4.5
6	8	6.9
8	9.5	8.7
7.5	8.5	8.0
9	10	9.5
7.5	10.5	8.9
6	6.5	6.2

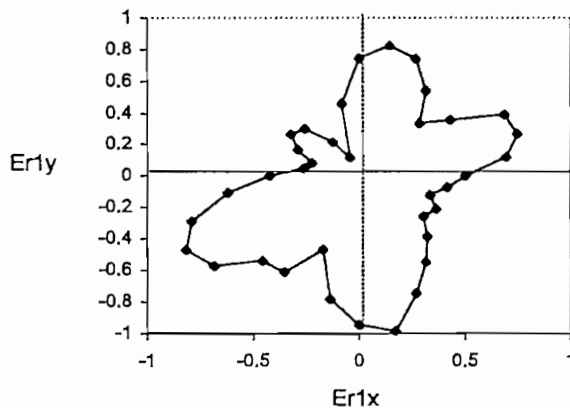


Cuadro A4.2 - 7B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-10	-10	0	6	0.5011872	0.5011872	0
10	0.1745329	-7	-6.893654	-1.215537	3	0.7079458	0.6971905	0.122933495
20	0.3490659	-6	-5.638156	-2.052121	2	0.7943282	0.7464244	0.271676257
30	0.5235988	-6	-5.196152	-3	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-9	-6.8944	-5.785088	5	0.5623413	0.4307784	0.361466036
50	0.8726646	-11	-7.070664	-8.426489	7	0.4466836	0.2871227	0.342179484
60	1.0471976	-8	-4	-6.928203	4	0.6309573	0.3154787	0.546425089
70	1.2217305	-6	-2.052121	-5.638156	2	0.7943282	0.2716763	0.746424381
80	1.3962634	-5.5	-0.955065	-5.416443	1.5	0.8413951	0.1461067	0.828612459
90	1.5707963	-6.5	-3.98E-16	-6.5	2.5	0.7498942	4.594E-17	0.749894209
100	1.7453293	-10.5	1.8233059	-10.34048	6.5	0.4731513	-0.082162	0.465963028
110	1.9198622	-22	7.5244432	-20.67324	18	0.1258925	-0.043058	0.118300292
120	2.0943951	-16	8	-13.85641	12	0.2511886	-0.125594	0.217535746
130	2.268928	-12	7.7134513	-9.192533	8	0.3981072	-0.255898	0.304967786
140	2.443461	-11.5	8.8095111	-7.392058	7.5	0.4216965	-0.323038	0.271061287
150	2.6179939	-13.5	11.691343	-6.75	9.5	0.3349654	-0.290089	0.16748272
160	2.7925268	-16.5	15.504928	-5.643332	12.5	0.2371374	-0.222836	0.081105757
170	2.9670597	-15.5	15.26452	-2.691547	11.5	0.2660725	-0.26203	0.046203006
180	3.1415927	-11.5	11.5	-1.41E-15	7.5	0.4216965	-0.421697	5.16641E-17
190	3.3161256	-8	7.878462	1.3891854	4	0.6309573	-0.621372	-0.109564593
200	3.4906585	-5.5	5.1683094	1.8811108	1.5	0.8413951	-0.790653	-0.287774087
210	3.6651914	-4.5	3.8971143	2.25	0.5	0.9440609	-0.817581	-0.472030438
220	3.8397244	-5	3.8302222	3.213938	1	0.8912509	-0.682738	-0.57288506
230	4.0142573	-7	4.4995133	5.3623111	3	0.7079458	-0.455059	-0.542317934
240	4.1887902	-7	3.5	6.0621778	3	0.7079458	-0.353973	-0.613099034
250	4.3633231	-10	3.4202014	9.3969262	6	0.5011872	-0.171416	-0.470961945
260	4.5378561	-6	1.0418891	5.9088465	2	0.7943282	-0.137934	-0.782260604
270	4.712389	-4.5	8.27E-16	4.5	0.5	0.9440609	-1.73E-16	-0.944060876
280	4.8869219	-4	-0.694593	3.939231	0	1	0.1736482	-0.984807753
290	5.0614548	-6	-2.052121	5.6381557	2	0.7943282	0.2716763	-0.746424381
300	5.2359878	-8	-4	6.9282032	4	0.6309573	0.3154787	-0.546425089
310	5.4105207	-10	-6.427876	7.6604444	6	0.5011872	0.3221569	-0.383931695
320	5.5850536	-12	-9.192533	7.7134513	8	0.3981072	0.3049678	-0.255898357
330	5.7595865	-11.5	-9.959292	5.75	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.210848252
340	5.9341195	-13	-12.216	4.4462619	9	0.3548134	0.3334155	-0.121353326
350	6.1086524	-11.5	-11.32529	1.996954	7.5	0.4216965	0.41529	-0.073226829
360	6.2831853	-10	-10	2.45E-15	6	0.5011872	0.5011872	-1.22806E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 7B

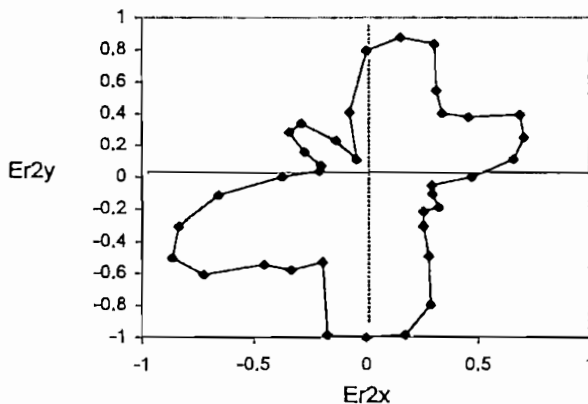


Cuadro A4.2 - 7C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-11	-11	0	6.5	0.4731513	0.4731513	0
10	0.1745329	-8	-7.878462	-1.389185	3.5	0.6683439	0.6581903	0.1160567
20	0.3490659	-7	-6.577848	-2.394141	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-6.5	-5.629165	-3.25	2	0.7943282	0.6879084	0.3971641
40	0.6981317	-9	-6.8944	-5.785088	4.5	0.5956621	0.4563037	0.3828842
50	0.8726646	-10	-6.427876	-7.660444	5.5	0.5308844	0.3412459	0.4066811
60	1.0471976	-8.5	-4.25	-7.361216	4	0.6309573	0.3154787	0.5464251
70	1.2217305	-5.5	-1.881111	-5.168309	1	0.8912509	0.3048258	0.8375019
80	1.3962634	-5.5	-0.955065	-5.416443	1	0.8912509	0.1547641	0.8777108
90	1.5707963	-6.5	-3.98E-16	-6.5	2	0.7943282	4.866E-17	0.7943282
100	1.7453293	-12	2.0837781	-11.81769	7.5	0.4216965	-0.073227	0.41529
110	1.9198622	-23	7.8664633	-21.61293	18.5	0.1188502	-0.040649	0.1116827
120	2.0943951	-16	8	-13.85641	11.5	0.2660725	-0.133036	0.2304255
130	2.268928	-11.5	7.3920575	-8.809511	7	0.4466836	-0.287123	0.3421795
140	2.443461	-11.5	8.8095111	-7.392058	7	0.4466836	-0.342179	0.2871227
150	2.6179939	-14.5	12.557368	-7.25	10	0.3162278	-0.273861	0.1581139
160	2.7925268	-18	16.914467	-6.156363	13.5	0.2113489	-0.198603	0.0722856
170	2.9670597	-18	17.72654	-3.125667	13.5	0.2113489	-0.208138	0.0367004
180	3.1415927	-13	13	-1.59E-15	8.5	0.3758374	-0.375837	4.605E-17
190	3.3161256	-8	7.878462	1.3891854	3.5	0.6683439	-0.65819	-0.1160567
200	3.4906585	-5.5	5.1683094	1.8811108	1	0.8912509	-0.837502	-0.3048258
210	3.6651914	-4.5	3.8971143	2.25	0	1	-0.866025	-0.5
220	3.8397244	-5	3.8302222	3.213938	0.5	0.9440609	-0.723193	-0.6068306
230	4.0142573	-7.5	4.8209071	5.7453333	3	0.7079458	-0.455059	-0.5423179
240	4.1887902	-8	4	6.9282032	3.5	0.6683439	-0.334172	-0.5788028
250	4.3633231	-9.5	3.2491914	8.9270799	5	0.5623413	-0.192332	-0.528428
260	4.5378561	-4.5	0.7814168	4.4316349	0	1	-0.173648	-0.9848078
270	4.712389	-4.5	8.27E-16	4.5	0	1	-1.84E-16	-1
280	4.8869219	-4.5	-0.781417	4.4316349	0	1	0.1736482	-0.9848078
290	5.0614548	-6	-2.052121	5.6381557	1.5	0.8413951	0.2877741	-0.7906528
300	5.2359878	-9.5	-4.75	8.2272413	5	0.5623413	0.2811707	-0.4870019
310	5.4105207	-12.5	-8.034845	9.5755555	8	0.3981072	0.2558984	-0.3049678
320	5.5850536	-14	-10.72462	8.9990265	9.5	0.3349654	0.2565984	-0.2153116
330	5.7595865	-13	-11.25833	6.5	8.5	0.3758374	0.3254847	-0.1879187
340	5.9341195	-14.5	-13.62554	4.9592921	10	0.3162278	0.2971569	-0.1081563
350	6.1086524	-15	-14.77212	2.6047227	10.5	0.2985383	0.2940028	-0.0518406
360	6.2831853	-11	-11	2.695E-15	6.5	0.4731513	0.4731513	-1.159E-16

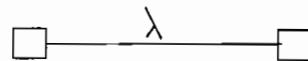
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 7C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 8A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
10	9	9,5
16,5	19,5	17,9
11	14,5	12,6
7	7,5	7,2
5	4,5	4,7
4,5	3,5	4,0
6	5,5	5,7
12	10,5	11,2
14	17,5	15,6
5	5,5	5,2
1	0,5	0,7
0	0	0,0
1	0,5	0,7
4,5	4,5	4,5
10,5	10,5	10,5
10	8,5	9,2
8	5,5	6,7
8	5,5	6,7
9	7	7,9
13	10,5	11,7
19	18,5	18,7
19	20,5	19,7
12	9	10,4
9	6	7,4
8	5	6,4
9,5	7,5	8,4
15	13,5	14,2
19	19,5	19,2
7,5	4,5	5,9
4	1	2,4
3	0	1,4
4,5	1,5	2,9
7,5	4,5	5,9
11	8,5	9,7
11	9	9,9
10,5	7,5	8,9
10	9	9,5

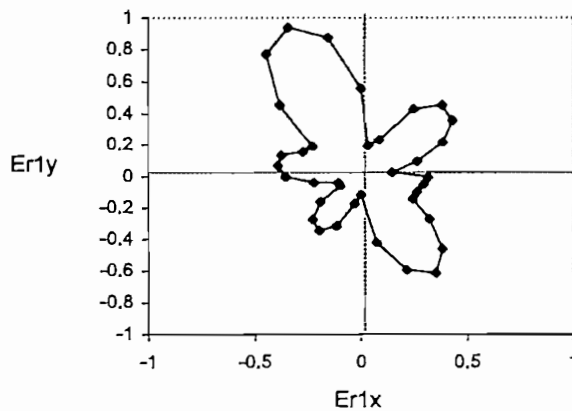


Cuadro A4.2 - 8B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-16	-16	0	10	0.3162278	0.3162278	0
10	0.1745329	-22.5	-22.15817	-3.907084	16.5	0.1496236	0.1473504	0.02598186
20	0.3490659	-17	-15.97477	-5.814342	11	0.2818383	0.2648414	0.096394373
30	0.5235988	-13	-11.25833	-6.5	7	0.4466836	0.3868393	0.223341796
40	0.6981317	-11	-8.426489	-7.070664	5	0.5623413	0.4307784	0.361466036
50	0.8726646	-10.5	-6.74927	-8.043467	4.5	0.5956621	0.3828842	0.456303675
60	1.0471976	-12	-6	-10.3923	6	0.5011872	0.2505936	0.434040876
70	1.2217305	-18	-6.156363	-16.91447	12	0.2511886	0.0859116	0.236040114
80	1.3962634	-20	-3.472964	-19.69616	14	0.1995262	0.0346474	0.19649498
90	1.5707963	-11	-6.74E-16	-11	5	0.5623413	3.445E-17	0.562341325
100	1.7453293	-7	1.2155372	-6.893654	1	0.8912509	-0.154764	0.877710834
110	1.9198622	-6	2.0521209	-5.638156	0	1	-0.34202	0.939692621
120	2.0943951	-7	3.5	-6.062178	1	0.8912509	-0.445625	0.771845954
130	2.268928	-10.5	6.7492699	-8.043467	4.5	0.5956621	-0.382884	0.456303675
140	2.443461	-16.5	12.639733	-10.606	10.5	0.2985383	-0.228694	0.191896696
150	2.6179939	-16	13.856406	-8	10	0.3162278	-0.273861	0.158113883
160	2.7925268	-14	13.155697	-4.788282	8	0.3981072	-0.374098	0.136160672
170	2.9670597	-14	13.787309	-2.431074	8	0.3981072	-0.392059	0.069130585
180	3.1415927	-15	15	-1.84E-15	9	0.3548134	-0.354813	4.34699E-17
190	3.3161256	-19	18.711347	3.2993154	13	0.2238721	-0.220471	-0.038874985
200	3.4906585	-25	23.492316	8.5505036	19	0.1122018	-0.105435	-0.038375291
210	3.6651914	-25	21.650635	12.5	19	0.1122018	-0.09717	-0.056100923
220	3.8397244	-18	13.7888	11.570177	12	0.2511886	-0.192422	-0.161460948
230	4.0142573	-15	9.6418141	11.490667	9	0.3548134	-0.22807	-0.271802825
240	4.1887902	-14	7	12.124356	8	0.3981072	-0.199054	-0.344770923
250	4.3633231	-15.5	5.3013122	14.565236	9.5	0.3349654	-0.114565	-0.314764551
260	4.5378561	-21	3.6466117	20.680963	15	0.1778279	-0.030879	-0.175126335
270	4.712389	-25	4.594E-15	25	19	0.1122018	-2.06E-17	-0.112201845
280	4.8869219	-13.5	-2.34425	13.294905	7.5	0.4216965	0.0732268	-0.415289986
290	5.0614548	-10	-3.420201	9.3969262	4	0.6309573	0.2158001	-0.592905961
300	5.2359878	-9	-4.5	7.7942286	3	0.7079458	0.3539729	-0.613099034
310	5.4105207	-10.5	-6.74927	8.0434667	4.5	0.5956621	0.3828842	-0.456303675
320	5.5850536	-13.5	-10.3416	8.6776327	7.5	0.4216965	0.3230383	-0.271061287
330	5.7595865	-17	-14.72243	8.5	11	0.2818383	0.2440791	-0.140919147
340	5.9341195	-17	-15.97477	5.8143424	11	0.2818383	0.2648414	-0.096394373
350	6.1086524	-16.5	-16.24933	2.8651949	10.5	0.2985383	0.2940028	-0.051840625
360	6.2831853	-16	-16	3.92E-15	10	0.3162278	0.3162278	-7.74852E-17

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.2 - 8B

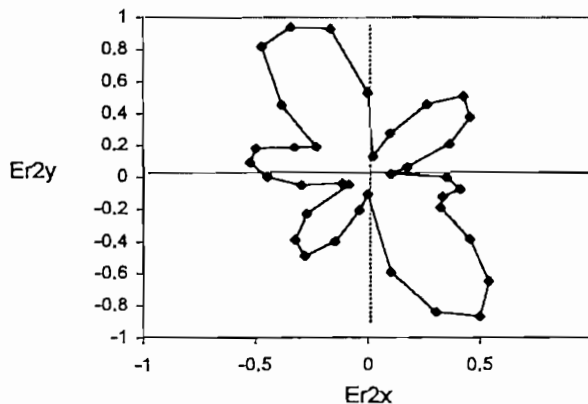


Cuadro A4.2 - 8C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-16.5	-16.5	0	9	0.3548134	0.3548134	0
10	0.1745329	-27	-26.58981	-4.688501	19.5	0.1059254	0.1043161	0.0183937
20	0.3490659	-22	-20.67324	-7.524443	14.5	0.1883649	0.1770051	0.0644246
30	0.5235988	-15	-12.99038	-7.5	7.5	0.4216965	0.3651999	0.2108483
40	0.6981317	-12	-9.192533	-7.713451	4.5	0.5956621	0.4563037	0.3828842
50	0.8726646	-11	-7.070664	-8.426489	3.5	0.6683439	0.4296032	0.5119811
60	1.0471976	-13	-6.5	-11.25833	5.5	0.5308844	0.2654422	0.4597594
70	1.2217305	-18	-6.156363	-16.91447	10.5	0.2985383	0.1021061	0.2805342
80	1.3962634	-25	-4.341204	-24.62019	17.5	0.1333521	0.0231564	0.1313262
90	1.5707963	-13	-7.96E-16	-13	5.5	0.5308844	3.252E-17	0.5308844
100	1.7453293	-8	1.3891854	-7.878462	0.5	0.9440609	-0.163934	0.9297185
110	1.9198622	-7.5	2.5651511	-7.047695	0	1	-0.34202	0.9396926
120	2.0943951	-8	4	-6.928203	0.5	0.9440609	-0.47203	0.8175807
130	2.268928	-12	7.7134513	-9.192533	4.5	0.5956621	-0.382884	0.4563037
140	2.443461	-18	13.7888	-11.57018	10.5	0.2985383	-0.228694	0.1918967
150	2.6179939	-16	13.856406	-8	8.5	0.3758374	-0.325485	0.1879187
160	2.7925268	-13	12.216004	-4.446262	5.5	0.5308844	-0.498868	0.1815732
170	2.9670597	-13	12.802501	-2.257426	5.5	0.5308844	-0.522819	0.0921871
180	3.1415927	-14.5	14.5	-1.78E-15	7	0.4466836	-0.446684	5.473E-17
190	3.3161256	-18	17.72654	3.1256672	10.5	0.2985383	-0.294003	-0.0518406
200	3.4906585	-26	24.432008	8.8925237	18.5	0.1188502	-0.111683	-0.0406492
210	3.6651914	-28	24.248711	14	20.5	0.0944061	-0.081758	-0.047203
220	3.8397244	-16.5	12.639733	10.605996	9	0.3548134	-0.271803	-0.2280697
230	4.0142573	-13.5	8.6776327	10.3416	6	0.5011872	-0.322157	-0.3839317
240	4.1887902	-12.5	6.25	10.825318	5	0.5623413	-0.281171	-0.4870019
250	4.3633231	-15	5.1303021	14.095389	7.5	0.4216965	-0.144229	-0.3962651
260	4.5378561	-21	3.6466117	20.680963	13.5	0.2113489	-0.0367	-0.208138
270	4.712389	-27	4.962E-15	27	19.5	0.1059254	-1.95E-17	-0.1059254
280	4.8869219	-12	-2.083778	11.817693	4.5	0.5956621	0.1034356	-0.5866127
290	5.0614548	-8.5	-2.907171	7.9873873	1	0.8912509	0.3048258	-0.8375019
300	5.2359878	-7.5	-3.75	6.4951905	0	1	0.5	-0.8660254
310	5.4105207	-9	-5.785088	6.8944	1.5	0.8413951	0.5408384	-0.6445461
320	5.5850536	-12	-9.192533	7.7134513	4.5	0.5956621	0.4563037	-0.3828842
330	5.7595865	-16	-13.85641	8	8.5	0.3758374	0.3254847	-0.1879187
340	5.9341195	-16.5	-15.50493	5.6433324	9	0.3548134	0.3334155	-0.1213533
350	6.1086524	-15	-14.77212	2.6047227	7.5	0.4216965	0.41529	-0.0732268
360	6.2831853	-16.5	-16.5	4.043E-15	9	0.3548134	0.3548134	-8.694E-17

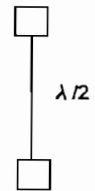
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.2 - 8C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 9A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	0	0.0
0	0	0.0
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
0.8	1	0.9
1	1	1.0
1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5
1	1	1.0
1	1	1.0
1	1	1.0
2	1.5	1.7
2	2	2.0
2.5	2	2.2
3	4	3.5
4	5	4.5
5	6	5.5
5.5	7	6.2
7	8	7.5
8	7	7.5
9	8	8.5
14	15	14.5
21	16	18.1
15	12	13.4
9.5	7.5	8.4
5.5	4	4.7
3.5	2	2.7
2	0.5	1.2
1	0	0.5
2	0	0.9
1.5	0	0.7
1.5	0	0.7
1	0	0.5
0.5	0	0.2
0	0	0.0

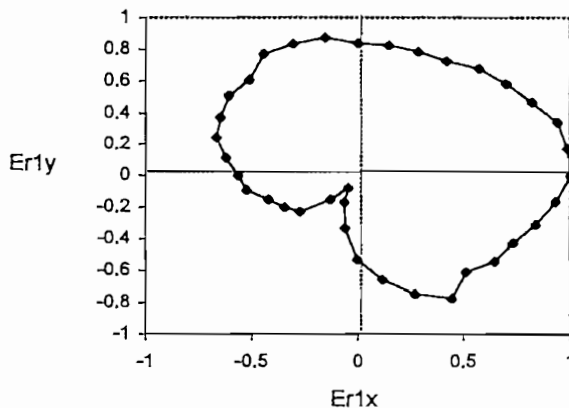


Cuadro A4.2 - 9B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-4	-4	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-4	-3.939231	-0.694593	0	1	0.9848078	0.173648178
20	0.3490659	-4	-3.75877	-1.368081	0	1	0.9396926	0.342020143
30	0.5235988	-4.5	-3.897114	-2.25	0.5	0.9440609	0.8175807	0.472030438
40	0.6981317	-4.8	-3.677013	-3.085381	0.8	0.9120108	0.6986408	0.586229267
50	0.8726646	-5	-3.213938	-3.830222	1	0.8912509	0.5728851	0.682737829
60	1.0471976	-5.5	-2.75	-4.76314	1.5	0.8413951	0.4206976	0.728669567
70	1.2217305	-5.5	-1.881111	-5.168309	1.5	0.8413951	0.2877741	0.790652806
80	1.3962634	-5.5	-0.955065	-5.416443	1.5	0.8413951	0.1461067	0.828612459
90	1.5707963	-5.5	-3.37E-16	-5.5	1.5	0.8413951	5.154E-17	0.841395142
100	1.7453293	-5	0.8682409	-4.924039	1	0.8912509	-0.154764	0.877710834
110	1.9198622	-5	1.7101007	-4.698463	1	0.8912509	-0.304826	0.83750193
120	2.0943951	-5	2.5	-4.330127	1	0.8912509	-0.445625	0.771845954
130	2.268928	-6	3.8567257	-4.596267	2	0.7943282	-0.510584	0.60849073
140	2.443461	-6	4.5962667	-3.856726	2	0.7943282	-0.608491	0.510584347
150	2.6179939	-6.5	5.6291651	-3.25	2.5	0.7498942	-0.649427	0.374947105
160	2.7925268	-7	6.5778483	-2.394141	3	0.7079458	-0.665251	0.242131719
170	2.9670597	-8	7.878462	-1.389185	4	0.6309573	-0.621372	0.109564593
180	3.1415927	-9	9	-1.1E-15	5	0.5623413	-0.562341	6.88952E-17
190	3.3161256	-9.5	9.3556737	1.6496577	5.5	0.5308844	-0.522819	-0.092187116
200	3.4906585	-11	10.336619	3.7622216	7	0.4466836	-0.419745	-0.152774786
210	3.6651914	-12	10.392305	6	8	0.3981072	-0.344771	-0.199053585
220	3.8397244	-13	9.9585778	8.3562389	9	0.3548134	-0.271803	-0.22806965
230	4.0142573	-18	11.570177	13.7888	14	0.1995262	-0.128253	-0.152845961
240	4.1887902	-25	12.5	21.650635	21	0.0891251	-0.044563	-0.077184595
250	4.3633231	-19	6.4983827	17.85416	15	0.1778279	-0.060821	-0.167103604
260	4.5378561	-13.5	2.3442504	13.294905	9.5	0.3349654	-0.058166	-0.329876561
270	4.712389	-9.5	1.746E-15	9.5	5.5	0.5308844	-9.76E-17	-0.530884444
280	4.8869219	-7.5	-1.302361	7.3860581	3.5	0.6683439	0.1160567	-0.658190272
290	5.0614548	-6	-2.052121	5.6381557	2	0.7943282	0.2716763	-0.746424381
300	5.2359878	-5	-2.5	4.330127	1	0.8912509	0.4456255	-0.771845954
310	5.4105207	-6	-3.856726	4.5962667	2	0.7943282	0.5105843	-0.60849073
320	5.5850536	-5.5	-4.213244	3.5353319	1.5	0.8413951	0.6445461	-0.540838372
330	5.7595865	-5.5	-4.76314	2.75	1.5	0.8413951	0.7286696	-0.420697571
340	5.9341195	-5	-4.698463	1.7101007	1	0.8912509	0.8375019	-0.304825774
350	6.1086524	-4.5	-4.431635	0.7814168	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.163934451
360	6.2831853	-4	-4	9.801E-16	0	1	1	-2.4503E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 9B

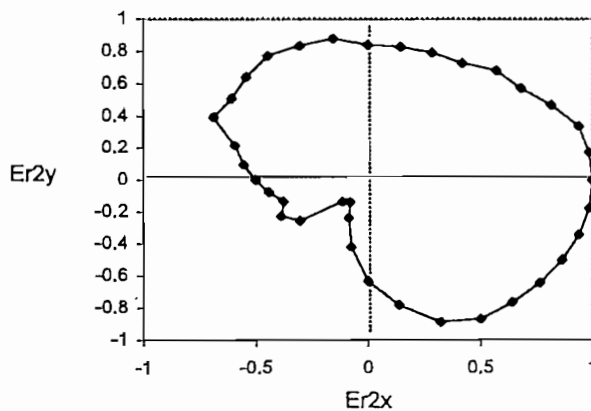


Cuadro A4.2 - 9C

GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-5	-5	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-5	-4.924039	-0.868241	0	1	0.9848078	0.1736482
20	0.3490659	-5	-4.698463	-1.710101	0	1	0.9396926	0.3420201
30	0.5235988	-5.5	-4.76314	-2.75	0.5	0.9440609	0.8175807	0.4720304
40	0.6981317	-6	-4.596267	-3.856726	1	0.8912509	0.6827378	0.5728851
50	0.8726646	-6	-3.856726	-4.596267	1	0.8912509	0.5728851	0.6827378
60	1.0471976	-6.5	-3.25	-5.629165	1.5	0.8413951	0.4206976	0.7286696
70	1.2217305	-6.5	-2.223131	-6.108002	1.5	0.8413951	0.2877741	0.7906528
80	1.3962634	-6.5	-1.128713	-6.40125	1.5	0.8413951	0.1461067	0.8286125
90	1.5707963	-6.5	-3.98E-16	-6.5	1.5	0.8413951	5.154E-17	0.8413951
100	1.7453293	-6	1.0418891	-5.908847	1	0.8912509	-0.154764	0.8777108
110	1.9198622	-6	2.0521209	-5.638156	1	0.8912509	-0.304826	0.8375019
120	2.0943951	-6	3	-5.196152	1	0.8912509	-0.445625	0.771848
130	2.268928	-6.5	4.1781195	-4.979289	1.5	0.8413951	-0.540838	0.6445461
140	2.443461	-7	5.3623111	-4.499513	2	0.7943282	-0.608491	0.5105843
150	2.6179939	-7	6.0621778	-3.5	2	0.7943282	-0.687908	0.3971641
160	2.7925268	-9	8.4572336	-3.078181	4	0.6309573	-0.592906	0.2158001
170	2.9670597	-10	9.8480775	-1.736482	5	0.5623413	-0.553798	0.0976495
180	3.1415927	-11	11	-1.35E-15	6	0.5011872	-0.501187	6.14E-17
190	3.3161256	-12	11.817693	2.0837781	7	0.4466836	-0.439897	-0.0775658
200	3.4906585	-13	12.216004	4.4462619	8	0.3981072	-0.374098	-0.1361607
210	3.6651914	-12	10.392305	6	7	0.4466836	-0.386839	-0.2233418
220	3.8397244	-13	9.9585778	8.3562389	8	0.3981072	-0.304968	-0.2558984
230	4.0142573	-20	12.855752	15.320889	15	0.1778279	-0.114306	-0.1362241
240	4.1887902	-21	10.5	18.186533	16	0.1584893	-0.079245	-0.1372558
250	4.3633231	-17	5.8143424	15.974775	12	0.2511886	-0.085912	-0.2360401
260	4.5378561	-12.5	2.1706022	12.310097	7.5	0.4216965	-0.073227	-0.41529
270	4.712389	-9	1.654E-15	9	4	0.6309573	-1.16E-16	-0.6309573
280	4.8869219	-7	-1.215537	6.8936543	2	0.7943282	0.1379337	-0.7822606
290	5.0614548	-5.5	-1.881111	5.1683094	0.5	0.9440609	0.3228878	-0.887127
300	5.2359878	-5	-2.5	4.330127	0	1	0.5	-0.8660254
310	5.4105207	-5	-3.213938	3.8302222	0	1	0.6427876	-0.7660444
320	5.5850536	-5	-3.830222	3.213938	0	1	0.7660444	-0.6427876
330	5.7595865	-5	-4.330127	2.5	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-5	-4.698463	1.7101007	0	1	0.9396926	-0.3420201
350	6.1086524	-5	-4.924039	0.8682409	0	1	0.9848078	-0.1736482
360	6.2831853	-5	-5	1.225E-15	0	1	1	-2.45E-16

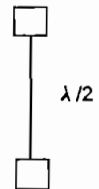
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 9C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 10A**

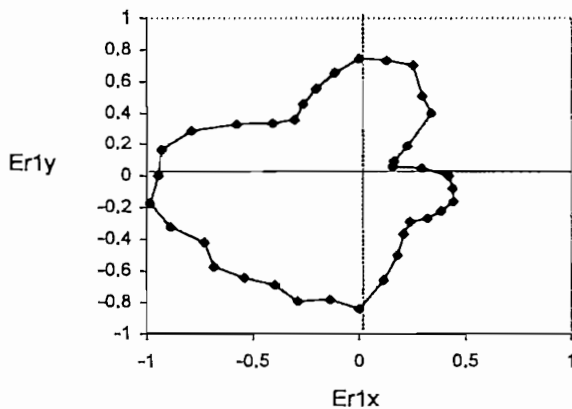
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
7.5	6	6.7
10.5	9	9.7
15.5	15	15.2
14.5	13.5	14.0
10.5	10	10.2
5.5	7	6.2
4.5	4.5	4.5
2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5
2.5	2.5	2.5
3.5	3.5	3.5
4.5	5	4.7
5.5	5	5.2
6.5	5	5.7
5.5	4	4.7
3.5	2.5	3.0
1.5	1	1.2
0.5	0	0.2
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0.5	0	0.2
1.5	1.5	1.5
1	1	1.0
1.5	1	1.2
2	1.5	1.7
1.5	1.5	1.5
2	1	1.5
1.5	2.5	2.0
3.5	3	3.2
5.5	6	5.7
7.5	9.5	8.4
8.5	9	8.7
7.5	9	8.2
7	7.5	7.2
6.5	5	5.7
7	5.5	6.2
7.5	6	6.7



Cuadro A4.2 - 10B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
0	0	-12	-12	0	7.5	0.4216965	0.4216965	0
10	0.1745329	-15	-14.77212	-2.604723	10.5	0.2985383	0.2940028	0.051840625
20	0.3490659	-20	-18.79385	-6.840403	15.5	0.1678804	0.157756	0.057418479
30	0.5235988	-19	-16.45448	-9.5	14.5	0.1883649	0.1631288	0.094182454
40	0.6981317	-15	-11.49067	-9.641814	10.5	0.2985383	0.2286936	0.191896696
50	0.8726646	-10	-6.427876	-7.660444	5.5	0.5308844	0.3412459	0.406681078
60	1.0471976	-9	-4.5	-7.794229	4.5	0.5956621	0.2978311	0.515858548
70	1.2217305	-7	-2.394141	-6.577848	2.5	0.7498942	0.2564789	0.704670055
80	1.3962634	-7	-1.215537	-6.893654	2.5	0.7498942	0.1302178	0.738501631
90	1.5707963	-7	-4.29E-16	-7	2.5	0.7498942	4.594E-17	0.749894209
100	1.7453293	-8	1.3891854	-7.878462	3.5	0.6683439	-0.116057	0.658190272
110	1.9198622	-9	3.0781813	-8.457234	4.5	0.5956621	-0.203728	0.559739321
120	2.0943951	-10	5	-8.660254	5.5	0.5308844	-0.265442	0.459759415
130	2.268928	-11	7.0706637	-8.426489	6.5	0.4731513	-0.304136	0.362454893
140	2.443461	-10	7.6604444	-6.427876	5.5	0.5308844	-0.406681	0.341245943
150	2.6179939	-8	6.9282032	-4	3.5	0.6683439	-0.578803	0.334171959
160	2.7925268	-6	5.6381557	-2.052121	1.5	0.8413951	-0.790653	0.287774087
170	2.9670597	-5	4.9240388	-0.868241	0.5	0.9440609	-0.929718	0.163934451
180	3.1415927	-5	5	-6.13E-16	0.5	0.9440609	-0.944061	1.15661E-16
190	3.3161256	-4.5	4.4316349	0.7814168	0	1	-0.984808	-0.173648178
200	3.4906585	-5	4.6984631	1.7101007	0.5	0.9440609	-0.887127	-0.322887836
210	3.6651914	-6	5.1961524	3	1.5	0.8413951	-0.72867	-0.420697571
220	3.8397244	-5.5	4.2132444	3.5353319	1	0.8912509	-0.682738	-0.57288506
230	4.0142573	-6	3.8567257	4.5962667	1.5	0.8413951	-0.540838	-0.644546073
240	4.1887902	-6.5	3.25	5.6291651	2	0.7943282	-0.397164	-0.68790843
250	4.3633231	-6	2.0521209	5.6381557	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.790652806
260	4.5378561	-6.5	1.1287132	6.4012504	2	0.7943282	-0.137934	-0.782260604
270	4.712389	-6	1.103E-15	6	1.5	0.8413951	-1.55E-16	-0.841395142
280	4.8869219	-8	-1.389185	7.878462	3.5	0.6683439	0.1160567	-0.658190272
290	5.0614548	-10	-3.420201	9.3969262	5.5	0.5308844	0.1815732	-0.498868195
300	5.2359878	-12	-6	10.392305	7.5	0.4216965	0.2108483	-0.365199885
310	5.4105207	-13	-8.356239	9.9585778	8.5	0.3758374	0.2415836	-0.287908155
320	5.5850536	-12	-9.192533	7.7134513	7.5	0.4216965	0.3230383	-0.271061287
330	5.7595865	-11.5	-9.959292	5.75	7	0.4466836	0.3868393	-0.223341796
340	5.9341195	-11	-10.33662	3.7622216	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.161827261
350	6.1086524	-11.5	-11.32529	1.996954	7	0.4466836	0.4398975	-0.077565792
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	7.5	0.4216965	0.4216965	-1.03328E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL
Gráfico A4.2 - 10B

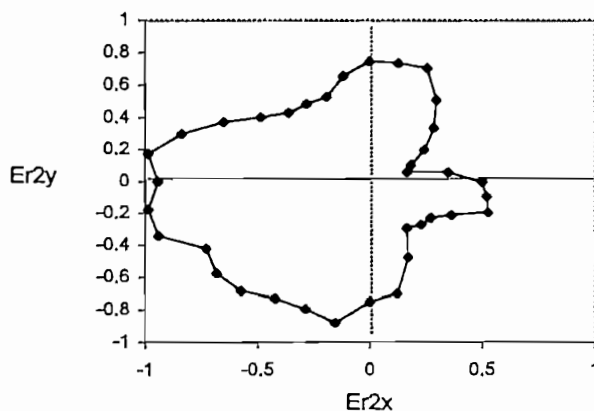


Cuadro A4.2 - 10C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-10	-10	0	6	0.5011872	0.5011872	0
10	0.1745329	-13	-12.8025	-2.257426	9	0.3548134	0.349423	0.0616127
20	0.3490659	-19	-17.85416	-6.498383	15	0.1778279	0.1671036	0.0608207
30	0.5235988	-17.5	-15.15544	-8.75	13.5	0.2113489	0.1830335	0.1056745
40	0.6981317	-14	-10.72462	-8.999027	10	0.3162278	0.2422445	0.2032673
50	0.8726646	-11	-7.070664	-8.426489	7	0.4466836	0.2871227	0.3421795
60	1.0471976	-8.5	-4.25	-7.361216	4.5	0.5956621	0.2978311	0.5158585
70	1.2217305	-6.5	-2.223131	-6.108002	2.5	0.7498942	0.2564789	0.7046701
80	1.3962634	-6.5	-1.128713	-6.40125	2.5	0.7498942	0.1302178	0.7385016
90	1.5707963	-6.5	-3.98E-16	-6.5	2.5	0.7498942	4.594E-17	0.7498942
100	1.7453293	-7.5	1.3023613	-7.386058	3.5	0.6683439	-0.116057	0.6581903
110	1.9198622	-9	3.0781813	-8.457234	5	0.5623413	-0.192332	0.528428
120	2.0943951	-9	4.5	-7.794229	5	0.5623413	-0.281171	0.4870019
130	2.268928	-9	5.7850885	-6.8944	5	0.5623413	-0.361466	0.4307784
140	2.443461	-8	6.1283555	-5.142301	4	0.6309573	-0.483341	0.4055716
150	2.6179939	-6.5	5.6291651	-3.25	2.5	0.7498942	-0.649427	0.3749471
160	2.7925268	-5	4.6984631	-1.710101	1	0.8912509	-0.837502	0.3048258
170	2.9670597	-4	3.939231	-0.694593	0	1	-0.984808	0.1736482
180	3.1415927	-4.5	4.5	-5.51E-16	0.5	0.9440609	-0.944061	1.157E-16
190	3.3161256	-4	3.939231	0.6945927	0	1	-0.984808	-0.1736482
200	3.4906585	-4	3.7587705	1.3680806	0	1	-0.939693	-0.3420201
210	3.6651914	-5.5	4.7631397	2.75	1.5	0.8413951	-0.72867	-0.4206976
220	3.8397244	-5	3.8302222	3.213938	1	0.8912509	-0.682738	-0.5728851
230	4.0142573	-5	3.213938	3.8302222	1	0.8912509	-0.572885	-0.6827378
240	4.1887902	-5.5	2.75	4.7631397	1.5	0.8413951	-0.420698	-0.7286696
250	4.3633231	-5.5	1.8811108	5.1683094	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.7906528
260	4.5378561	-5	0.8682409	4.9240388	1	0.8912509	-0.154764	-0.8777108
270	4.712389	-6.5	1.195E-15	6.5	2.5	0.7498942	-1.38E-16	-0.7498942
280	4.8869219	-7	-1.215537	6.8936543	3	0.7079458	0.1229335	-0.6971905
290	5.0614548	-10	-3.420201	9.3969262	6	0.5011872	0.1714161	-0.4709619
300	5.2359878	-13.5	-6.75	11.691343	9.5	0.3349654	0.1674827	-0.2900886
310	5.4105207	-13	-8.356239	9.9585778	9	0.3548134	0.2280697	-0.2718028
320	5.5850536	-13	-9.958578	8.3562389	9	0.3548134	0.2718028	-0.2280697
330	5.7595865	-11.5	-9.959292	5.75	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.2108483
340	5.9341195	-9	-8.457234	3.0781813	5	0.5623413	0.528428	-0.1923321
350	6.1086524	-9.5	-9.355674	1.6496577	5.5	0.5308844	0.5228191	-0.0921871
360	6.2831853	-10	-10	2.45E-15	6	0.5011872	0.5011872	-1.228E-16

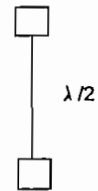
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.2 - 10C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, SIN CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 11A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
1.5	1.5	1.5
2.5	2	2.2
3	3	3.0
3	3.5	3.2
3	3.5	3.2
3	3	3.0
3	3	3.0
3	3	3.0
2.5	2.5	2.5
2.5	2	2.2
2	2	2.0
2	1	1.5
2	1	1.5
2	1	1.5
3	1.8	2.4
4	1.8	2.8
4.2	3	3.6
5	3.5	4.2
4.5	3.2	3.8
4	2.5	3.2
3	2	2.5
2.5	1	1.7
2.5	1	1.7
3	1	1.9
4	2	2.9
4	3	3.5
5	3.5	4.2
4.5	3	3.7
4	2.5	3.2
3	1.5	2.2
2	1	1.5
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
1	1	1.0
1.5	1.5	1.5

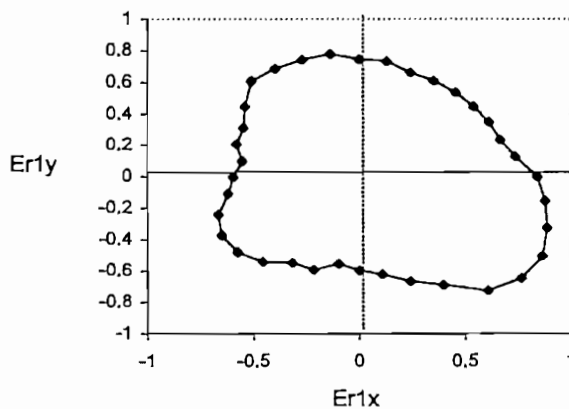


Cuadro A4.2 - 11B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Erlly(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-2.5	-2.5	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-3.5	-3.446827	-0.607769	2.5	0.7498942	0.7385016	0.130217763
20	0.3490659	-4	-3.75877	-1.368081	3	0.7079458	0.6652514	0.242131719
30	0.5235988	-4	-3.464102	-2	3	0.7079458	0.613099	0.353972892
40	0.6981317	-4	-3.064178	-2.57115	3	0.7079458	0.5423179	0.455058779
50	0.8726646	-4	-2.57115	-3.064178	3	0.7079458	0.4550588	0.542317934
60	1.0471976	-4	-2	-3.464102	3	0.7079458	0.3539729	0.613099034
70	1.2217305	-4	-1.368081	-3.75877	3	0.7079458	0.2421317	0.66525143
80	1.3962634	-3.5	-0.607769	-3.446827	2.5	0.7498942	0.1302178	0.738501631
90	1.5707963	-3.5	-2.14E-16	-3.5	2.5	0.7498942	4.594E-17	0.749894209
100	1.7453293	-3	0.5209445	-2.954423	2	0.7943282	-0.137934	0.782260604
110	1.9198622	-3	1.0260604	-2.819078	2	0.7943282	-0.271676	0.746424381
120	2.0943951	-3	1.5	-2.598076	2	0.7943282	-0.397164	0.68790843
130	2.268928	-3	1.9283628	-2.298133	2	0.7943282	-0.510584	0.60849073
140	2.443461	-4	3.0641778	-2.57115	3	0.7079458	-0.542318	0.455058779
150	2.6179939	-5	4.330127	-2.5	4	0.6309573	-0.546425	0.315478672
160	2.7925268	-5.2	4.8864016	-1.778505	4.2	0.616595	-0.57941	0.210887911
170	2.9670597	-6	5.9088465	-1.041889	5	0.5623413	-0.553798	0.097649546
180	3.1415927	-5.5	5.5	-6.74E-16	4.5	0.5956621	-0.595662	7.29775E-17
190	3.3161256	-5	4.9240388	0.8682409	4	0.6309573	-0.621372	-0.109564593
200	3.4906585	-4	3.7587705	1.3680806	3	0.7079458	-0.665251	-0.242131719
210	3.6651914	-3.5	3.0310889	1.75	2.5	0.7498942	-0.649427	-0.374947105
220	3.8397244	-3.5	2.6811556	2.2497566	2.5	0.7498942	-0.574452	-0.482022706
230	4.0142573	-4	2.5711504	3.0641778	3	0.7079458	-0.455059	-0.542317934
240	4.1887902	-5	2.5	4.330127	4	0.6309573	-0.315479	-0.546425089
250	4.3633231	-5	1.7101007	4.6984631	4	0.6309573	-0.2158	-0.592905961
260	4.5378561	-6	1.0418891	5.9088465	5	0.5623413	-0.09765	-0.553798097
270	4.712389	-5.5	1.011E-15	5.5	4.5	0.5956621	-1.09E-16	-0.595662144
280	4.8869219	-5	-0.868241	4.9240388	4	0.6309573	0.1095646	-0.621371685
290	5.0614548	-4	-1.368081	3.7587705	3	0.7079458	0.2421317	-0.66525143
300	5.2359878	-3	-1.5	2.5980762	2	0.7943282	0.3971641	-0.68790843
310	5.4105207	-1.5	-0.964181	1.1490667	0.5	0.9440609	0.6068306	-0.723192588
320	5.5850536	-1	-0.766044	0.6427876	0	1	0.7660444	-0.64278761
330	5.7595865	-1	-0.866025	0.5	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-1.5	-1.409539	0.5130302	0.5	0.9440609	0.887127	-0.322887836
350	6.1086524	-2	-1.969616	0.3472964	1	0.8912509	0.8777108	-0.154764101
360	6.2831853	-2.5	-2.5	6.126E-16	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.06167E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS, SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 11B

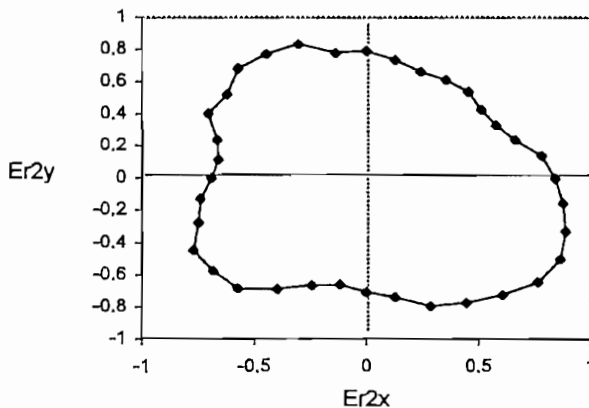


Cuadro A4.2 - 11C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-2.5	-2.5	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-3	-2.954423	-0.520945	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-4	-3.75877	-1.368081	3	0.7079458	0.6652514	0.2421317
30	0.5235988	-4.5	-3.897114	-2.25	3.5	0.6683439	0.5788028	0.334172
40	0.6981317	-4.5	-3.4472	-2.892544	3.5	0.6683439	0.5119811	0.4296032
50	0.8726646	-4	-2.57115	-3.064178	3	0.7079458	0.4550588	0.5423179
60	1.0471976	-4	-2	-3.464102	3	0.7079458	0.3539729	0.613099
70	1.2217305	-4	-1.368081	-3.75877	3	0.7079458	0.2421317	0.6652514
80	1.3962634	-3.5	-0.607769	-3.446827	2.5	0.7498942	0.1302178	0.7385016
90	1.5707963	-3	-1.84E-16	-3	2	0.7943282	4.866E-17	0.7943282
100	1.7453293	-3	0.5209445	-2.954423	2	0.7943282	-0.137934	0.7822606
110	1.9198622	-2	0.6840403	-1.879385	1	0.8912509	-0.304826	0.8375019
120	2.0943951	-2	1	-1.732051	1	0.8912509	-0.445625	0.771846
130	2.268928	-2	1.2855752	-1.532089	1	0.8912509	-0.572885	0.6827378
140	2.443461	-2.8	2.1449244	-1.799805	1.8	0.8128305	-0.622664	0.5224774
150	2.6179939	-2.8	2.4248711	-1.4	1.8	0.8128305	-0.703932	0.4064153
160	2.7925268	-4	3.7587705	-1.368081	3	0.7079458	-0.665251	0.2421317
170	2.9670597	-4.5	4.4316349	-0.781417	3.5	0.6683439	-0.65819	0.1160567
180	3.1415927	-4.2	4.2	-5.15E-16	3.2	0.691831	-0.691831	8.476E-17
190	3.3161256	-3.5	3.4468271	0.6077686	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.1302178
200	3.4906585	-3	2.8190779	1.0260604	2	0.7943282	-0.746424	-0.2716763
210	3.6651914	-2	1.7320508	1	1	0.8912509	-0.771846	-0.4456255
220	3.8397244	-2	1.5320889	1.2855752	1	0.8912509	-0.682738	-0.5728851
230	4.0142573	-2	1.2855752	1.5320889	1	0.8912509	-0.572885	-0.6827378
240	4.1887902	-3	1.5	2.5980762	2	0.7943282	-0.397164	-0.6879084
250	4.3633231	-4	1.3680806	3.7587705	3	0.7079458	-0.242132	-0.6652514
260	4.5378561	-4.5	0.7814168	4.4316349	3.5	0.6683439	-0.116057	-0.6581903
270	4.712389	-4	7.351E-16	4	3	0.7079458	-1.3E-16	-0.7079458
280	4.8869219	-3.5	-0.607769	3.4468271	2.5	0.7498942	0.1302178	-0.7385016
290	5.0614548	-2.5	-0.85505	2.3492316	1.5	0.8413951	0.2877741	-0.7906528
300	5.2359878	-2	-1	1.7320508	1	0.8912509	0.4456255	-0.771846
310	5.4105207	-1.5	-0.964181	1.1490667	0.5	0.9440609	0.6068306	-0.7231926
320	5.5850536	-1	-0.766044	0.6427876	0	1	0.7660444	-0.6427876
330	5.7595865	-1	-0.866025	0.5	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-1.5	-1.409539	0.5130302	0.5	0.9440609	0.887127	-0.3228878
350	6.1086524	-2	-1.969616	0.3472964	1	0.8912509	0.8777108	-0.1547641
360	6.2831853	-2.5	-2.5	6.126E-16	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.062E-16

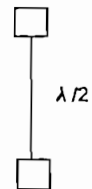
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**

Gráfico A4.2 - 11C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, SIN CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
 Cuadro A4.2 - 12A**

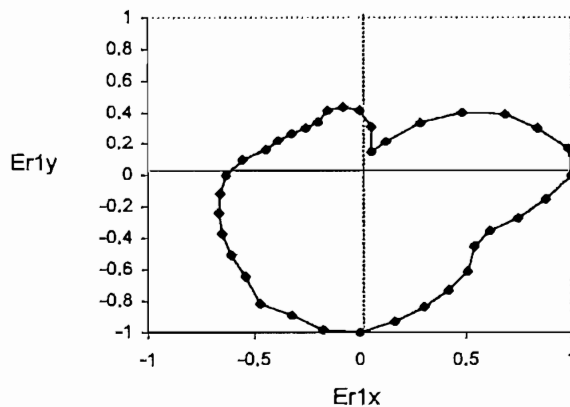
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	1.5	0.7
0	2	0.9
1	3.5	2.2
2	6.5	4.0
4	7.5	5.6
7	11	8.8
12	18	14.5
16	20	17.8
10	14	11.8
7.5	12	9.5
7	11	8.8
7	11.5	9.0
8	11.5	9.6
8	11.5	9.6
7.5	10.5	8.9
7	9.5	8.2
6.5	9	7.7
5	8	6.4
4	7	5.4
3.5	6	4.7
3	5	3.9
2.5	4.5	3.4
2	4	2.9
1.5	3	2.2
0.5	2	1.2
0.5	1.5	1.0
0	1	0.5
0	0	0.0
0.5	0	0.2
1	0	0.5
1.5	1	1.2
2	1.5	1.7
3	2	2.5
3	2	2.5
2	2	2.0
1	2	1.5
0	1.5	0.7



Cuadro A4.2 - 12B

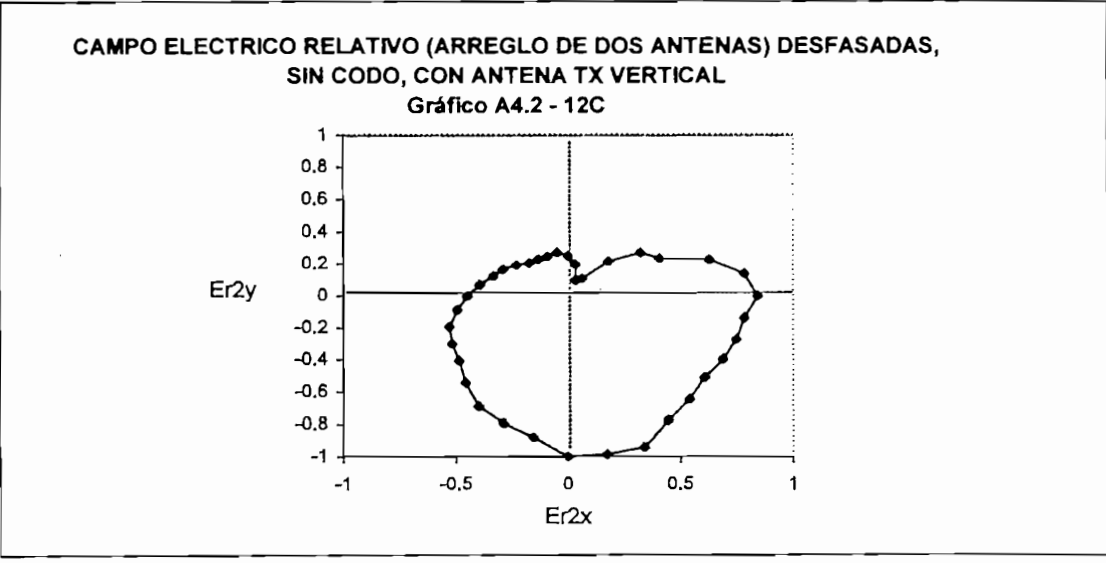
GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-2	-2	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-2	-1.969616	-0.347296	0	1	0.9848078	0.173648178
20	0.3490659	-3	-2.819078	-1.02606	1	0.8912509	0.8375019	0.304825774
30	0.5235988	-4	-3.464102	-2	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-6	-4.596267	-3.856726	4	0.6309573	0.4833414	0.405571563
50	0.8726646	-9	-5.785088	-6.8944	7	0.4466836	0.2871227	0.342179484
60	1.0471976	-14	-7	-12.12436	12	0.2511886	0.1255943	0.217535746
70	1.2217305	-18	-6.156363	-16.91447	16	0.1584893	0.0542065	0.148931244
80	1.3962634	-12	-2.083778	-11.81769	10	0.3162278	0.0549124	0.311423556
90	1.5707963	-9.5	-5.82E-16	-9.5	7.5	0.4216965	2.583E-17	0.421696503
100	1.7453293	-9	1.5628336	-8.86327	7	0.4466836	-0.077566	0.439897465
110	1.9198622	-9	3.0781813	-8.457234	7	0.4466836	-0.152775	0.419745275
120	2.0943951	-10	5	-8.660254	8	0.3981072	-0.199054	0.344770923
130	2.268928	-10	6.4278761	-7.660444	8	0.3981072	-0.255898	0.304967786
140	2.443461	-9.5	7.2774222	-6.106482	7.5	0.4216965	-0.323038	0.271061287
150	2.6179939	-9	7.7942286	-4.5	7	0.4466836	-0.386839	0.223341796
160	2.7925268	-8.5	7.9873873	-2.907171	6.5	0.4731513	-0.444617	0.161827261
170	2.9670597	-7	6.8936543	-1.215537	5	0.5623413	-0.553798	0.097649546
180	3.1415927	-6	6	-7.35E-16	4	0.6309573	-0.630957	7.73016E-17
190	3.3161256	-5.5	5.4164426	0.955065	3.5	0.6683439	-0.65819	-0.116056703
200	3.4906585	-5	4.6984631	1.7101007	3	0.7079458	-0.665251	-0.242131719
210	3.6651914	-4.5	3.8971143	2.25	2.5	0.7498942	-0.649427	-0.374947105
220	3.8397244	-4	3.0641778	2.5711504	2	0.7943282	-0.608491	-0.510584347
230	4.0142573	-3.5	2.2497566	2.6811556	1.5	0.8413951	-0.540838	-0.644546073
240	4.1887902	-2.5	1.25	2.1650635	0.5	0.9440609	-0.47203	-0.817580702
250	4.3633231	-2.5	0.8550504	2.3492316	0.5	0.9440609	-0.322888	-0.887127039
260	4.5378561	-2	0.3472964	1.9696155	0	1	-0.173648	-0.984807753
270	4.712389	-2	3.675E-16	2	0	1	-1.84E-16	-1
280	4.8869219	-2.5	-0.43412	2.4620194	0.5	0.9440609	0.1639345	-0.92971847
290	5.0614548	-3	-1.02606	2.8190779	1	0.8912509	0.3048258	-0.83750193
300	5.2359878	-3.5	-1.75	3.0310889	1.5	0.8413951	0.4206976	-0.728669567
310	5.4105207	-4	-2.57115	3.0641778	2	0.7943282	0.5105843	-0.60849073
320	5.5850536	-5	-3.830222	3.213938	3	0.7079458	0.5423179	-0.455058779
330	5.7595865	-5	-4.330127	2.5	3	0.7079458	0.613099	-0.353972892
340	5.9341195	-4	-3.75877	1.3680806	2	0.7943282	0.7464244	-0.271676257
350	6.1086524	-3	-2.954423	0.5209445	1	0.8912509	0.8777108	-0.154764101
360	6.2831853	-2	-2	4.901E-16	0	1	1	-2.4503E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
SIN CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.2 - 12B



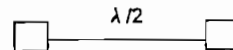
Cuadro A4.2 - 12C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-1.5	-1.5	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-2	-1.969616	-0.347296	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-3.5	-3.288924	-1.197071	3.5	0.6683439	0.6280378	0.2285871
30	0.5235988	-6.5	-5.629165	-3.25	6.5	0.4731513	0.409761	0.2365756
40	0.6981317	-7.5	-5.745333	-4.820907	7.5	0.4216965	0.3230383	0.2710613
50	0.8726646	-11	-7.070664	-8.426489	11	0.2818383	0.1811622	0.2159007
60	1.0471976	-18	-9	-15.58846	18	0.1258925	0.0629463	0.1090261
70	1.2217305	-20	-6.840403	-18.79385	20	0.1	0.034202	0.0939693
80	1.3962634	-14	-2.431074	-13.78731	14	0.1995262	0.0346474	0.196495
90	1.5707963	-12	-7.35E-16	-12	12	0.2511886	1.539E-17	0.2511886
100	1.7453293	-11	1.91013	-10.83289	11	0.2818383	-0.048941	0.2775565
110	1.9198622	-11.5	3.9332316	-10.80647	11.5	0.2660725	-0.091002	0.2500264
120	2.0943951	-11.5	5.75	-9.959292	11.5	0.2660725	-0.133036	0.2304255
130	2.268928	-11.5	7.3920575	-8.809511	11.5	0.2660725	-0.171028	0.2038234
140	2.443461	-10.5	8.0434667	-6.74927	10.5	0.2985383	-0.228694	0.1918967
150	2.6179939	-9.5	8.2272413	-4.75	9.5	0.3349654	-0.290089	0.1674827
160	2.7925268	-9	8.4572336	-3.078181	9	0.3548134	-0.333416	0.1213533
170	2.9670597	-8	7.878462	-1.389185	8	0.3981072	-0.392059	0.0691306
180	3.1415927	-7	7	-8.58E-16	7	0.4466836	-0.446684	5.473E-17
190	3.3161256	-6	5.9088465	1.0418891	6	0.5011872	-0.493573	-0.0870302
200	3.4906585	-5	4.6984631	1.7101007	5	0.5623413	-0.528428	-0.1923321
210	3.6651914	-4.5	3.8971143	2.25	4.5	0.5956621	-0.515859	-0.2978311
220	3.8397244	-4	3.0641778	2.5711504	4	0.6309573	-0.483341	-0.4055716
230	4.0142573	-3	1.9283628	2.2981333	3	0.7079458	-0.455059	-0.5423179
240	4.1887902	-2	1	1.7320508	2	0.7943282	-0.397164	-0.6879084
250	4.3633231	-1.5	0.5130302	1.4095389	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.7906528
260	4.5378561	-1	0.1736482	0.9848078	1	0.8912509	-0.154764	-0.8777108
270	4.712389	0	0	0	0	1	-1.84E-16	-1
280	4.8869219	0	0	0	0	1	0.1736482	-0.9848078
290	5.0614548	0	0	0	0	1	0.3420201	-0.9396926
300	5.2359878	-1	-0.5	0.8680254	1	0.8912509	0.4456255	-0.771846
310	5.4105207	-1.5	-0.964181	1.1490667	1.5	0.8413951	0.5408384	-0.6445461
320	5.5850536	-2	-1.532089	1.2855752	2	0.7943282	0.6084907	-0.5105843
330	5.7595865	-2	-1.732051	1	2	0.7943282	0.6879084	-0.3971641
340	5.9341195	-2	-1.879385	0.6840403	2	0.7943282	0.7464244	-0.2716763
350	6.1086524	-2	-1.969616	0.3472964	2	0.7943282	0.7822606	-0.1379337
360	6.2831853	-1.5	-1.5	3.675E-16	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.062E-16



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 13A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
1.5	3	2.2
1.5	4	2.7
2.5	5.5	3.9
4.5	6	5.2
9.5	8	8.7
18.5	17	17.7
7.5	10	8.7
2.5	3	2.7
0.5	2	1.2
0	0	0.0
1.5	2	1.7
3	4	3.5
6	6	6.0
9.5	8	8.7
19.5	15	17.0
14.5	19.5	16.6
12	10	10.9
6.5	5	5.7
4	3	3.5
2.5	2	2.2
2.5	2	2.2
3.5	3	3.2
4	4	4.0
5.5	5.5	5.5
8	8	8.0
10.5	10	10.2
11.5	11	11.2
10.5	10	10.2
9.5	8	8.7
8.5	7	7.7
8	6.5	7.2
7.5	6	6.7
6.5	6	6.2
5.5	6	5.7
4.5	6	5.2
3	4.5	3.7
1.5	3	2.2

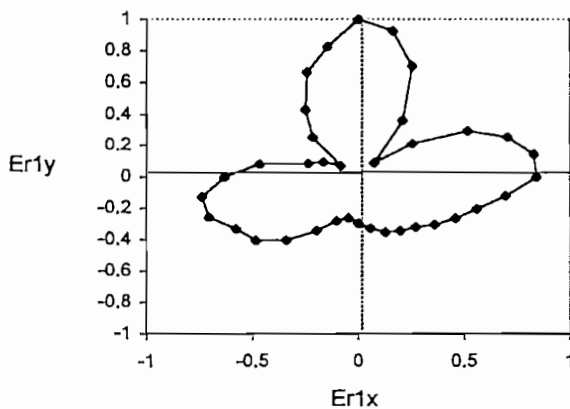


Cuadro A4.2 - 13B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-2	-2	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-2	-1.969616	-0.347296	1.5	0.8413951	0.8286125	0.146106733
20	0.3490659	-3	-2.819078	-1.02606	2.5	0.7498942	0.7046701	0.256478925
30	0.5235988	-5	-4.330127	-2.5	4.5	0.5956621	0.5158585	0.297831072
40	0.6981317	-10	-7.660444	-6.427876	9.5	0.3349654	0.2565984	0.215311634
50	0.8726646	-19	-12.21296	-14.55484	18.5	0.1188502	0.0763955	0.091044553
60	1.0471976	-8	-4	-6.928203	7.5	0.4216965	0.2108483	0.365199885
70	1.2217305	-3	-1.02606	-2.819078	2.5	0.7498942	0.2564789	0.704670055
80	1.3962634	-1	-0.173648	-0.984808	0.5	0.9440609	0.1639345	0.92971847
90	1.5707963	-0.5	-3.06E-17	-0.5	0	1	6.126E-17	1
100	1.7453293	-2	0.3472964	-1.969616	1.5	0.8413951	-0.146107	0.828612459
110	1.9198622	-3.5	1.1970705	-3.288924	3	0.7079458	-0.242132	0.66525143
120	2.0943951	-6.5	3.25	-5.629165	6	0.5011872	-0.250594	0.434040876
130	2.268928	-10	6.4278761	-7.660444	9.5	0.3349654	-0.215312	0.256598413
140	2.443461	-20	15.320889	-12.85575	19.5	0.1059254	-0.081144	0.068087517
150	2.6179939	-15	12.990381	-7.5	14.5	0.1883649	-0.163129	0.094182454
160	2.7925268	-12.5	11.746158	-4.275252	12	0.2511886	-0.23604	0.085911576
170	2.9670597	-7	6.8936543	-1.215537	6.5	0.4731513	-0.465963	0.082161854
180	3.1415927	-4.5	4.5	-5.51E-16	4	0.6309573	-0.630957	7.73016E-17
190	3.3161256	-3	2.9544233	0.5209445	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.130217763
200	3.4906585	-3	2.8190779	1.0260604	2.5	0.7498942	-0.70467	-0.256478925
210	3.6651914	-4	3.4641016	2	3.5	0.6683439	-0.578803	-0.334171959
220	3.8397244	-4.5	3.4472	2.8925442	4	0.6309573	-0.483341	-0.405571563
230	4.0142573	-6	3.8567257	4.5962667	5.5	0.5308844	-0.341246	-0.406681078
240	4.1887902	-8.5	4.25	7.3612159	8	0.3981072	-0.199054	-0.344770923
250	4.3633231	-11	3.7622216	10.336619	10.5	0.2985383	-0.102106	-0.280534202
260	4.5378561	-12	2.0837781	11.817693	11.5	0.2660725	-0.046203	-0.262030267
270	4.712389	-11	2.021E-15	11	10.5	0.2985383	-5.49E-17	-0.298538262
280	4.8869219	-10	-1.736482	9.8480775	9.5	0.3349654	0.0581661	-0.329876561
290	5.0614548	-9	-3.078181	8.4572336	8.5	0.3758374	0.128544	-0.353171635
300	5.2359878	-8.5	-4.25	7.3612159	8	0.3981072	0.1990536	-0.344770923
310	5.4105207	-8	-5.142301	6.1283555	7.5	0.4216965	0.2710613	-0.323038263
320	5.5850536	-7	-5.362311	4.4995133	6.5	0.4731513	0.3624549	-0.304135767
330	5.7595865	-6	-5.196152	3	5.5	0.5308844	0.4597594	-0.265442222
340	5.9341195	-5	-4.698463	1.7101007	4.5	0.5956621	0.5597393	-0.203728452
350	6.1086524	-3.5	-3.446827	0.6077686	3	0.7079458	0.6971905	-0.122933495
360	6.2831853	-2	-2	4.901E-16	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.06167E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 13B

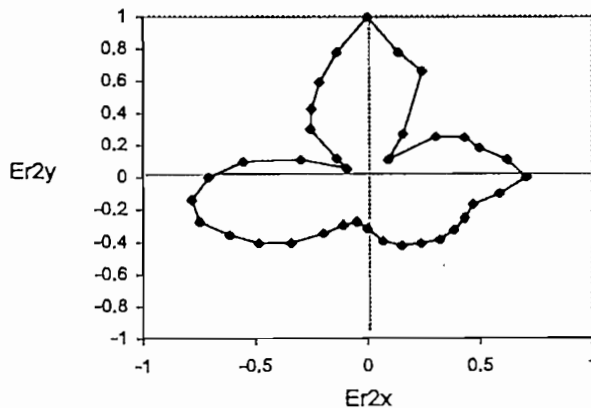


Cuadro A4.2 - 13C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-3	-3	0	3	0.7079458	0.7079458	0
10	0.1745329	-4	-3.939231	-0.694593	4	0.6309573	0.6213717	0.1095646
20	0.3490659	-5.5	-5.168309	-1.881111	5.5	0.5308844	0.4988682	0.1815732
30	0.5235988	-6	-5.196152	-3	6	0.5011872	0.4340409	0.2505936
40	0.6981317	-8	-6.128356	-5.142301	8	0.3981072	0.3049678	0.2558984
50	0.8726646	-17	-10.92739	-13.02276	17	0.1412538	0.0907962	0.1082067
60	1.0471976	-10	-5	-8.660254	10	0.3162278	0.1581139	0.2738613
70	1.2217305	-3	-1.02606	-2.819078	3	0.7079458	0.2421317	0.6652514
80	1.3962634	-2	-0.347296	-1.969616	2	0.7943282	0.1379337	0.7822606
90	1.5707963	0	0	0	0	1	6.126E-17	1
100	1.7453293	-2	0.3472964	-1.969616	2	0.7943282	-0.137934	0.7822606
110	1.9198622	-4	1.3680806	-3.75877	4	0.6309573	-0.2158	0.592906
120	2.0943951	-6	3	-5.196152	6	0.5011872	-0.250594	0.4340409
130	2.268928	-8	5.1423009	-6.128356	8	0.3981072	-0.255898	0.3049678
140	2.443461	-15	11.490667	-9.641814	15	0.1778279	-0.136224	0.1143056
150	2.6179939	-19.5	16.887495	-9.75	19.5	0.1059254	-0.091734	0.0529627
160	2.7925268	-10	9.3969262	-3.420201	10	0.3162278	-0.297157	0.1081563
170	2.9670597	-5	4.9240388	-0.868241	5	0.5623413	-0.553798	0.0976495
180	3.1415927	-3	3	-3.68E-16	3	0.7079458	-0.707946	8.673E-17
190	3.3161256	-2	1.9696155	0.3472964	2	0.7943282	-0.782261	-0.1379337
200	3.4906585	-2	1.8793852	0.6840403	2	0.7943282	-0.746424	-0.2716763
210	3.6651914	-3	2.5980762	1.5	3	0.7079458	-0.613099	-0.3539729
220	3.8397244	-4	3.0641778	2.5711504	4	0.6309573	-0.483341	-0.4055716
230	4.0142573	-5.5	3.5353319	4.2132444	5.5	0.5308844	-0.341246	-0.4066811
240	4.1887902	-8	4	6.9282032	8	0.3981072	-0.199054	-0.3447709
250	4.3633231	-10	3.4202014	9.3969262	10	0.3162278	-0.108156	-0.2971569
260	4.5378561	-11	1.91013	10.832885	11	0.2818383	-0.048941	-0.2775565
270	4.712389	-10	1.838E-15	10	10	0.3162278	-5.81E-17	-0.3162278
280	4.8869219	-8	-1.389185	7.878462	8	0.3981072	0.0691306	-0.392059
290	5.0614548	-7	-2.394141	6.5778483	7	0.4466836	0.1527748	-0.4197453
300	5.2359878	-6.5	-3.25	5.6291651	6.5	0.4731513	0.2365756	-0.409761
310	5.4105207	-6	-3.856726	4.5962667	6	0.5011872	0.3221569	-0.3839317
320	5.5850536	-6	-4.596267	3.8567257	6	0.5011872	0.3839317	-0.3221569
330	5.7595865	-6	-5.196152	3	6	0.5011872	0.4340409	-0.2505936
340	5.9341195	-6	-5.638156	2.0521209	6	0.5011872	0.4709619	-0.1714161
350	6.1086524	-4.5	-4.431635	0.7814168	4.5	0.5956621	0.5866127	-0.1034356
360	6.2831853	-3	-3	7.351E-16	3	0.7079458	0.7079458	-1.735E-16

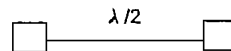
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 13C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
EN FASE, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 14A**

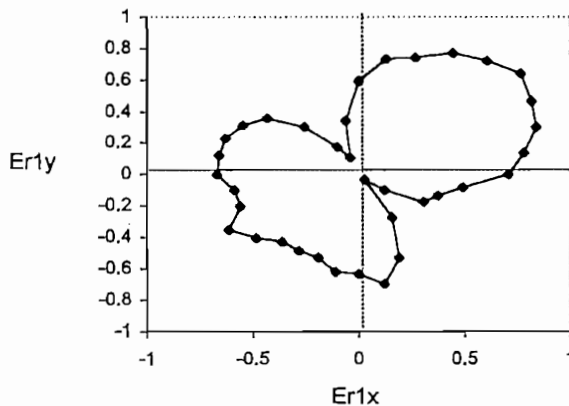
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3	2	2.5
2	1	1.5
1	0.5	0.7
0.5	0	0.2
0	0	0.0
0.5	0	0.2
1	1	1.0
2	2	2.0
2.5	2.5	2.5
4.5	5	4.7
9	7	7.9
19	17	17.9
14	13	13.5
8	8	8.0
5	8	6.4
4	6	4.9
3.5	5	4.2
3.5	4	3.7
3.5	4	3.7
4.5	4	4.2
4.5	3	3.7
3	2	2.5
4	3	3.5
5	4	4.5
5	5	5.0
5	5	5.0
4	4	4.0
4	3.5	3.7
3	4.5	3.7
5	7.5	6.2
10	13	11.4
27	27	27.0
16	13	14.4
9	8.5	8.7
8	6	6.9
6	4	4.9
3	2	2.5



Cuadro A4.2 - 14B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-6	-6	0	3	0.7079458	0.7079458	0
10	0.1745329	-5	-4.924039	-0.868241	2	0.7943282	0.7822606	0.13793365
20	0.3490659	-4	-3.75877	-1.368081	1	0.8912509	0.8375019	0.304825774
30	0.5235988	-3.5	-3.031089	-1.75	0.5	0.9440609	0.8175807	0.472030438
40	0.6981317	-3	-2.298133	-1.928363	0	1	0.7660444	0.64278761
50	0.8726646	-3.5	-2.249757	-2.681156	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588
60	1.0471976	-4	-2	-3.464102	1	0.8912509	0.4456255	0.771845954
70	1.2217305	-5	-1.710101	-4.698463	2	0.7943282	0.2716763	0.746424381
80	1.3962634	-5.5	-0.955065	-5.416443	2.5	0.7498942	0.1302178	0.738501631
90	1.5707963	-7.5	-4.59E-16	-7.5	4.5	0.5956621	3.649E-17	0.595662144
100	1.7453293	-12	2.0837781	-11.81769	9	0.3548134	-0.061613	0.349422977
110	1.9198622	-22	7.5244432	-20.67324	19	0.1122018	-0.038375	0.105435246
120	2.0943951	-17	8.5	-14.72243	14	0.1995262	-0.099763	0.172794785
130	2.268928	-11	7.0706637	-8.426489	8	0.3981072	-0.255898	0.304967786
140	2.443461	-8	6.1283555	-5.142301	5	0.5623413	-0.430778	0.361466036
150	2.6179939	-7	6.0621778	-3.5	4	0.6309573	-0.546425	0.315478672
160	2.7925268	-6.5	6.108002	-2.223131	3.5	0.6683439	-0.628038	0.228587082
170	2.9670597	-6.5	6.4012504	-1.128713	3.5	0.6683439	-0.65819	0.116056703
180	3.1415927	-6.5	6.5	-7.96E-16	3.5	0.6683439	-0.668344	8.18821E-17
190	3.3161256	-7.5	7.3860581	1.3023613	4.5	0.5956621	-0.586613	-0.103435646
200	3.4906585	-7.5	7.0476947	2.5651511	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.203728452
210	3.6651914	-6	5.1961524	3	3	0.7079458	-0.613099	-0.353972892
220	3.8397244	-7	5.3623111	4.4995133	4	0.6309573	-0.483341	-0.405571563
230	4.0142573	-8	5.1423009	6.1283555	5	0.5623413	-0.361466	-0.430778447
240	4.1887902	-8	4	6.9282032	5	0.5623413	-0.281171	-0.487001873
250	4.3633231	-8	2.7361611	7.517541	5	0.5623413	-0.192332	-0.528427994
260	4.5378561	-7	1.2155372	6.8936543	4	0.6309573	-0.109565	-0.621371685
270	4.712389	-7	1.286E-15	7	4	0.6309573	-1.16E-16	-0.630957344
280	4.8869219	-6	-1.041889	5.9088465	3	0.7079458	0.1229335	-0.697190497
290	5.0614548	-8	-2.736161	7.517541	5	0.5623413	0.1923321	-0.528427994
300	5.2359878	-13	-6.5	11.25833	10	0.3162278	0.1581139	-0.273861279
310	5.4105207	-30	-19.28363	22.981333	27	0.0446684	0.0287123	-0.034217948
320	5.5850536	-19	-14.55484	12.212965	16	0.1584893	0.1214099	-0.101874971
330	5.7595865	-12	-10.3923	6	9	0.3548134	0.3072774	-0.177406695
340	5.9341195	-11	-10.33662	3.7622216	8	0.3981072	0.3740984	-0.136160672
350	6.1086524	-9	-8.86327	1.5628336	6	0.5011872	0.4935731	-0.08703025
360	6.2831853	-6	-6	1.47E-15	3	0.7079458	0.7079458	-1.73468E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL
Gráfico A4.2 - 14B

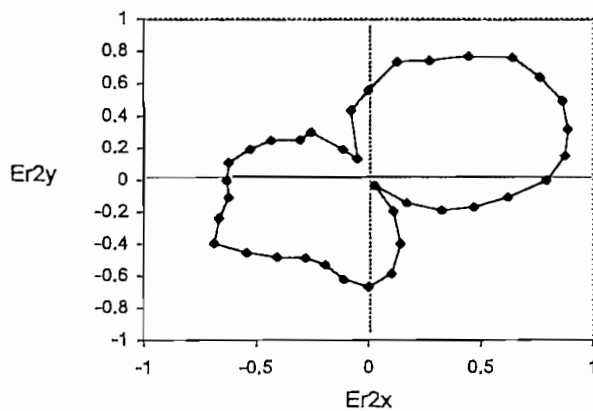


Cuadro A4.2 - 14C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-5	-5	0	2	0.7943282	0.7943282	0
10	0.1745329	-4	-3.939231	-0.694593	1	0.8912509	0.8777108	0.1547641
20	0.3490659	-3.5	-3.288924	-1.197071	0.5	0.9440609	0.887127	0.3228878
30	0.5235988	-3	-2.598076	-1.5	0	1	0.8660254	0.5
40	0.6981317	-3	-2.298133	-1.928363	0	1	0.7660444	0.6427876
50	0.8726646	-3	-1.928363	-2.298133	0	1	0.6427876	0.7660444
60	1.0471976	-4	-2	-3.464102	1	0.8912509	0.4456255	0.771846
70	1.2217305	-5	-1.710101	-4.698463	2	0.7943282	0.2716763	0.7464244
80	1.3962634	-5.5	-0.955065	-5.416443	2.5	0.7498942	0.1302178	0.7385016
90	1.5707963	-8	-4.9E-16	-8	5	0.5623413	3.445E-17	0.5623413
100	1.7453293	-10	1.7364818	-9.848078	7	0.4466836	-0.077566	0.4398975
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	17	0.1412538	-0.048312	0.1327351
120	2.0943951	-16	8	-13.85641	13	0.2238721	-0.111936	0.1938789
130	2.268928	-11	7.0706637	-8.426489	8	0.3981072	-0.255898	0.3049678
140	2.443461	-11	8.4264889	-7.070664	8	0.3981072	-0.304968	0.2558984
150	2.6179939	-9	7.7942286	-4.5	6	0.5011872	-0.434041	0.2505936
160	2.7925268	-8	7.517541	-2.736161	5	0.5623413	-0.528428	0.1923321
170	2.9670597	-7	6.8936543	-1.215537	4	0.6309573	-0.621372	0.1095646
180	3.1415927	-7	7	-8.58E-16	4	0.6309573	-0.630957	7.73E-17
190	3.3161256	-7	6.8936543	1.2155372	4	0.6309573	-0.621372	-0.1095646
200	3.4906585	-6	5.6381557	2.0521209	3	0.7079458	-0.665251	-0.2421317
210	3.6651914	-5	4.330127	2.5	2	0.7943282	-0.687908	-0.3971641
220	3.8397244	-6	4.5962667	3.8567257	3	0.7079458	-0.542318	-0.4550588
230	4.0142573	-7	4.4995133	5.3623111	4	0.6309573	-0.405572	-0.4833414
240	4.1887902	-8	4	6.9282032	5	0.5623413	-0.281171	-0.4870019
250	4.3633231	-8	2.7361611	7.517541	5	0.5623413	-0.192332	-0.528428
260	4.5378561	-7	1.2155372	6.8936543	4	0.6309573	-0.109565	-0.6213717
270	4.712389	-6.5	1.195E-15	6.5	3.5	0.6683439	-1.23E-16	-0.6683439
280	4.8869219	-7.5	-1.302361	7.3860581	4.5	0.5956621	0.1034356	-0.5866127
290	5.0614548	-10.5	-3.591212	9.8667725	7.5	0.4216965	0.1442287	-0.3962651
300	5.2359878	-16	-8	13.856406	13	0.2238721	0.1119361	-0.1938789
310	5.4105207	-30	-19.28363	22.981333	27	0.0446684	0.0287123	-0.0342179
320	5.5850536	-16	-12.25671	10.284602	13	0.2238721	0.171496	-0.1439022
330	5.7595865	-11.5	-9.959292	5.75	8.5	0.3758374	0.3254847	-0.1879187
340	5.9341195	-9	-8.457234	3.0781813	6	0.5011872	0.4709619	-0.1714161
350	6.1086524	-7	-6.893654	1.2155372	4	0.6309573	0.6213717	-0.1095646
360	6.2831853	-5	-5	1.225E-15	2	0.7943282	0.7943282	-1.946E-16

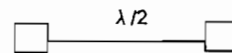
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) EN FASE, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.2 - 14C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
DESFAZADAS, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.2 - 15A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	0	0.0
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
1.5	1.5	1.5
4.5	5	4.7
6.5	8	7.2
10.5	10.5	10.5
8.5	9.5	9.0
5.5	6.5	6.0
3.5	4.5	4.0
1.5	2.5	2.0
1	2	1.5
0.5	1.5	1.0
0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5
2.5	2.5	2.5
5	5.5	5.2
10	9.5	9.7
23.5	17.5	20.0
20	20.5	20.2
14	15.5	14.7
10.5	11	10.7
7	7.5	7.2
4.5	5.5	5.0
2.5	2.5	2.5
1	1.5	1.2
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0	0	0.0
0.5	0	0.2
0.5	0	0.2
0	0	0.0
0	0	0.0

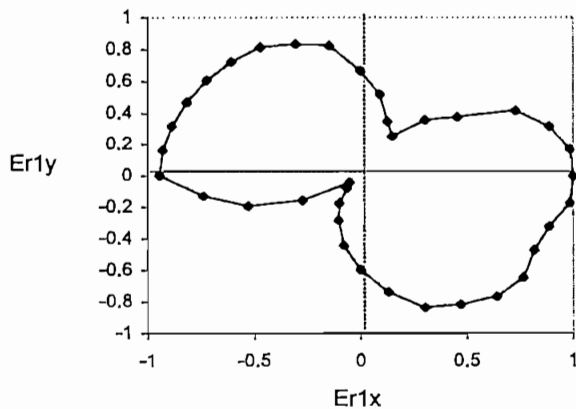


Cuadro A4.2 - 15B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Erlly(lin)
0	0	-1	-1	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-1	-0.984808	-0.173648	0	1	0.9848078	0.173648178
20	0.3490659	-1.5	-1.409539	-0.51303	0.5	0.9440609	0.887127	0.322887836
30	0.5235988	-2.5	-2.165064	-1.25	1.5	0.8413951	0.7286696	0.420697571
40	0.6981317	-5.5	-4.213244	-3.535332	4.5	0.5956621	0.4563037	0.382884245
50	0.8726646	-7.5	-4.820907	-5.745333	6.5	0.4731513	0.3041358	0.362454893
60	1.0471976	-11.5	-5.75	-9.959292	10.5	0.2985383	0.1492691	0.258541719
70	1.2217305	-9.5	-3.249191	-8.92708	8.5	0.3758374	0.128544	0.353171635
80	1.3962634	-6.5	-1.128713	-6.40125	5.5	0.5308844	0.0921871	0.522819117
90	1.5707963	-4.5	-2.76E-16	-4.5	3.5	0.6683439	4.094E-17	0.668343918
100	1.7453293	-2.5	0.4341204	-2.462019	1.5	0.8413951	-0.146107	0.828612459
110	1.9198622	-2	0.6840403	-1.879385	1	0.8912509	-0.304826	0.83750193
120	2.0943951	-1.5	0.75	-1.299038	0.5	0.9440609	-0.47203	0.817580702
130	2.268928	-1.5	0.9641814	-1.149067	0.5	0.9440609	-0.606831	0.723192588
140	2.443461	-1.5	1.1490667	-0.964181	0.5	0.9440609	-0.723193	0.606830634
150	2.6179939	-1.5	1.2990381	-0.75	0.5	0.9440609	-0.817581	0.472030438
160	2.7925268	-1.5	1.4095389	-0.51303	0.5	0.9440609	-0.887127	0.322887836
170	2.9670597	-1.5	1.4772116	-0.260472	0.5	0.9440609	-0.929718	0.163934451
180	3.1415927	-1.5	1.5	-1.84E-16	0.5	0.9440609	-0.944061	1.15661E-16
190	3.3161256	-3.5	3.4468271	0.6077686	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.130217763
200	3.4906585	-6	5.6381557	2.0521209	5	0.5623413	-0.528428	-0.192332061
210	3.6651914	-11	9.5262794	5.5	10	0.3162278	-0.273861	-0.158113883
220	3.8397244	-24.5	18.768089	15.748296	23.5	0.0668344	-0.051198	-0.042960319
230	4.0142573	-21	13.49854	16.086933	20	0.1	-0.064279	-0.076604444
240	4.1887902	-15	7.5	12.990381	14	0.1995262	-0.099763	-0.172794785
250	4.3633231	-11.5	3.9332316	10.806465	10.5	0.2985383	-0.102106	-0.280534202
260	4.5378561	-8	1.3891854	7.878462	7	0.4466836	-0.077566	-0.439897465
270	4.712389	-5.5	1.011E-15	5.5	4.5	0.5956621	-1.09E-16	-0.595662144
280	4.8869219	-3.5	-0.607769	3.4468271	2.5	0.7498942	0.1302178	-0.738501631
290	5.0614548	-2	-0.68404	1.8793852	1	0.8912509	0.3048258	-0.83750193
300	5.2359878	-1.5	-0.75	1.2990381	0.5	0.9440609	0.4720304	-0.817580702
310	5.4105207	-1	-0.642788	0.7660444	0	1	0.6427876	-0.766044443
320	5.5850536	-1	-0.766044	0.6427876	0	1	0.7660444	-0.64278761
330	5.7595865	-1.5	-1.299038	0.75	0.5	0.9440609	0.8175807	-0.472030438
340	5.9341195	-1.5	-1.409539	0.5130302	0.5	0.9440609	0.887127	-0.322887836
350	6.1086524	-1	-0.984808	0.1736482	0	1	0.9848078	-0.173648178
360	6.2831853	-1	-1	2.45E-16	0	1	1	-2.4503E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**

Gráfico A4.2 - 15B

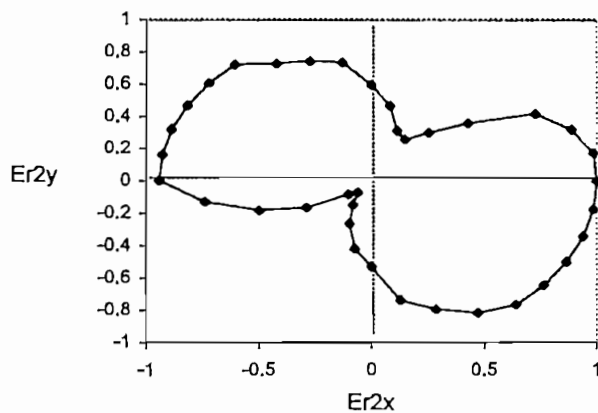


Cuadro A4.2 - 15C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-1.5	-1.5	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-1.5	-1.477212	-0.260472	0	1	0.9848078	0.1736482
20	0.3490659	-2	-1.879385	-0.68404	0.5	0.9440609	0.887127	0.3228878
30	0.5235988	-3	-2.598076	-1.5	1.5	0.8413951	0.7286696	0.4206976
40	0.6981317	-6.5	-4.979289	-4.178119	5	0.5623413	0.4307784	0.361466
50	0.8726646	-9.5	-6.106482	-7.277422	8	0.3981072	0.2558984	0.3049678
60	1.0471976	-12	-6	-10.3923	10.5	0.2985383	0.1492691	0.2585417
70	1.2217305	-11	-3.762222	-10.33662	9.5	0.3349654	0.1145649	0.3147646
80	1.3962634	-8	-1.389185	-7.878462	6.5	0.4731513	0.0821619	0.465963
90	1.5707963	-6	-3.68E-16	-6	4.5	0.5956621	3.649E-17	0.5956621
100	1.7453293	-4	0.6945927	-3.939231	2.5	0.7498942	-0.130218	0.7385016
110	1.9198622	-3.5	1.1970705	-3.288924	2	0.7943282	-0.271676	0.7464244
120	2.0943951	-3	1.5	-2.598076	1.5	0.8413951	-0.420698	0.7286696
130	2.268928	-2	1.2855752	-1.532089	0.5	0.9440609	-0.606831	0.7231926
140	2.443461	-2	1.5320889	-1.285575	0.5	0.9440609	-0.723193	0.6068306
150	2.6179939	-2	1.7320508	-1	0.5	0.9440609	-0.817581	0.4720304
160	2.7925268	-2	1.8793852	-0.68404	0.5	0.9440609	-0.887127	0.3228878
170	2.9670597	-2	1.9696155	-0.347296	0.5	0.9440609	-0.929718	0.1639345
180	3.1415927	-2	2	-2.45E-16	0.5	0.9440609	-0.944061	1.157E-16
190	3.3161256	-4	3.939231	0.6945927	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.1302178
200	3.4906585	-7	6.5778483	2.394141	5.5	0.5308844	-0.498868	-0.1815732
210	3.6651914	-11	9.5262794	5.5	9.5	0.3349654	-0.290089	-0.1674827
220	3.8397244	-19	14.554844	12.212965	17.5	0.1333521	-0.102154	-0.0857171
230	4.0142573	-22	14.141327	16.852978	20.5	0.0944061	-0.060683	-0.0723193
240	4.1887902	-17	8.5	14.722432	15.5	0.1678804	-0.08394	-0.1453887
250	4.3633231	-12.5	4.2752518	11.746158	11	0.2818383	-0.096394	-0.2648414
260	4.5378561	-9	1.5628336	8.8632698	7.5	0.4216965	-0.073227	-0.41529
270	4.712389	-7	1.286E-15	7	5.5	0.5308844	-9.76E-17	-0.5308844
280	4.8869219	-4	-0.694593	3.939231	2.5	0.7498942	0.1302178	-0.7385016
290	5.0614548	-3	-1.02606	2.8190779	1.5	0.8413951	0.2877741	-0.7906528
300	5.2359878	-2	-1	1.7320508	0.5	0.9440609	0.4720304	-0.8175807
310	5.4105207	-1.5	-0.964181	1.1490667	0	1	0.6427876	-0.7660444
320	5.5850536	-1.5	-1.149067	0.9641814	0	1	0.7660444	-0.6427876
330	5.7595865	-1.5	-1.299038	0.75	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-1.5	-1.409539	0.5130302	0	1	0.9396926	-0.3420201
350	6.1086524	-1.5	-1.477212	0.2604723	0	1	0.9848078	-0.1736482
360	6.2831853	-1.5	-1.5	3.675E-16	0	1	1	-2.45E-16

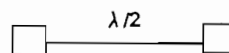
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

Gráfico A4.2 - 15C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UN ARREGLO DE DOS ANTENAS,
 DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, $f = 555 \text{ MHz}$
 Cuadro A4.2 - 16A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	0	0.0
0.5	2	1.2
1.5	2.5	2.0
2.5	3.5	3.0
3.5	4.5	4.0
5	6	5.5
8	8.5	8.2
10.5	11.5	11.0
10.5	11.5	11.0
7.5	7.5	7.5
4	3.5	3.7
2.5	3	2.7
2	1.5	1.7
0.5	1	0.7
0	0.3	0.1
0.5	0	0.2
1	0	0.5
3.5	1.5	2.4
4.5	3.5	4.0
8.5	7.5	8.0
17.5	12.5	14.6
13.5	10.5	11.9
9.5	5.5	7.3
8.5	5.3	6.8
7.5	4.5	5.9
7	4.5	5.7
6.5	4.5	5.4
6.5	5.5	6.0
6.5	6.5	6.5
8	7.5	7.7
9.5	9.5	9.5
9.5	9.5	9.5
7.5	6.5	7.0
3.5	3.5	3.5
1	1.5	1.2
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0

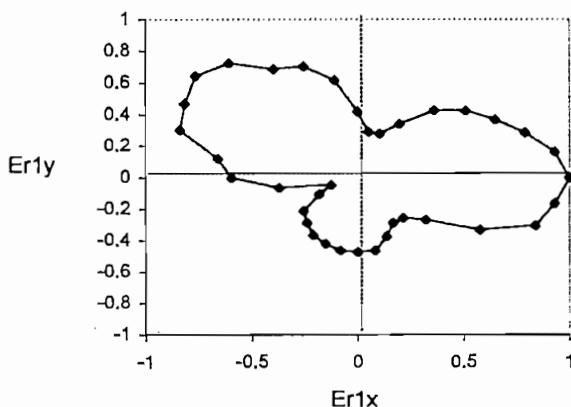


Cuadro A4.2 - 16B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-3.5	-3.5	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-4	-3.939231	-0.694593	0.5	0.9440609	0.9297185	0.163934451
20	0.3490659	-5	-4.698463	-1.710101	1.5	0.8413951	0.7906528	0.287774087
30	0.5235988	-6	-5.196152	-3	2.5	0.7498942	0.6494274	0.374947105
40	0.6981317	-7	-5.362311	-4.499513	3.5	0.6683439	0.5119811	0.429603189
50	0.8726646	-8.5	-5.463695	-6.511378	5	0.5623413	0.361466	0.430778447
60	1.0471976	-11.5	-5.75	-9.959292	8	0.3981072	0.1990536	0.344770923
70	1.2217305	-14	-4.788282	-13.1557	10.5	0.2985383	0.1021061	0.280534202
80	1.3962634	-14	-2.431074	-13.78731	10.5	0.2985383	0.0518406	0.294002795
90	1.5707963	-11	-6.74E-16	-11	7.5	0.4216965	2.583E-17	0.421696503
100	1.7453293	-7.5	1.3023613	-7.386058	4	0.6309573	-0.109565	0.621371685
110	1.9198622	-6	2.0521209	-5.638156	2.5	0.7498942	-0.256479	0.704670055
120	2.0943951	-5.5	2.75	-4.76314	2	0.7943282	-0.397164	0.68790843
130	2.268928	-4	2.5711504	-3.064178	0.5	0.9440609	-0.606831	0.723192588
140	2.443461	-3.5	2.6811556	-2.249757	0	1	-0.766044	0.64278761
150	2.6179939	-4	3.4641016	-2	0.5	0.9440609	-0.817581	0.472030438
160	2.7925268	-4.5	4.2286168	-1.539091	1	0.8912509	-0.837502	0.304825774
170	2.9670597	-7	6.8936543	-1.215537	3.5	0.6683439	-0.65819	0.116056703
180	3.1415927	-8	8	-9.8E-16	4.5	0.5956621	-0.595662	7.29775E-17
190	3.3161256	-12	11.817693	2.0837781	8.5	0.3758374	-0.370128	-0.06526348
200	3.4906585	-21	19.733545	7.182423	17.5	0.1333521	-0.12531	-0.045609119
210	3.6651914	-17	14.722432	8.5	13.5	0.2113489	-0.183034	-0.105674452
220	3.8397244	-13	9.9585778	8.3562389	9.5	0.3349654	-0.256598	-0.215311634
230	4.0142573	-12	7.7134513	9.1925333	8.5	0.3758374	-0.241584	-0.287908155
240	4.1887902	-11	5.5	9.5262794	7.5	0.4216965	-0.210848	-0.365199885
250	4.3633231	-10.5	3.5912115	9.8667725	7	0.4466836	-0.152775	-0.419745275
260	4.5378561	-10	1.7364818	9.8480775	6.5	0.4731513	-0.082162	-0.465963028
270	4.712389	-10	1.838E-15	10	6.5	0.4731513	-8.7E-17	-0.473151259
280	4.8869219	-10	-1.736482	9.8480775	6.5	0.4731513	0.0821619	-0.465963028
290	5.0614548	-11.5	-3.933232	10.806465	8	0.3981072	0.1361607	-0.37409837
300	5.2359878	-13	-6.5	11.25833	9.5	0.3349654	0.1674827	-0.29008858
310	5.4105207	-13	-8.356239	9.9585778	9.5	0.3349654	0.2153116	-0.256598413
320	5.5850536	-11	-8.426489	7.0706637	7.5	0.4216965	0.3230383	-0.271061287
330	5.7595865	-7	-6.062178	3.5	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334171959
340	5.9341195	-4.5	-4.228617	1.5390906	1	0.8912509	0.8375019	-0.304825774
350	6.1086524	-4	-3.939231	0.6945927	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.163934451
360	6.2831853	-3.5	-3.5	8.576E-16	0	1	1	-2.4503E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.2 - 16B

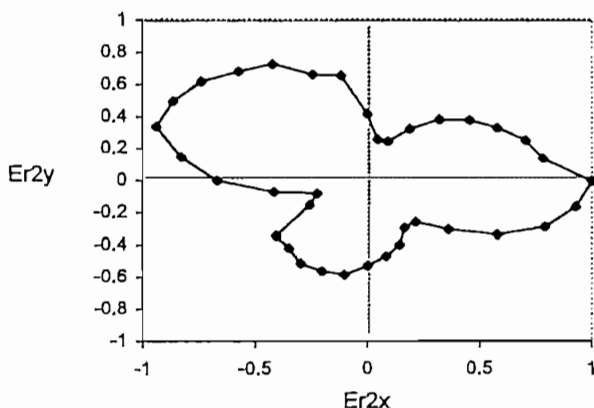


Cuadro A4.2 - 16C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-4.5	-4.5	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-6.5	-6.40125	-1.128713	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-7	-6.577848	-2.394141	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-8	-6.928203	-4	3.5	0.6683439	0.5788028	0.334172
40	0.6981317	-9	-6.8944	-5.785088	4.5	0.5956621	0.4563037	0.3828842
50	0.8726646	-10.5	-6.74927	-8.043467	6	0.5011872	0.3221569	0.3839317
60	1.0471976	-13	-6.5	-11.25833	8.5	0.3758374	0.1879187	0.3254847
70	1.2217305	-16	-5.472322	-15.03508	11.5	0.2660725	0.0910022	0.2500264
80	1.3962634	-16	-2.778371	-15.75692	11.5	0.2660725	0.046203	0.2620303
90	1.5707963	-12	-7.35E-16	-12	7.5	0.4216965	2.583E-17	0.4216965
100	1.7453293	-8	1.3891854	-7.878462	3.5	0.6683439	-0.116057	0.6581903
110	1.9198622	-7.5	2.5651511	-7.047695	3	0.7079458	-0.242132	0.6652514
120	2.0943951	-6	3	-5.196152	1.5	0.8413951	-0.420698	0.7286696
130	2.268928	-5.5	3.5353319	-4.213244	1	0.8912509	-0.572885	0.6827378
140	2.443461	-4.8	3.6770133	-3.085381	0.3	0.9660509	-0.740038	0.6209655
150	2.6179939	-4.5	3.8971143	-2.25	0	1	-0.866025	0.5
160	2.7925268	-4.5	4.2286168	-1.539091	0	1	-0.939693	0.3420201
170	2.9670597	-6	5.9088465	-1.041889	1.5	0.8413951	-0.828612	0.1461067
180	3.1415927	-8	8	-9.8E-16	3.5	0.6683439	-0.668344	8.188E-17
190	3.3161256	-12	11.817693	2.0837781	7.5	0.4216965	-0.41529	-0.0732268
200	3.4906585	-17	15.974775	5.8143424	12.5	0.2371374	-0.222836	-0.0811058
210	3.6651914	-15	12.990381	7.5	10.5	0.2985383	-0.258542	-0.1492691
220	3.8397244	-10	7.6604444	6.4278761	5.5	0.5308844	-0.406681	-0.3412459
230	4.0142573	-9.8	6.2993186	7.5072355	5.3	0.5432503	-0.349195	-0.4161539
240	4.1887902	-9	4.5	7.7942286	4.5	0.5956621	-0.297831	-0.5158585
250	4.3633231	-9	3.0781813	8.4572336	4.5	0.5956621	-0.203728	-0.5597393
260	4.5378561	-9	1.5628336	8.8632698	4.5	0.5956621	-0.103436	-0.5866127
270	4.712389	-10	1.838E-15	10	5.5	0.5308844	-9.76E-17	-0.5308844
280	4.8869219	-11	-1.91013	10.832885	6.5	0.4731513	0.0821619	-0.465963
290	5.0614548	-12	-4.104242	11.276311	7.5	0.4216965	0.1442287	-0.3962651
300	5.2359878	-14	-7	12.124356	9.5	0.3349654	0.1674827	-0.2900886
310	5.4105207	-14	-8.999027	10.724622	9.5	0.3349654	0.2153116	-0.2565984
320	5.5850536	-11	-8.426489	7.0706637	6.5	0.4731513	0.3624549	-0.3041358
330	5.7595865	-8	-6.928203	4	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334172
340	5.9341195	-6	-5.638156	2.0521209	1.5	0.8413951	0.7906528	-0.2877741
350	6.1086524	-5	-4.924039	0.8682409	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.1639345
360	6.2831853	-4.5	-4.5	1.103E-15	0	1	1	-2.45E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ARREGLO DE DOS ANTENAS) DESFASADAS,
CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.2 - 16C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UNA ANTENA HELICOIDAL
CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.3 - 1A

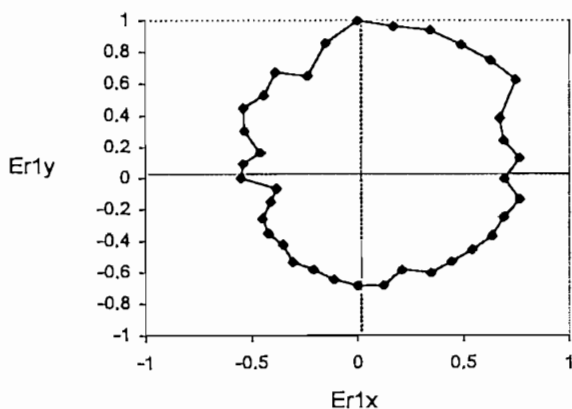
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3.2	0.5	1.7
2.2	1	1.6
2.7	2	2.3
2.2	2	2.1
0.2	1.3	0.7
0.2	1	0.6
0.2	1	0.6
0	1	0.5
0.2	0	0.1
0	0	0.0
1.2	1.5	1.3
3.2	2	2.6
2.2	2.5	2.3
3.2	4	3.6
3	3	3.0
4.2	5	4.6
6.2	6	6.1
5.2	7	6.1
5.2	8	6.5
8.2	8.8	8.5
7.2	9	8.1
5.7	8	6.8
5.2	6	5.6
5.2	6	5.6
4.2	5	4.6
4.2	4.3	4.2
3.7	4	3.8
3.3	3	3.1
3.2	2	2.6
4.2	0.5	2.2
3.2	1	2.0
3.2	2	2.6
3	3	3.0
2.7	4	3.3
2.7	3	2.8
2.2	2	2.1
3.2	0.5	1.7

Cuadro A4.3 - 1B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-25	-25	0	3.2	0.691831	0.691831	0
10	0.1745329	-24	-23.63539	-4.167556	2.2	0.7762471	0.7644542	0.134793897
20	0.3490659	-24.5	-23.02247	-8.379494	2.7	0.7328245	0.6886298	0.250640752
30	0.5235988	-24	-20.78461	-12	2.2	0.7762471	0.6722497	0.388123558
40	0.6981317	-22	-16.85298	-14.14133	0.2	0.9772372	0.7486071	0.628155977
50	0.8726646	-22	-14.14133	-16.85298	0.2	0.9772372	0.628156	0.748607143
60	1.0471976	-22	-11	-19.05256	0.2	0.9772372	0.4886186	0.846312259
70	1.2217305	-21.8	-7.456039	-20.4853	0	1	0.3420201	0.939692621
80	1.3962634	-22	-3.82026	-21.66577	0.2	0.9772372	0.1696955	0.962390792
90	1.5707963	-21.8	-1.34E-15	-21.8	0	1	6.126E-17	1
100	1.7453293	-23	3.9939081	-22.65058	1.2	0.8709636	-0.151241	0.857731696
110	1.9198622	-25	8.5505036	-23.49232	3.2	0.691831	-0.23662	0.650108458
120	2.0943951	-24	12	-20.78461	2.2	0.7762471	-0.388124	0.672249723
130	2.268928	-25	16.06969	-19.15111	3.2	0.691831	-0.4447	0.529973271
140	2.443461	-24.8	18.997902	-15.94113	3	0.7079458	-0.542318	0.455058779
150	2.6179939	-26	22.51666	-13	4.2	0.616595	-0.533987	0.308297501
160	2.7925268	-28	26.311393	-9.576564	6.2	0.4897788	-0.460242	0.167514222
170	2.9670597	-27	26.589809	-4.688501	5.2	0.5495409	-0.541192	0.095426771
180	3.1415927	-27	27	-3.31E-15	5.2	0.5495409	-0.549541	6.73269E-17
190	3.3161256	-30	29.544233	5.2094453	8.2	0.3890451	-0.383135	-0.06755698
200	3.4906585	-29	27.251086	9.9185842	7.2	0.4365158	-0.410191	-0.149297208
210	3.6651914	-27.5	23.815699	13.75	5.7	0.5188	-0.449294	-0.259400019
220	3.8397244	-27	20.6832	17.355265	5.2	0.5495409	-0.420973	-0.353238065
230	4.0142573	-27	17.355265	20.6832	5.2	0.5495409	-0.353238	-0.420972733
240	4.1887902	-26	13	22.51666	4.2	0.616595	-0.308298	-0.533986935
250	4.3633231	-26	8.8925237	24.432008	4.2	0.616595	-0.210888	-0.579409773
260	4.5378561	-25.5	4.4280285	25.112598	3.7	0.6531306	-0.113415	-0.643208032
270	4.712389	-25.1	4.613E-15	25.1	3.3	0.6839116	-1.26E-16	-0.683911647
280	4.8869219	-25	-4.341204	24.620194	3.2	0.691831	0.1201352	-0.681320504
290	5.0614548	-26	-8.892524	24.432008	4.2	0.616595	0.2108879	-0.579409773
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	3.2	0.691831	0.3459155	-0.599143196
310	5.4105207	-25	-16.06969	19.151111	3.2	0.691831	0.4447004	-0.529973271
320	5.5850536	-24.8	-18.9979	15.941133	3	0.7079458	0.5423179	-0.455058779
330	5.7595865	-24.5	-21.21762	12.25	2.7	0.7328245	0.6346447	-0.366412267
340	5.9341195	-24.5	-23.02247	8.3794935	2.7	0.7328245	0.6886298	-0.250640752
350	6.1086524	-24	-23.63539	4.1675563	2.2	0.7762471	0.7644542	-0.134793897
360	6.2831853	-25	-25	6.126E-15	3.2	0.691831	0.691831	-1.69519E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA HELICOIDAL) CON ANTENA TX HORIZONTAL

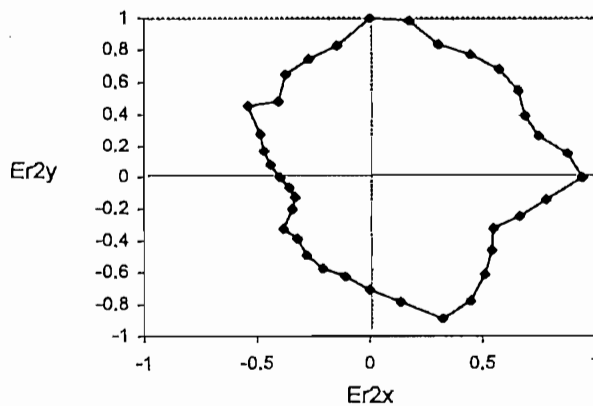
Gráfico A4.3 - 1B



Cuadro A4.3 - 1C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-21.5	-21.5	0	0.5	0.9440609	0.9440609	0
10	0.1745329	-22	-21.66577	-3.82026	1	0.8912509	0.8777108	0.1547641
20	0.3490659	-23	-21.61293	-7.866463	2	0.7943282	0.7464244	0.2716763
30	0.5235988	-23	-19.91858	-11.5	2	0.7943282	0.6879084	0.3971641
40	0.6981317	-22.3	-17.08279	-14.33416	1.3	0.8609938	0.6595595	0.5534361
50	0.8726646	-22	-14.14133	-16.85298	1	0.8912509	0.5728851	0.6827378
60	1.0471976	-22	-11	-19.05256	1	0.8912509	0.4456255	0.771846
70	1.2217305	-22	-7.524443	-20.67324	1	0.8912509	0.3048258	0.8375019
80	1.3962634	-21	-3.646612	-20.68096	0	1	0.1736482	0.9848078
90	1.5707963	-21	-1.29E-15	-21	0	1	6.126E-17	1
100	1.7453293	-22.5	3.907084	-22.15817	1.5	0.8413951	-0.146107	0.8286125
110	1.9198622	-23	7.8664633	-21.61293	2	0.7943282	-0.271676	0.7464244
120	2.0943951	-23.5	11.75	-20.3516	2.5	0.7498942	-0.374947	0.6494274
130	2.268928	-25	16.06969	-19.15111	4	0.6309573	-0.405572	0.4833414
140	2.443461	-24	18.385067	-15.4269	3	0.7079458	-0.542318	0.4550588
150	2.6179939	-26	22.51666	-13	5	0.5623413	-0.487002	0.2811707
160	2.7925268	-27	25.371701	-9.234544	6	0.5011872	-0.470962	0.1714161
170	2.9670597	-28	27.574617	-4.862149	7	0.4466836	-0.439897	0.0775658
180	3.1415927	-29	29	-3.55E-15	8	0.3981072	-0.398107	4.877E-17
190	3.3161256	-29.8	29.347271	5.1747157	8.8	0.3630781	-0.357562	-0.0630478
200	3.4906585	-30	28.190779	10.260604	9	0.3548134	-0.333416	-0.1213533
210	3.6651914	-29	25.114737	14.5	8	0.3981072	-0.344771	-0.1990536
220	3.8397244	-27	20.6832	17.355265	6	0.5011872	-0.383932	-0.3221569
230	4.0142573	-27	17.355265	20.6832	6	0.5011872	-0.322157	-0.3839317
240	4.1887902	-26	13	22.51666	5	0.5623413	-0.281171	-0.4870019
250	4.3633231	-25.3	8.6531096	23.774223	4.3	0.6095369	-0.208474	-0.5727773
260	4.5378561	-25	4.3412044	24.620194	4	0.6309573	-0.109565	-0.6213717
270	4.712389	-24	4.411E-15	24	3	0.7079458	-1.3E-16	-0.7079458
280	4.8869219	-23	-3.993908	22.650578	2	0.7943282	0.1379337	-0.7822606
290	5.0614548	-21.5	-7.353433	20.203391	0.5	0.9440609	0.3228878	-0.887127
300	5.2359878	-22	-11	19.052559	1	0.8912509	0.4456255	-0.771846
310	5.4105207	-23	-14.78412	17.619022	2	0.7943282	0.5105843	-0.6084907
320	5.5850536	-24	-18.38507	15.426903	3	0.7079458	0.5423179	-0.4550588
330	5.7595865	-25	-21.65064	12.5	4	0.6309573	0.5464251	-0.3154787
340	5.9341195	-24	-22.55262	8.2084834	3	0.7079458	0.6652514	-0.2421317
350	6.1086524	-23	-22.65058	3.9939081	2	0.7943282	0.7822606	-0.1379337
360	6.2831853	-21.5	-21.5	5.268E-15	0.5	0.9440609	0.9440609	-2.313E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA HELICOIDAL) CON ANTENA TX
HORIZONTAL**
Gráfico A4.3 - 1C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE UNA ANTENA HELICOIDAL
CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.3 - 2A

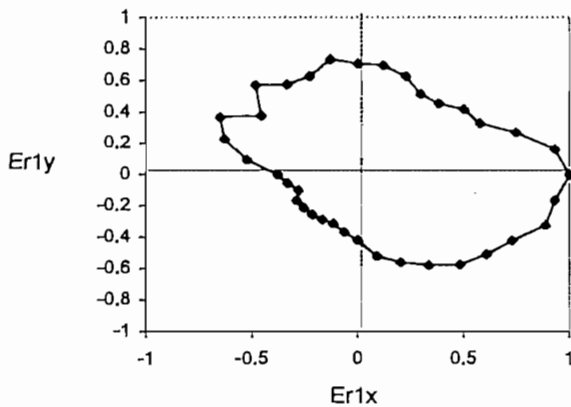
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	1	0.5
0.5	2	1.2
2	2.5	2.2
3.5	3	3.2
3.7	3	3.3
4.5	2.5	3.4
4.5	3	3.7
3.5	1	2.2
3	1.5	2.2
3	2	2.5
2.5	2.8	2.6
3.5	2	2.7
3.5	3	3.2
2.5	3.5	3.0
4.5	3.5	4.0
2.5	4	3.2
3.5	6	4.7
5.5	8	6.7
8.5	8.5	8.5
9.5	9	9.2
10.5	7	8.6
9.5	9	9.2
9.5	8	8.7
9.5	8	8.7
9.5	8	8.7
9.5	8	8.7
8.5	7	7.7
7.5	6	6.7
5.5	5	5.2
4.5	4	4.2
3.5	3	3.2
2.5	3	2.7
2	3	2.5
1.5	2	1.7
0.5	0	0.2
0.5	0.5	0.5
0	1	0.5

Cuadro A4.3 - 2B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-21.5	-21.5	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-22	-21.66577	-3.82026	0.5	0.9440609	0.9297185	0.163934451
20	0.3490659	-23.5	-22.08278	-8.037473	2	0.7943282	0.7464244	0.271676257
30	0.5235988	-25	-21.65064	-12.5	3.5	0.6683439	0.5788028	0.334171959
40	0.6981317	-25.2	-19.30432	-16.19825	3.7	0.6531306	0.500327	0.419824227
50	0.8726646	-26	-16.71248	-19.91716	4.5	0.5956621	0.3828842	0.456303675
60	1.0471976	-26	-13	-22.51666	4.5	0.5956621	0.2978311	0.515858548
70	1.2217305	-25	-8.550504	-23.49232	3.5	0.6683439	0.2285871	0.628037847
80	1.3962634	-24.5	-4.25438	-24.12779	3	0.7079458	0.1229335	0.697190497
90	1.5707963	-24.5	-1.5E-15	-24.5	3	0.7079458	4.337E-17	0.707945784
100	1.7453293	-24	4.1675563	-23.63539	2.5	0.7498942	-0.130218	0.738501631
110	1.9198622	-25	8.5505036	-23.49232	3.5	0.6683439	-0.228587	0.628037847
120	2.0943951	-25	12.5	-21.65064	3.5	0.6683439	-0.334172	0.578802811
130	2.268928	-24	15.426903	-18.38507	2.5	0.7498942	-0.482023	0.574452292
140	2.443461	-26	19.917156	-16.71248	4.5	0.5956621	-0.456304	0.382884245
150	2.6179939	-24	20.78461	-12	2.5	0.7498942	-0.649427	0.374947105
160	2.7925268	-25	23.492316	-8.550504	3.5	0.6683439	-0.628038	0.228587082
170	2.9670597	-27	26.589809	-4.688501	5.5	0.5308844	-0.522819	0.092187116
180	3.1415927	-30	30	-3.68E-15	8.5	0.3758374	-0.375837	4.60457E-17
190	3.3161256	-31	30.52904	5.3830935	9.5	0.3349654	-0.329877	-0.058166138
200	3.4906585	-32	30.070164	10.944645	10.5	0.2985383	-0.280534	-0.102106099
210	3.6651914	-31	26.846788	15.5	9.5	0.3349654	-0.290089	-0.16748272
220	3.8397244	-31	23.747378	19.926416	9.5	0.3349654	-0.256598	-0.215311634
230	4.0142573	-31	19.926416	23.747378	9.5	0.3349654	-0.215312	-0.256598413
240	4.1887902	-31	15.5	26.846788	9.5	0.3349654	-0.167483	-0.29008858
250	4.3633231	-31	10.602624	29.130471	9.5	0.3349654	-0.114565	-0.314764551
260	4.5378561	-30	5.2094453	29.544233	8.5	0.3758374	-0.065263	-0.37012759
270	4.712389	-29	5.329E-15	29	7.5	0.4216965	-7.75E-17	-0.421696503
280	4.8869219	-27	-4.688501	26.589809	5.5	0.5308844	0.0921871	-0.522819117
290	5.0614548	-26	-8.892524	24.432008	4.5	0.5956621	0.2037285	-0.559739321
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	3.5	0.6683439	0.334172	-0.578802811
310	5.4105207	-24	-15.4269	18.385067	2.5	0.7498942	0.4820227	-0.574452292
320	5.5850536	-23.5	-18.00204	15.105509	2	0.7943282	0.6084907	-0.510584347
330	5.7595865	-23	-19.91858	11.5	1.5	0.8413951	0.7286696	-0.420697571
340	5.9341195	-22	-20.67324	7.5244432	0.5	0.9440609	0.887127	-0.322887836
350	6.1086524	-22	-21.66577	3.8202599	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.163934451
360	6.2831853	-21.5	-21.5	5.268E-15	0	1	1	-2.4503E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA HELICOIDAL) CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.3 - 2B

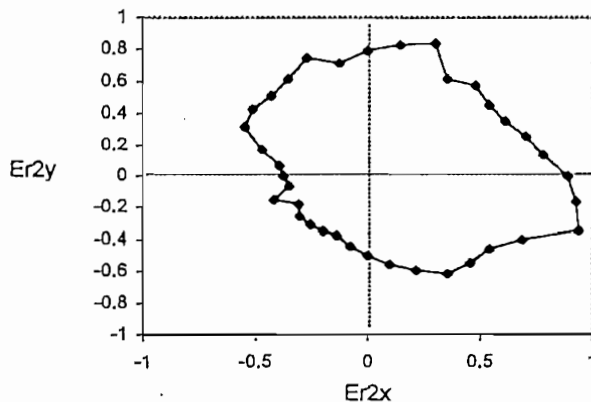


Cuadro A4.3 - 2C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-23	-23	0	1	0.8912509	0.8912509	0
10	0.1745329	-24	-23.63539	-4.167556	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-24.5	-23.02247	-8.379494	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-25	-21.65064	-12.5	3	0.7079458	0.613099	0.3539729
40	0.6981317	-25	-19.15111	-16.06969	3	0.7079458	0.5423179	0.4550588
50	0.8726646	-24.5	-15.7483	-18.76809	2.5	0.7498942	0.4820227	0.5744523
60	1.0471976	-25	-12.5	-21.65064	3	0.7079458	0.3539729	0.613099
70	1.2217305	-23	-7.866463	-21.61293	1	0.8912509	0.3048258	0.8375019
80	1.3962634	-23.5	-4.080732	-23.14298	1.5	0.8413951	0.1461067	0.8286125
90	1.5707963	-24	-1.47E-15	-24	2	0.7943282	4.866E-17	0.7943282
100	1.7453293	-24.8	4.3064748	-24.42323	2.8	0.724436	-0.125797	0.7134302
110	1.9198622	-24	8.2084834	-22.55262	2	0.7943282	-0.271676	0.7464244
120	2.0943951	-25	12.5	-21.65064	3	0.7079458	-0.353973	0.613099
130	2.268928	-25.5	16.391084	-19.53413	3.5	0.6683439	-0.429603	0.5119811
140	2.443461	-25.5	19.534133	-16.39108	3.5	0.6683439	-0.511981	0.4296032
150	2.6179939	-26	22.51666	-13	4	0.6309573	-0.546425	0.3154787
160	2.7925268	-28	26.311393	-9.576564	6	0.5011872	-0.470962	0.1714161
170	2.9670597	-30	29.544233	-5.209445	8	0.3981072	-0.392059	0.0691306
180	3.1415927	-30.5	30.5	-3.74E-15	8.5	0.3758374	-0.375837	4.605E-17
190	3.3161256	-31	30.52904	5.3830935	9	0.3548134	-0.349423	-0.0616127
200	3.4906585	-29	27.251086	9.9185842	7	0.4466836	-0.419745	-0.1527748
210	3.6651914	-31	26.846788	15.5	9	0.3548134	-0.307277	-0.1774067
220	3.8397244	-30	22.981333	19.283628	8	0.3981072	-0.304968	-0.2558984
230	4.0142573	-30	19.283628	22.981333	8	0.3981072	-0.255898	-0.3049678
240	4.1887902	-30	15	25.980762	8	0.3981072	-0.199054	-0.3447709
250	4.3633231	-30	10.260604	28.190779	8	0.3981072	-0.136161	-0.3740984
260	4.5378561	-29	5.0357972	28.559425	7	0.4466836	-0.077566	-0.4398975
270	4.712389	-28	5.146E-15	28	6	0.5011872	-9.21E-17	-0.5011872
280	4.8869219	-27	-4.688501	26.589809	5	0.5623413	0.0976495	-0.5537981
290	5.0614548	-26	-8.892524	24.432008	4	0.6309573	0.2158001	-0.592906
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	3	0.7079458	0.3539729	-0.613099
310	5.4105207	-25	-16.06969	19.151111	3	0.7079458	0.4550588	-0.5423179
320	5.5850536	-25	-19.15111	16.06969	3	0.7079458	0.5423179	-0.4550588
330	5.7595865	-24	-20.78461	12	2	0.7943282	0.6879084	-0.3971641
340	5.9341195	-22	-20.67324	7.5244432	0	1	0.9396926	-0.3420201
350	6.1086524	-22.5	-22.15817	3.907084	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.1639345
360	6.2831853	-23	-23	5.636E-15	1	0.8912509	0.8912509	-2.184E-16

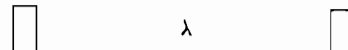
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (ANTENA HELICOIDAL) CON ANTENA TX
VERTICAL**

Gráfico A4.3 - 2C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 1A**

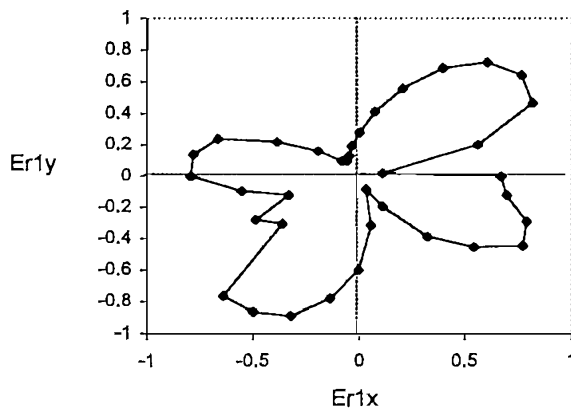
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3.5	5.5	4.4
19	22	20.4
4.5	8.5	6.3
0.5	5	2.5
0	4	1.8
0.5	4.5	2.3
2	6	3.8
4.5	8.5	6.3
7.5	11.5	9.3
11	15	12.8
14	18	15.8
17	20	18.4
19	20	19.5
18	19	18.5
12	13	12.5
7	8	7.5
3	5	3.9
2	3	2.5
2	3.5	2.7
5	6	5.5
9	10	9.5
5	6	5.5
6.5	2	4.0
0	0.5	0.2
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
2	2	2.0
4.5	4	4.2
10	8.5	9.2
21	21	21.0
13	11	11.9
6	5	5.5
3	1.5	2.2
1	0	0.5
1.5	-0.2	0.6
3	1.5	2.2
3.5	5.5	4.4



Cuadro A4.4 - 1B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-14.5	-14.5	0	3.5	0.6683439	0.6683439	0
10	0.1745329	-30	-29.54423	-5.209445	19	0.1122018	0.1104972	0.019483646
20	0.3490659	-15.5	-14.56524	-5.301312	4.5	0.5956621	0.5597393	0.203728452
30	0.5235988	-11.5	-9.959292	-5.75	0.5	0.9440609	0.8175807	0.472030438
40	0.6981317	-11	-8.426489	-7.070664	0	1	0.7660444	0.64278761
50	0.8726646	-11.5	-7.392058	-8.809511	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588
60	1.0471976	-13	-6.5	-11.25833	2	0.7943282	0.3971641	0.68790843
70	1.2217305	-15.5	-5.301312	-14.56524	4.5	0.5956621	0.2037285	0.559739321
80	1.3962634	-18.5	-3.212491	-18.21894	7.5	0.4216965	0.0732268	0.415289986
90	1.5707963	-22	-1.35E-15	-22	11	0.2818383	1.726E-17	0.281838293
100	1.7453293	-25	4.3412044	-24.62019	14	0.1995262	-0.034647	0.19649498
110	1.9198622	-28	9.576564	-26.31139	17	0.1412538	-0.048312	0.132735111
120	2.0943951	-30	15	-25.98076	19	0.1122018	-0.056101	0.097169648
130	2.268928	-29	18.640841	-22.21529	18	0.1258925	-0.080922	0.096439282
140	2.443461	-23	17.619022	-14.78412	12	0.2511886	-0.192422	0.161460948
150	2.6179939	-18	15.588457	-9	7	0.4466836	-0.386839	0.223341796
160	2.7925268	-14	13.155697	-4.788282	3	0.7079458	-0.665251	0.242131719
170	2.9670597	-13	12.802501	-2.257426	2	0.7943282	-0.782261	0.13793365
180	3.1415927	-13	13	-1.59E-15	2	0.7943282	-0.794328	9.7317E-17
190	3.3161256	-16	15.756924	2.7783708	5	0.5623413	-0.553798	-0.097649546
200	3.4906585	-20	18.793852	6.8404029	9	0.3548134	-0.333416	-0.121353326
210	3.6651914	-16	13.856406	8	5	0.5623413	-0.487002	-0.281170663
220	3.8397244	-17.5	13.405778	11.248783	6.5	0.4731513	-0.362455	-0.304135767
230	4.0142573	-11	7.0706637	8.4264889	0	1	-0.642788	-0.766044443
240	4.1887902	-11	5.5	9.5262794	0	1	-0.5	-0.866025404
250	4.3633231	-11.5	3.9332316	10.806465	0.5	0.9440609	-0.322888	-0.887127039
260	4.5378561	-13	2.2574263	12.802501	2	0.7943282	-0.137934	-0.782260604
270	4.712389	-15.5	2.848E-15	15.5	4.5	0.5956621	-1.09E-16	-0.595662144
280	4.8869219	-21	-3.646612	20.680963	10	0.3162278	0.0549124	-0.311423556
290	5.0614548	-32	-10.94464	30.070164	21	0.0891251	0.0304826	-0.083750193
300	5.2359878	-24	-12	20.78461	13	0.2238721	0.1119361	-0.193878938
310	5.4105207	-17	-10.92739	13.022756	6	0.5011872	0.3221569	-0.383931695
320	5.5850536	-14	-10.72462	8.9990265	3	0.7079458	0.5423179	-0.455058779
330	5.7595865	-12	-10.3923	6	1	0.8912509	0.771846	-0.445625469
340	5.9341195	-12.5	-11.74616	4.2752518	1.5	0.8413951	0.7906528	-0.287774087
350	6.1086524	-14	-13.78731	2.4310745	3	0.7079458	0.6971905	-0.122933495
360	6.2831853	-14.5	-14.5	3.553E-15	3.5	0.6683439	0.6683439	-1.63764E-16

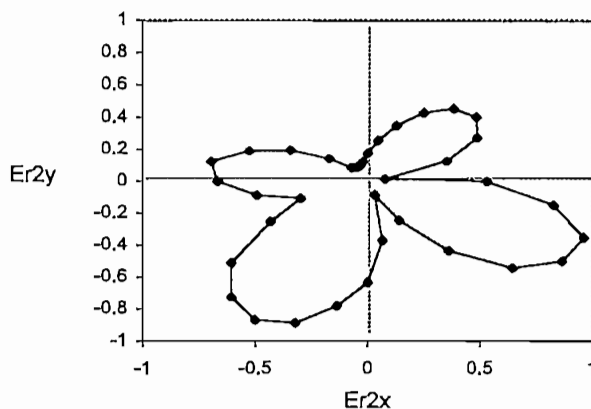
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (2 ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 1B



Cuadro A4.4 - 1C

GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-15.5	-15.5	0	5.5	0.5308844	0.5308844	0
10	0.1745329	-32	-31.51385	-5.556742	22	0.0794328	0.0782261	0.0137934
20	0.3490659	-18.5	-17.38431	-6.327373	8.5	0.3758374	0.3531716	0.128544
30	0.5235988	-15	-12.99038	-7.5	5	0.5623413	0.4870019	0.2811707
40	0.6981317	-14	-10.72462	-8.999027	4	0.6309573	0.4833414	0.4055716
50	0.8726646	-14.5	-9.32042	-11.10764	4.5	0.5956621	0.3828842	0.4563037
60	1.0471976	-16	-8	-13.85641	6	0.5011872	0.2505936	0.4340409
70	1.2217305	-18.5	-6.327373	-17.38431	8.5	0.3758374	0.128544	0.3531716
80	1.3962634	-21.5	-3.733436	-21.17337	11.5	0.2660725	0.046203	0.2620303
90	1.5707963	-25	-1.53E-15	-25	15	0.1778279	1.089E-17	0.1778279
100	1.7453293	-28	4.862149	-27.57462	18	0.1258925	-0.021861	0.12398
110	1.9198622	-30	10.260604	-28.19078	20	0.1	-0.034202	0.0939693
120	2.0943951	-30	15	-25.98076	20	0.1	-0.05	0.0866025
130	2.268928	-29	18.640841	-22.21529	19	0.1122018	-0.072122	0.0859516
140	2.443461	-23	17.619022	-14.78412	13	0.2238721	-0.171496	0.1439022
150	2.6179939	-18	15.588457	-9	8	0.3981072	-0.344771	0.1990536
160	2.7925268	-15	14.095389	-5.130302	5	0.5623413	-0.528428	0.1923321
170	2.9670597	-13	12.802501	-2.257426	3	0.7079458	-0.69719	0.1229335
180	3.1415927	-13.5	13.5	-1.65E-15	3.5	0.6683439	-0.668344	8.188E-17
190	3.3161256	-16	15.756924	2.7783708	6	0.5011872	-0.493573	-0.0870302
200	3.4906585	-20	18.793852	6.8404029	10	0.3162278	-0.297157	-0.1081563
210	3.6651914	-16	13.856406	8	6	0.5011872	-0.434041	-0.2505936
220	3.8397244	-12	9.1925333	7.7134513	2	0.7943282	-0.608491	-0.5105843
230	4.0142573	-10.5	6.7492699	8.0434667	0.5	0.9440609	-0.606831	-0.7231926
240	4.1887902	-10	5	8.660254	0	1	-0.5	-0.8660254
250	4.3633231	-10.5	3.5912115	9.8667725	0.5	0.9440609	-0.322888	-0.887127
260	4.5378561	-12	2.0837781	11.817693	2	0.7943282	-0.137934	-0.7822606
270	4.712389	-14	2.573E-15	14	4	0.6309573	-1.16E-16	-0.6309573
280	4.8869219	-18.5	-3.212491	18.218943	8.5	0.3758374	0.0652635	-0.3701276
290	5.0614548	-31	-10.60262	29.130471	21	0.0891251	0.0304826	-0.0837502
300	5.2359878	-21	-10.5	18.186533	11	0.2818383	0.1409191	-0.2440791
310	5.4105207	-15	-9.641814	11.490667	5	0.5623413	0.361466	-0.4307784
320	5.5850536	-11.5	-8.809511	7.3920575	1.5	0.8413951	0.6445461	-0.5408384
330	5.7595865	-10	-8.660254	5	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-9.8	-9.208988	3.3517974	-0.2	1.023293	0.9615809	-0.3499868
350	6.1086524	-11.5	-11.32529	1.996954	1.5	0.8413951	0.8286125	-0.1461067
360	6.2831853	-15.5	-15.5	3.798E-15	5.5	0.5308844	0.5308844	-1.301E-16

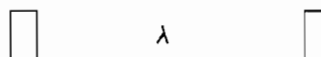
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (2 ANTENAS HELICOIDALES)
TRANSVERSALES, CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 1C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 2A

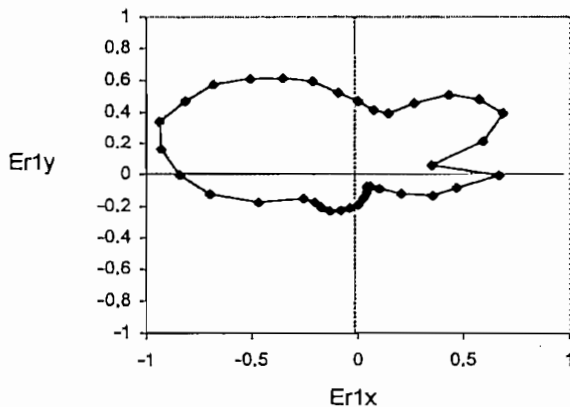
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3.5	8	5.5
9	9.5	9.2
4	6	4.9
2	4	2.9
2.5	3.5	3.0
3.5	4.5	4.0
5.5	6.5	6.0
7.5	8	7.7
7.5	8	7.7
6.5	7	6.7
5.5	6	5.7
4	4.5	4.2
3	3.5	3.2
2	2.3	2.1
1	1	1.0
0.5	0.5	0.5
0	0	0.0
0.5	0.3	0.4
1.5	1	1.2
3	2.5	2.7
6	5.5	5.7
10.5	9	9.7
11.5	10.5	11.0
11.5	9.5	10.4
11.5	8.5	9.9
12.5	8.5	10.3
13.5	9.5	11.3
14.5	10.5	12.3
16.5	12	14.0
18.5	16.5	17.4
21.5	20.5	21.0
20.5	19.5	20.0
17.5	14	15.6
12.5	8.5	10.3
8.5	6.5	7.4
6.5	6.5	6.5
3.5	8	5.5



Cuadro A4.4 - 2B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-17	-17	0	3.5	0.6683439	0.6683439	0
10	0.1745329	-22.5	-22.15817	-3.907084	9	0.3548134	0.349423	0.061612698
20	0.3490659	-17.5	-16.44462	-5.985353	4	0.6309573	0.592906	0.215800121
30	0.5235988	-15.5	-13.42339	-7.75	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-16	-12.25671	-10.2846	2.5	0.7498942	0.5744523	0.482022706
50	0.8726646	-17	-10.92739	-13.02276	3.5	0.6683439	0.4296032	0.511981144
60	1.0471976	-19	-9.5	-16.45448	5.5	0.5308844	0.2654422	0.459759415
70	1.2217305	-21	-7.182423	-19.73355	7.5	0.4216965	0.1442287	0.396265092
80	1.3962634	-21	-3.646612	-20.68096	7.5	0.4216965	0.0732268	0.415289986
90	1.5707963	-20	-1.23E-15	-20	6.5	0.4731513	2.898E-17	0.473151259
100	1.7453293	-19	3.2993154	-18.71135	5.5	0.5308844	-0.092187	0.522819117
110	1.9198622	-17.5	5.9853525	-16.44462	4	0.6309573	-0.2158	0.592905961
120	2.0943951	-16.5	8.25	-14.28942	3	0.7079458	-0.353973	0.613099034
130	2.268928	-15.5	9.963208	-11.87369	2	0.7943282	-0.510584	0.60849073
140	2.443461	-14.5	11.107644	-9.32042	1	0.8912509	-0.682738	0.57288506
150	2.6179939	-14	12.124356	-7	0.5	0.9440609	-0.817581	0.472030438
160	2.7925268	-13.5	12.68585	-4.617272	0	1	-0.939693	0.342020143
170	2.9670597	-14	13.787309	-2.431074	0.5	0.9440609	-0.929718	0.163934451
180	3.1415927	-15	15	-1.84E-15	1.5	0.8413951	-0.841395	1.03083E-16
190	3.3161256	-16.5	16.249328	2.8651949	3	0.7079458	-0.69719	-0.122933495
200	3.4906585	-19.5	18.324006	6.6693928	6	0.5011872	-0.470962	-0.171416129
210	3.6651914	-24	20.78461	12	10.5	0.2985383	-0.258542	-0.149269131
220	3.8397244	-25	19.151111	16.06969	11.5	0.2660725	-0.203823	-0.17102811
230	4.0142573	-25	16.06969	19.151111	11.5	0.2660725	-0.171028	-0.203823365
240	4.1887902	-25	12.5	21.650635	11.5	0.2660725	-0.133036	-0.230425549
250	4.3633231	-26	8.8925237	24.432008	12.5	0.2371374	-0.081106	-0.222836237
260	4.5378561	-27	4.6885008	26.589809	13.5	0.2113489	-0.0367	-0.208138039
270	4.712389	-28	5.146E-15	28	14.5	0.1883649	-3.46E-17	-0.188364909
280	4.8869219	-30	-5.209445	29.544233	16.5	0.1496236	0.0259819	-0.147350447
290	5.0614548	-32	-10.94464	30.070164	18.5	0.1188502	0.0406492	-0.111682677
300	5.2359878	-35	-17.5	30.310889	21.5	0.0841395	0.0420698	-0.072866957
310	5.4105207	-34	-21.85478	26.045511	20.5	0.0944061	0.0606831	-0.072319259
320	5.5850536	-31	-23.74738	19.926416	17.5	0.1333521	0.1021537	-0.085717105
330	5.7595865	-26	-22.51666	13	12.5	0.2371374	0.205367	-0.118568685
340	5.9341195	-22	-20.67324	7.5244432	8.5	0.3758374	0.3531716	-0.128543963
350	6.1086524	-20	-19.69616	3.4729636	6.5	0.4731513	0.465963	-0.082161854
360	6.2831853	-17	-17	4.166E-15	3.5	0.6683439	0.6683439	-1.63764E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (2 ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.4 - 2B

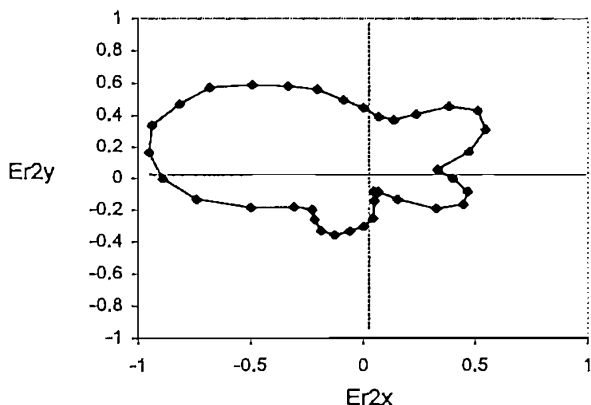


Cuadro A4.4 - 2C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-21.5	-21.5	0	8	0.3981072	0.3981072	0
10	0.1745329	-23	-22.65058	-3.993908	9.5	0.3349654	0.3298766	0.0581661
20	0.3490659	-19.5	-18.32401	-6.669393	6	0.5011872	0.4709619	0.1714161
30	0.5235988	-17.5	-15.15544	-8.75	4	0.6309573	0.5464251	0.3154787
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	3.5	0.6683439	0.5119811	0.4296032
50	0.8726646	-18	-11.57018	-13.7888	4.5	0.5956621	0.3828842	0.4563037
60	1.0471976	-20	-10	-17.32051	6.5	0.4731513	0.2365756	0.409761
70	1.2217305	-21.5	-7.353433	-20.20339	8	0.3981072	0.1361607	0.3740984
80	1.3962634	-21.5	-3.733436	-21.17337	8	0.3981072	0.0691306	0.392059
90	1.5707963	-20.5	-1.26E-15	-20.5	7	0.4466836	2.736E-17	0.4466836
100	1.7453293	-19.5	3.3861395	-19.20375	6	0.5011872	-0.08703	0.4935731
110	1.9198622	-18	6.1563626	-16.91447	4.5	0.5956621	-0.203728	0.5597393
120	2.0943951	-17	8.5	-14.72243	3.5	0.6683439	-0.334172	0.5788028
130	2.268928	-15.8	10.156044	-12.1035	2.3	0.7673615	-0.49325	0.587833
140	2.443461	-14.5	11.107644	-9.32042	1	0.8912509	-0.682738	0.5728851
150	2.6179939	-14	12.124356	-7	0.5	0.9440609	-0.817581	0.4720304
160	2.7925268	-13.5	12.68585	-4.617272	0	1	-0.939693	0.3420201
170	2.9670597	-13.8	13.590347	-2.396345	0.3	0.9660509	-0.951374	0.167753
180	3.1415927	-14.5	14.5	-1.78E-15	1	0.8912509	-0.891251	1.092E-16
190	3.3161256	-16	15.756924	2.7783708	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.1302178
200	3.4906585	-19	17.85416	6.4983827	5.5	0.5308844	-0.498868	-0.1815732
210	3.6651914	-22.5	19.485572	11.25	9	0.3548134	-0.307277	-0.1774067
220	3.8397244	-24	18.385067	15.426903	10.5	0.2985383	-0.228694	-0.1918967
230	4.0142573	-23	14.784115	17.619022	9.5	0.3349654	-0.215312	-0.2565984
240	4.1887902	-22	11	19.052559	8.5	0.3758374	-0.187919	-0.3254847
250	4.3633231	-22	7.5244432	20.673238	8.5	0.3758374	-0.128544	-0.3531716
260	4.5378561	-23	3.9939081	22.650578	9.5	0.3349654	-0.058166	-0.3298766
270	4.712389	-24	4.411E-15	24	10.5	0.2985383	-5.49E-17	-0.2985383
280	4.8869219	-25.5	-4.428029	25.112598	12	0.2511886	0.0436185	-0.2473725
290	5.0614548	-30	-10.2606	28.190779	16.5	0.1496236	0.0511743	-0.1406002
300	5.2359878	-34	-17	29.444864	20.5	0.0944061	0.047203	-0.0817581
310	5.4105207	-33	-21.21199	25.279467	19.5	0.1059254	0.0680875	-0.0811435
320	5.5850536	-27.5	-21.06622	17.676659	14	0.1995262	0.152846	-0.128253
330	5.7595865	-22	-19.05256	11	8.5	0.3758374	0.3254847	-0.1879187
340	5.9341195	-20	-18.79385	6.8404029	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.1618273
350	6.1086524	-20	-19.69616	3.4729636	6.5	0.4731513	0.465963	-0.0821619
360	6.2831853	-21.5	-21.5	5.268E-15	8	0.3981072	0.3981072	-9.755E-17

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (2 ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.4 - 2C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 3A**

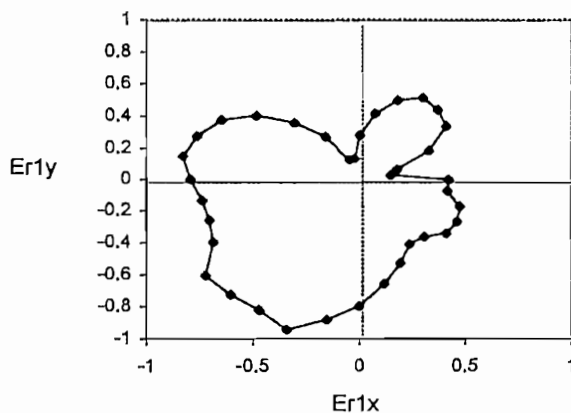
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
7.5	9.2	8.3
16.5	18.2	17.3
14.5	16.2	15.3
8.5	8.7	8.6
5.5	5.7	5.6
4.8	4.2	4.5
4.5	4.2	4.3
5.5	4.7	5.1
7.5	6.2	6.8
11	8.2	9.5
17.5	13.2	15.1
17.5	16.2	16.8
10	10.2	10.1
6.5	6.2	6.3
4	4.2	4.1
2.5	2.7	2.6
1.8	2.2	2.0
1.5	2.2	1.8
2	2.2	2.1
2.5	2.7	2.6
2.5	2.2	2.3
2	1.7	1.8
0.5	0.7	0.6
0.5	0.2	0.3
0.5	0	0.2
0	0.2	0.1
1	1.2	1.1
2	2.2	2.1
3.5	4.2	3.8
5	6.7	5.8
6.5	8.2	7.3
6.5	7.2	6.8
5.5	6.2	5.8
5.5	5.7	5.6
6	6.2	6.1
7.5	8.2	7.8
7.5	9.2	8.3

□ $\lambda / 2$ □

Cuadro A4.4 - 3B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
0	0	-20	-20	0	7.5	0.4216965	0.4216965	0
10	0.1745329	-29	-28.55942	-5.035797	16.5	0.1496236	0.1473504	0.02598186
20	0.3490659	-27	-25.3717	-9.234544	14.5	0.1883649	0.1770051	0.064424593
30	0.5235988	-21	-18.18653	-10.5	8.5	0.3758374	0.3254847	0.187918702
40	0.6981317	-18	-13.7888	-11.57018	5.5	0.5308844	0.4066811	0.341245943
50	0.8726646	-17.3	-11.12023	-13.25257	4.8	0.5754399	0.3698857	0.440812566
60	1.0471976	-17	-8.5	-14.72243	4.5	0.5956621	0.2978311	0.515858548
70	1.2217305	-18	-6.156363	-16.91447	5.5	0.5308844	0.1815732	0.498868195
80	1.3962634	-20	-3.472964	-19.69616	7.5	0.4216965	0.0732268	0.415289986
90	1.5707963	-23.5	-1.44E-15	-23.5	11	0.2818383	1.726E-17	0.281838293
100	1.7453293	-30	5.2094453	-29.54423	17.5	0.1333521	-0.023156	0.131326225
110	1.9198622	-30	10.260604	-28.19078	17.5	0.1333521	-0.045609	0.125310025
120	2.0943951	-22.5	11.25	-19.48557	10	0.3162278	-0.158114	0.273861279
130	2.268928	-19	12.212965	-14.55484	6.5	0.4731513	-0.304136	0.362454893
140	2.443461	-16.5	12.639733	-10.606	4	0.6309573	-0.483341	0.405571563
150	2.6179939	-15	12.990381	-7.5	2.5	0.7498942	-0.649427	0.374947105
160	2.7925268	-14.3	13.437604	-4.890888	1.8	0.8128305	-0.763811	0.27800441
170	2.9670597	-14	13.787309	-2.431074	1.5	0.8413951	-0.828612	0.146106733
180	3.1415927	-14.5	14.5	-1.78E-15	2	0.7943282	-0.794328	9.7317E-17
190	3.3161256	-15	14.772116	2.6047227	2.5	0.7498942	-0.738502	-0.130217763
200	3.4906585	-15	14.095389	5.1303021	2.5	0.7498942	-0.70467	-0.256478925
210	3.6651914	-14.5	12.557368	7.25	2	0.7943282	-0.687908	-0.397164117
220	3.8397244	-13	9.9585778	8.3562389	0.5	0.9440609	-0.723193	-0.606830634
230	4.0142573	-13	8.3562389	9.9585778	0.5	0.9440609	-0.606831	-0.723192588
240	4.1887902	-13	6.5	11.25833	0.5	0.9440609	-0.47203	-0.817580702
250	4.3633231	-12.5	4.2752518	11.746158	0	1	-0.34202	-0.939692621
260	4.5378561	-13.5	2.3442504	13.294905	1	0.8912509	-0.154764	-0.877710834
270	4.712389	-14.5	2.665E-15	14.5	2	0.7943282	-1.46E-16	-0.794328235
280	4.8869219	-16	-2.778371	15.756924	3.5	0.6683439	0.1160567	-0.658190272
290	5.0614548	-17.5	-5.985353	16.444621	5	0.5623413	0.1923321	-0.528427994
300	5.2359878	-19	-9.5	16.454483	6.5	0.4731513	0.2365756	-0.40976101
310	5.4105207	-19	-12.21296	14.554844	6.5	0.4731513	0.3041358	-0.362454893
320	5.5850536	-18	-13.7888	11.570177	5.5	0.5308844	0.4066811	-0.341245943
330	5.7595865	-18	-15.58846	9	5.5	0.5308844	0.4597594	-0.265442222
340	5.9341195	-18.5	-17.38431	6.3273727	6	0.5011872	0.4709619	-0.171416129
350	6.1086524	-20	-19.69616	3.4729636	7.5	0.4216965	0.41529	-0.073226829
360	6.2831853	-20	-20	4.901E-15	7.5	0.4216965	0.4216965	-1.03328E-16

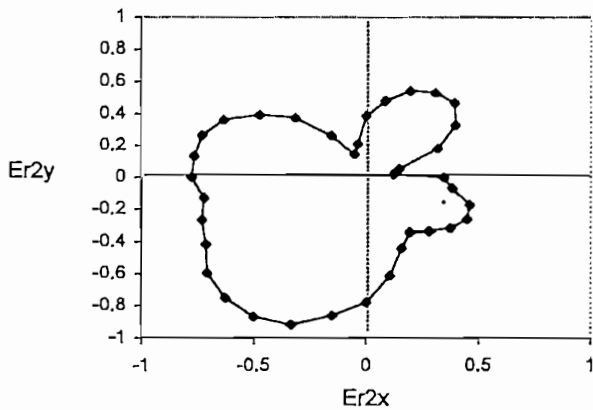
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 3B



Cuadro A4.4 - 3C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-22	-22	0	9.2	0.3467369	0.3467369	0
10	0.1745329	-31	-30.52904	-5.383094	18.2	0.1230269	0.1211578	0.0213634
20	0.3490659	-29	-27.25109	-9.918584	16.2	0.1548817	0.1455412	0.0529726
30	0.5235988	-21.5	-18.61955	-10.75	8.7	0.3672823	0.3180758	0.1836412
40	0.6981317	-18.5	-14.17182	-11.89157	5.7	0.5188	0.3974239	0.3334782
50	0.8726646	-17	-10.92739	-13.02276	4.2	0.616595	0.3963396	0.4723392
60	1.0471976	-17	-8.5	-14.72243	4.2	0.616595	0.3082975	0.5339869
70	1.2217305	-17.5	-5.985353	-16.44462	4.7	0.5821032	0.199091	0.5469981
80	1.3962634	-19	-3.299315	-18.71135	6.2	0.4897788	0.0850492	0.482338
90	1.5707963	-21	-1.29E-15	-21	8.2	0.3890451	2.383E-17	0.3890451
100	1.7453293	-26	4.5148526	-25.605	13.2	0.2187762	-0.03799	0.2154525
110	1.9198622	-29	9.9185842	-27.25109	16.2	0.1548817	-0.052973	0.1455412
120	2.0943951	-23	11.5	-19.91858	10.2	0.3090295	-0.154515	0.2676274
130	2.268928	-19	12.212965	-14.55484	6.2	0.4897788	-0.314824	0.3751923
140	2.443461	-17	13.022756	-10.92739	4.2	0.616595	-0.472339	0.3963396
150	2.6179939	-15.5	13.423394	-7.75	2.7	0.7328245	-0.634645	0.3664123
160	2.7925268	-15	14.095389	-5.130302	2.2	0.7762471	-0.729434	0.2654922
170	2.9670597	-15	14.772116	-2.604723	2.2	0.7762471	-0.764454	0.1347939
180	3.1415927	-15	15	-1.84E-15	2.2	0.7762471	-0.776247	9.51E-17
190	3.3161256	-15.5	15.26452	2.6915468	2.7	0.7328245	-0.721691	-0.1272536
200	3.4906585	-15	14.095389	5.1303021	2.2	0.7762471	-0.729434	-0.2654922
210	3.6651914	-14.5	12.557368	7.25	1.7	0.8222426	-0.712083	-0.4111213
220	3.8397244	-13.5	10.3416	8.6776327	0.7	0.9225714	-0.706731	-0.5930175
230	4.0142573	-13	8.3562389	9.9585778	0.2	0.9772372	-0.628156	-0.7486071
240	4.1887902	-12.8	6.4	11.085125	0	1	-0.5	-0.8660254
250	4.3633231	-13	4.4462619	12.216004	0.2	0.9772372	-0.334235	-0.9183026
260	4.5378561	-14	2.4310745	13.787309	1.2	0.8709636	-0.151241	-0.8577317
270	4.712389	-15	2.757E-15	15	2.2	0.7762471	-1.43E-16	-0.7762471
280	4.8869219	-17	-2.952019	16.741732	4.2	0.616595	0.1070706	-0.6072275
290	5.0614548	-19.5	-6.669393	18.324006	6.7	0.462381	0.1581436	-0.434496
300	5.2359878	-21	-10.5	18.186533	8.2	0.3890451	0.1945226	-0.336923
310	5.4105207	-20	-12.85575	15.320889	7.2	0.4365158	0.280587	-0.3343905
320	5.5850536	-19	-14.55484	12.212965	6.2	0.4897788	0.3751923	-0.3148238
330	5.7595865	-18.5	-16.02147	9.25	5.7	0.5188	0.449294	-0.2594
340	5.9341195	-19	-17.85416	6.4983827	6.2	0.4897788	0.4602415	-0.1675142
350	6.1086524	-21	-20.68096	3.6466117	8.2	0.3890451	0.3831347	-0.067557
360	6.2831853	-22	-22	5.391E-15	9.2	0.3467369	0.3467369	-8.496E-17

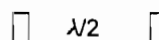
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 3C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 4A

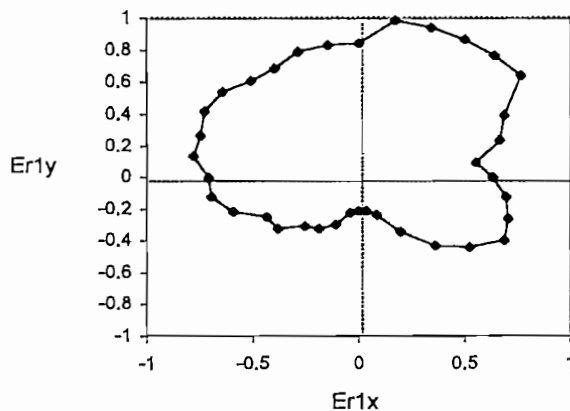
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
4	1.5	2.7
5	4.5	4.7
3	6.5	4.6
2	6	3.8
0	5	2.1
0	4.5	2.0
0	4.3	1.9
0	4	1.8
0	3.5	1.6
1.5	3.5	2.4
1.5	3.5	2.4
1.5	3	2.2
2	3.5	2.7
2	3.5	2.7
1.5	3.5	2.4
1.5	3.5	2.4
2	4	2.9
2	4.5	3.2
3	4.5	3.7
3	6	4.4
4	6.5	5.2
6	7.5	6.7
6	9.5	7.6
8	11.5	9.6
8.5	12.5	10.3
10	13.5	11.6
13	14.5	13.7
13.5	13.5	13.5
13.5	13.5	13.5
12	8.5	10.1
8	6.5	7.2
5	4	4.5
3.3	2	2.6
2	1	1.5
2.5	0	1.2
3	0.5	1.7
4	1.5	2.7



Cuadro A4.4 - 4B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-21	-21	0	4	0.6309573	0.6309573	0
10	0.1745329	-22	-21.66577	-3.82026	5	0.5623413	0.5537981	0.097649546
20	0.3490659	-20	-18.79385	-6.840403	3	0.7079458	0.6652514	0.242131719
30	0.5235988	-19	-16.45448	-9.5	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	0	1	0.7660444	0.64278761
50	0.8726646	-17	-10.92739	-13.02276	0	1	0.6427876	0.76604443
60	1.0471976	-17	-8.5	-14.72243	0	1	0.5	0.866025404
70	1.2217305	-17	-5.814342	-15.97477	0	1	0.3420201	0.939692621
80	1.3962634	-17	-2.952019	-16.74173	0	1	0.1736482	0.984807753
90	1.5707963	-18.5	-1.13E-15	-18.5	1.5	0.8413951	5.154E-17	0.841395142
100	1.7453293	-18.5	3.2124913	-18.21894	1.5	0.8413951	-0.146107	0.828612459
110	1.9198622	-18.5	6.3273727	-17.38431	1.5	0.8413951	-0.287774	0.790652806
120	2.0943951	-19	9.5	-16.45448	2	0.7943282	-0.397164	0.68790843
130	2.268928	-19	12.212965	-14.55484	2	0.7943282	-0.510584	0.60849073
140	2.443461	-18.5	14.171822	-11.89157	1.5	0.8413951	-0.644546	0.540838372
150	2.6179939	-18.5	16.02147	-9.25	1.5	0.8413951	-0.72867	0.420697571
160	2.7925268	-19	17.85416	-6.498383	2	0.7943282	-0.746424	0.271676257
170	2.9670597	-19	18.711347	-3.299315	2	0.7943282	-0.782261	0.13793365
180	3.1415927	-20	20	-2.45E-15	3	0.7079458	-0.707946	8.67339E-17
190	3.3161256	-20	19.696155	3.4729636	3	0.7079458	-0.69719	-0.122933495
200	3.4906585	-21	19.733545	7.182423	4	0.6309573	-0.592906	-0.215800121
210	3.6651914	-23	19.918584	11.5	6	0.5011872	-0.434041	-0.250593617
220	3.8397244	-23	17.619022	14.784115	6	0.5011872	-0.383932	-0.322156944
230	4.0142573	-25	16.06969	19.151111	8	0.3981072	-0.255898	-0.304967786
240	4.1887902	-25.5	12.75	22.083648	8.5	0.3758374	-0.187919	-0.32548474
250	4.3633231	-27	9.2345439	25.371701	10	0.3162278	-0.108156	-0.297156898
260	4.5378561	-30	5.2094453	29.544233	13	0.2238721	-0.038875	-0.220470993
270	4.712389	-30.5	5.605E-15	30.5	13.5	0.2113489	-3.88E-17	-0.211348904
280	4.8869219	-30.5	-5.296269	30.036636	13.5	0.2113489	0.0367004	-0.208138039
290	5.0614548	-29	-9.918584	27.251086	12	0.2511886	0.0859116	-0.236040114
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	8	0.3981072	0.1990536	-0.344770923
310	5.4105207	-22	-14.14133	16.852978	5	0.5623413	0.361466	-0.430778447
320	5.5850536	-20.3	-15.5507	13.048588	3.3	0.6839116	0.5239067	-0.439609933
330	5.7595865	-19	-16.45448	9.5	2	0.7943282	0.6879084	-0.397164117
340	5.9341195	-19.5	-18.32401	6.6693928	2.5	0.7498942	0.7046701	-0.256478925
350	6.1086524	-20	-19.69616	3.4729636	3	0.7079458	0.6971905	-0.122933495
360	6.2831853	-21	-21	5.146E-15	4	0.6309573	0.6309573	-1.54603E-16

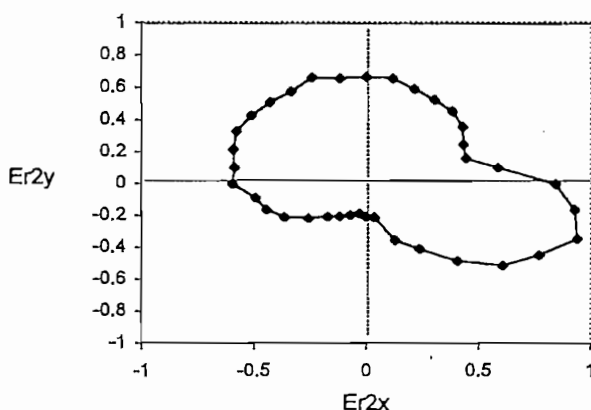
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.4 - 4B



Cuadro A4.4 - 4C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-17	-17	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-20	-19.69616	-3.472964	4.5	0.5956621	0.5866127	0.1034356
20	0.3490659	-22	-20.67324	-7.524443	6.5	0.4731513	0.4446167	0.1618273
30	0.5235988	-21.5	-18.61955	-10.75	6	0.5011872	0.4340409	0.2505936
40	0.6981317	-20.5	-15.70391	-13.17715	5	0.5623413	0.4307784	0.361466
50	0.8726646	-20	-12.85575	-15.32089	4.5	0.5956621	0.3828842	0.4563037
60	1.0471976	-19.8	-9.9	-17.1473	4.3	0.6095369	0.3047684	0.5278744
70	1.2217305	-19.5	-6.669393	-18.32401	4	0.6309573	0.2158001	0.592906
80	1.3962634	-19	-3.299315	-18.71135	3.5	0.6683439	0.1160567	0.6581903
90	1.5707963	-19	-1.16E-15	-19	3.5	0.6683439	4.094E-17	0.6683439
100	1.7453293	-19	3.2993154	-18.71135	3.5	0.6683439	-0.116057	0.6581903
110	1.9198622	-18.5	6.3273727	-17.38431	3	0.7079458	-0.242132	0.6652514
120	2.0943951	-19	9.5	-16.45448	3.5	0.6683439	-0.334172	0.5788028
130	2.268928	-19	12.212965	-14.55484	3.5	0.6683439	-0.429603	0.5119811
140	2.443461	-19	14.554844	-12.21296	3.5	0.6683439	-0.511981	0.4296032
150	2.6179939	-19	16.454483	-9.5	3.5	0.6683439	-0.578803	0.334172
160	2.7925268	-19.5	18.324006	-6.669393	4	0.6309573	-0.592906	0.2158001
170	2.9670597	-20	19.696155	-3.472964	4.5	0.5956621	-0.586613	0.1034356
180	3.1415927	-20	20	-2.45E-15	4.5	0.5956621	-0.595662	7.298E-17
190	3.3161256	-21.5	21.173367	3.7334358	6	0.5011872	-0.493573	-0.0870302
200	3.4906585	-22	20.673238	7.5244432	6.5	0.4731513	-0.444617	-0.1618273
210	3.6651914	-23	19.918584	11.5	7.5	0.4216965	-0.3652	-0.2108483
220	3.8397244	-25	19.151111	16.06969	9.5	0.3349654	-0.256598	-0.2153116
230	4.0142573	-27	17.355265	20.6832	11.5	0.2660725	-0.171028	-0.2038234
240	4.1887902	-28	14	24.248711	12.5	0.2371374	-0.118569	-0.205367
250	4.3633231	-29	9.9185842	27.251086	13.5	0.2113489	-0.072286	-0.198603
260	4.5378561	-30	5.2094453	29.544233	14.5	0.1883649	-0.032709	-0.1855032
270	4.712389	-29	5.329E-15	29	13.5	0.2113489	-3.88E-17	-0.2113489
280	4.8869219	-29	-5.035797	28.559425	13.5	0.2113489	0.0367004	-0.208138
290	5.0614548	-24	-8.208483	22.552623	8.5	0.3758374	0.128544	-0.3531716
300	5.2359878	-22	-11	19.052559	6.5	0.4731513	0.2365756	-0.409761
310	5.4105207	-19.5	-12.53436	14.937867	4	0.6309573	0.4055716	-0.4833414
320	5.5850536	-17.5	-13.40578	11.248783	2	0.7943282	0.6084907	-0.5105843
330	5.7595865	-16.5	-14.28942	8.25	1	0.8912509	0.771846	-0.4456255
340	5.9341195	-15.5	-14.56524	5.3013122	0	1	0.9396926	-0.3420201
350	6.1086524	-16	-15.75692	2.7783708	0.5	0.9440609	0.9297185	-0.1639345
360	6.2831853	-17	-17	4.166E-15	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.062E-16

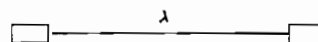
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.4 - 4C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
LONGITUDINALES, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 5A

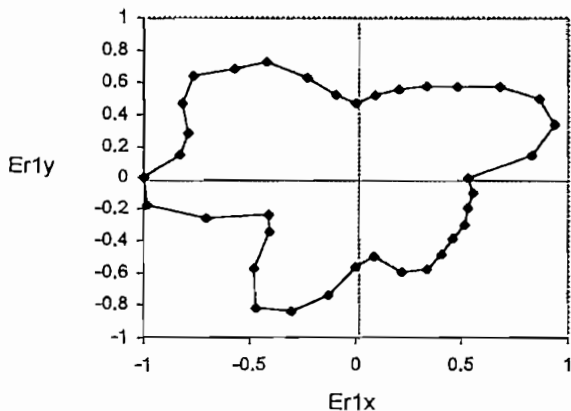
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
5.5	7.5	6.4
1.5	7	3.8
0	6	2.5
0	5.5	2.3
1	7	3.5
2.5	9	5.2
3.5	10	6.2
4.5	10	6.8
5.5	8.5	6.9
6.5	7	6.7
5.5	5.5	5.5
3.5	4	3.7
1.5	2	1.7
1	1.5	1.2
0	1.5	0.7
0.5	2	1.2
1.5	1.5	1.5
1.5	0	0.7
0	0	0.0
0	1.5	0.7
2.5	6	4.1
6.5	10	8.1
5.5	10	7.5
2.5	7	4.5
0.5	5	2.5
1	4.5	2.6
2.5	5	3.7
5	7	5.9
6	8.2	7.0
4	7.2	5.5
3.5	8	5.5
4	10.5	6.7
4.5	9	6.5
4.5	7	5.7
5	5.8	5.4
5	6	5.5
5.5	7.5	6.4



Cuadro A4.4 - 5B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Erly(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-17	-17	0	5.5	0.5308844	0.5308844	0
10	0.1745329	-13	-12.8025	-2.257426	1.5	0.8413951	0.8286125	0.146106733
20	0.3490659	-11.5	-10.80647	-3.933232	0	1	0.9396926	0.342020143
30	0.5235988	-11.5	-9.959292	-5.75	0	1	0.8660254	0.5
40	0.6981317	-12.5	-9.575556	-8.034845	1	0.8912509	0.6827378	0.57288506
50	0.8726646	-14	-8.999027	-10.72462	2.5	0.7498942	0.4820227	0.574452292
60	1.0471976	-15	-7.5	-12.99038	3.5	0.6683439	0.334172	0.578802811
70	1.2217305	-16	-5.472322	-15.03508	4.5	0.5956621	0.2037285	0.559739321
80	1.3962634	-17	-2.952019	-16.74173	5.5	0.5308844	0.0921871	0.522819117
90	1.5707963	-18	-1.1E-15	-18	6.5	0.4731513	2.898E-17	0.473151259
100	1.7453293	-17	2.952019	-16.74173	5.5	0.5308844	-0.092187	0.522819117
110	1.9198622	-15	5.1303021	-14.09539	3.5	0.6683439	-0.228587	0.628037847
120	2.0943951	-13	6.5	-11.25833	1.5	0.8413951	-0.420698	0.728669567
130	2.268928	-12.5	8.0348451	-9.575556	1	0.8912509	-0.572885	0.682737829
140	2.443461	-11.5	8.8095111	-7.392058	0	1	-0.766044	0.64278761
150	2.6179939	-12	10.392305	-6	0.5	0.9440609	-0.817581	0.472030438
160	2.7925268	-13	12.216004	-4.446262	1.5	0.8413951	-0.790653	0.287774087
170	2.9670597	-13	12.802501	-2.257426	1.5	0.8413951	-0.828612	0.146106733
180	3.1415927	-11.5	11.5	-1.41E-15	0	1	-1	1.22515E-16
190	3.3161256	-11.5	11.325289	1.996954	0	1	-0.984808	-0.173648178
200	3.4906585	-14	13.155697	4.788282	2.5	0.7498942	-0.70467	-0.256478925
210	3.6651914	-18	15.588457	9	6.5	0.4731513	-0.409761	-0.236575629
220	3.8397244	-17	13.022756	10.927389	5.5	0.5308844	-0.406681	-0.341245943
230	4.0142573	-14	8.9990265	10.724622	2.5	0.7498942	-0.482023	-0.574452292
240	4.1887902	-12	6	10.392305	0.5	0.9440609	-0.47203	-0.817580702
250	4.3633231	-12.5	4.2752518	11.746158	1	0.8912509	-0.304826	-0.83750193
260	4.5378561	-14	2.4310745	13.787309	2.5	0.7498942	-0.130218	-0.738501631
270	4.712389	-16.5	3.032E-15	16.5	5	0.5623413	-1.03E-16	-0.562341325
280	4.8869219	-17.5	-3.038843	17.234136	6	0.5011872	0.0870302	-0.493573073
290	5.0614548	-15.5	-5.301312	14.565236	4	0.6309573	0.2158001	-0.592905961
300	5.2359878	-15	-7.5	12.990381	3.5	0.6683439	0.334172	-0.578802811
310	5.4105207	-15.5	-9.963208	11.873689	4	0.6309573	0.4055716	-0.483341368
320	5.5850536	-16	-12.25671	10.284602	4.5	0.5956621	0.4563037	-0.382884245
330	5.7595865	-16	-13.85641	8	4.5	0.5956621	0.5158585	-0.297831072
340	5.9341195	-16.5	-15.50493	5.6433324	5	0.5623413	0.528428	-0.192332061
350	6.1086524	-16.5	-16.24933	2.8651949	5	0.5623413	0.5537981	-0.097649546
360	6.2831853	-17	-17	4.166E-15	5.5	0.5308844	0.5308844	-1.30082E-16

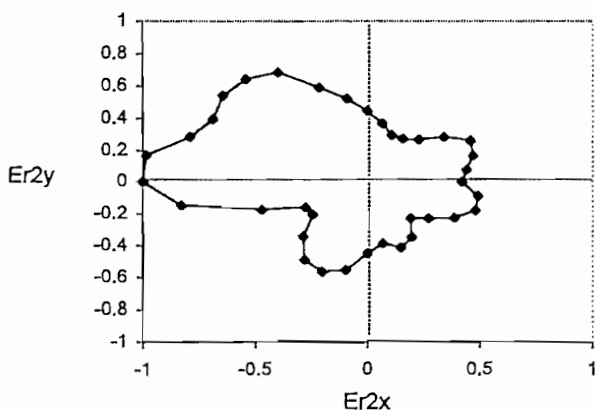
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 5B



Cuadro A4.4 - 5C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-16.5	-16.5	0	7.5	0.4216965	0.4216965	0
10	0.1745329	-16	-15.75692	-2.778371	7	0.4466836	0.4398975	0.0775658
20	0.3490659	-15	-14.09539	-5.130302	6	0.5011872	0.4709619	0.1714161
30	0.5235988	-14.5	-12.55737	-7.25	5.5	0.5308844	0.4597594	0.2654422
40	0.6981317	-16	-12.25671	-10.2846	7	0.4466836	0.3421795	0.2871227
50	0.8726646	-18	-11.57018	-13.7888	9	0.3548134	0.2280697	0.2718028
60	1.0471976	-19	-9.5	-16.45448	10	0.3162278	0.1581139	0.2738613
70	1.2217305	-19	-6.498383	-17.85416	10	0.3162278	0.1081563	0.2971569
80	1.3962634	-17.5	-3.038843	-17.23414	8.5	0.3758374	0.0652635	0.3701276
90	1.5707963	-16	-9.8E-16	-16	7	0.4466836	2.736E-17	0.4466836
100	1.7453293	-14.5	2.5178986	-14.27971	5.5	0.5308844	-0.092187	0.5228191
110	1.9198622	-13	4.4462619	-12.216	4	0.6309573	-0.2158	0.592906
120	2.0943951	-11	5.5	-9.526279	2	0.7943282	-0.397164	0.6879084
130	2.268928	-10.5	6.7492699	-8.043467	1.5	0.8413951	-0.540838	0.6445461
140	2.443461	-10.5	8.0434667	-6.74927	1.5	0.8413951	-0.644546	0.5408384
150	2.6179939	-11	9.5262794	-5.5	2	0.7943282	-0.687908	0.3971641
160	2.7925268	-10.5	9.8667725	-3.591212	1.5	0.8413951	-0.790653	0.2877741
170	2.9670597	-9	8.8632698	-1.562834	0	1	-0.984808	0.1736482
180	3.1415927	-9	9	-1.1E-15	0	1	-1	1.225E-16
190	3.3161256	-10.5	10.340481	1.8233059	1.5	0.8413951	-0.828612	-0.1461067
200	3.4906585	-15	14.095389	5.1303021	6	0.5011872	-0.470962	-0.1714161
210	3.6651914	-19	16.454483	9.5	10	0.3162278	-0.273861	-0.1581139
220	3.8397244	-19	14.554844	12.212965	10	0.3162278	-0.242245	-0.2032673
230	4.0142573	-16	10.284602	12.256711	7	0.4466836	-0.287123	-0.3421795
240	4.1887902	-14	7	12.124356	5	0.5623413	-0.281171	-0.4870019
250	4.3633231	-13.5	4.6172719	12.68585	4.5	0.5956621	-0.203728	-0.5597393
260	4.5378561	-14	2.4310745	13.787309	5	0.5623413	-0.09765	-0.5537981
270	4.712389	-16	2.94E-15	16	7	0.4466836	-8.21E-17	-0.4466836
280	4.8869219	-17.2	-2.986749	16.938693	8.2	0.3890451	0.067557	-0.3831347
290	5.0614548	-16.2	-5.540726	15.22302	7.2	0.4365158	0.1492972	-0.4101907
300	5.2359878	-17	-8.5	14.722432	8	0.3981072	0.1990536	-0.3447709
310	5.4105207	-19.5	-12.53436	14.937867	10.5	0.2985383	0.1918967	-0.2286936
320	5.5850536	-18	-13.7888	11.570177	9	0.3548134	0.2718028	-0.2280697
330	5.7595865	-16	-13.85641	8	7	0.4466836	0.3868393	-0.2233418
340	5.9341195	-14.8	-13.90745	5.0618981	5.8	0.5128614	0.4819321	-0.1754089
350	6.1086524	-15	-14.77212	2.6047227	6	0.5011872	0.4935731	-0.0870302
360	6.2831853	-16.5	-16.5	4.043E-15	7.5	0.4216965	0.4216965	-1.033E-16

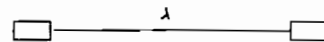
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 5C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
LONGITUDINALES, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 6A

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
0	0	0.0
3	1	1.9
8	5	6.4
20	19	19.5
15	14	14.5
9	9	9.0
6	7.5	6.7
5	7	5.9
4.5	7	5.7
6	6.5	6.2
7	7	7.0
8.5	8	8.2
10	9	9.5
14	9	11.1
13.5	10	11.6
9.5	10	9.7
5	6.8	5.9
2.5	2.8	2.6
1	0.5	0.7
2	0	0.9
4.5	1.5	2.9
8	5.5	6.7
10	8	8.9
8	6	6.9
7	5.5	6.2
7	4	5.4
7	5	5.9
5.5	5.5	5.5
9	8	8.5
13	9.5	11.1
16	13	14.4
20	18	18.9
13	14	13.5
7.5	6.5	7.0
3.5	2	2.7
1.5	0	0.7
0	0	0.0

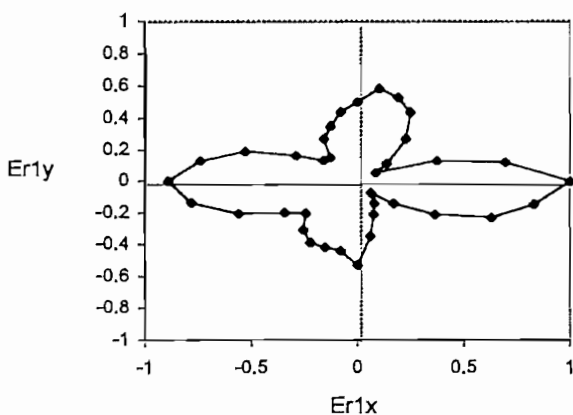


Cuadro A4.4 - 6B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-10	-10	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-13	-12.8025	-2.257426	3	0.7079458	0.6971905	0.122933495
20	0.3490659	-18	-16.91447	-6.156363	8	0.3981072	0.3740984	0.136160672
30	0.5235988	-30	-25.98076	-15	20	0.1	0.0866025	0.05
40	0.6981317	-25	-19.15111	-16.06969	15	0.1778279	0.1362241	0.114305597
50	0.8726646	-19	-12.21296	-14.55484	9	0.3548134	0.2280697	0.271802825
60	1.0471976	-16	-8	-13.85641	6	0.5011872	0.2505936	0.434040876
70	1.2217305	-15	-5.130302	-14.09539	5	0.5623413	0.1923321	0.528427994
80	1.3962634	-14.5	-2.517899	-14.27971	4.5	0.5956621	0.1034356	0.586612697
90	1.5707963	-16	-9.8E-16	-16	6	0.5011872	3.07E-17	0.501187234
100	1.7453293	-17	2.952019	-16.74173	7	0.4466836	-0.077566	0.439897465
110	1.9198622	-18.5	6.3273727	-17.38431	8.5	0.3758374	-0.128544	0.353171635
120	2.0943951	-20	10	-17.32051	10	0.3162278	-0.158114	0.273861279
130	2.268928	-24	15.426903	-18.38507	14	0.1995262	-0.128253	0.152845961
140	2.443461	-23.5	18.002044	-15.10551	13.5	0.2113489	-0.161903	0.135852457
150	2.6179939	-19.5	16.887495	-9.75	9.5	0.3349654	-0.290089	0.16748272
160	2.7925268	-15	14.095389	-5.130302	5	0.5623413	-0.528428	0.192332061
170	2.9670597	-12.5	12.310097	-2.170602	2.5	0.7498942	-0.738502	0.130217763
180	3.1415927	-11	11	-1.35E-15	1	0.8912509	-0.891251	1.09191E-16
190	3.3161256	-12	11.817693	2.0837781	2	0.7943282	-0.782261	-0.13793365
200	3.4906585	-14.5	13.625543	4.9592921	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.203728452
210	3.6651914	-18	15.588457	9	8	0.3981072	-0.344771	-0.199053585
220	3.8397244	-20	15.320889	12.855752	10	0.3162278	-0.242245	-0.20326729
230	4.0142573	-18	11.570177	13.7888	8	0.3981072	-0.255898	-0.304967786
240	4.1887902	-17	8.5	14.722432	7	0.4466836	-0.223342	-0.386839338
250	4.3633231	-17	5.8143424	15.974775	7	0.4466836	-0.152775	-0.419745275
260	4.5378561	-17	2.952019	16.741732	7	0.4466836	-0.077566	-0.439897465
270	4.712389	-15.5	2.848E-15	15.5	5.5	0.5308844	-9.76E-17	-0.530884444
280	4.8869219	-19	-3.299315	18.711347	9	0.3548134	0.0616127	-0.349422977
290	5.0614548	-23	-7.866463	21.61293	13	0.2238721	0.0765688	-0.210370973
300	5.2359878	-26	-13	22.51666	16	0.1584893	0.0792447	-0.137255777
310	5.4105207	-30	-19.28363	22.981333	20	0.1	0.0642788	-0.076604444
320	5.5850536	-23	-17.61902	14.784115	13	0.2238721	0.171496	-0.143902221
330	5.7595865	-17.5	-15.15544	8.75	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.210848252
340	5.9341195	-13.5	-12.68585	4.6172719	3.5	0.6683439	0.6280378	-0.228587082
350	6.1086524	-11.5	-11.32529	1.996954	1.5	0.8413951	0.8286125	-0.146106733
360	6.2831853	-10	-10	2.45E-15	0	1	1	-2.4503E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES, CON ANTENA TX VERTICAL

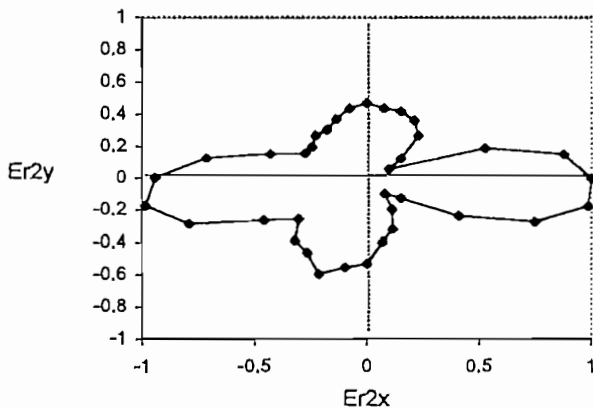
Gráfico A4.4 - 6B



Cuadro A4.4 - 6C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-12	-12	0	0	1	1	0
10	0.1745329	-13	-12.8025	-2.257426	1	0.8912509	0.8777108	0.1547641
20	0.3490659	-17	-15.97477	-5.814342	5	0.5623413	0.528428	0.1923321
30	0.5235988	-31	-26.84679	-15.5	19	0.1122018	0.0971696	0.0561009
40	0.6981317	-26	-19.91716	-16.71248	14	0.1995262	0.152846	0.128253
50	0.8726646	-21	-13.49854	-16.08693	9	0.3548134	0.2280697	0.2718028
60	1.0471976	-19.5	-9.75	-16.8875	7.5	0.4216965	0.2108483	0.3651999
70	1.2217305	-19	-6.498383	-17.85416	7	0.4466836	0.1527748	0.4197453
80	1.3962634	-19	-3.299315	-18.71135	7	0.4466836	0.0775658	0.4398975
90	1.5707963	-18.5	-1.13E-15	-18.5	6.5	0.4731513	2.898E-17	0.4731513
100	1.7453293	-19	3.2993154	-18.71135	7	0.4466836	-0.077566	0.4398975
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	8	0.3981072	-0.136161	0.3740984
120	2.0943951	-21	10.5	-18.18653	9	0.3548134	-0.177407	0.3072774
130	2.268928	-21	13.49854	-16.08693	9	0.3548134	-0.22807	0.2718028
140	2.443461	-22	16.852978	-14.14133	10	0.3162278	-0.242245	0.2032673
150	2.6179939	-22	19.052559	-11	10	0.3162278	-0.273861	0.1581139
160	2.7925268	-18.8	17.666221	-6.429979	6.8	0.4570882	-0.429522	0.1563334
170	2.9670597	-14.8	14.575155	-2.569993	2.8	0.724436	-0.71343	0.125797
180	3.1415927	-12.5	12.5	-1.53E-15	0.5	0.9440609	-0.944061	1.157E-16
190	3.3161256	-12	11.817693	2.0837781	0	1	-0.984808	-0.1736482
200	3.4906585	-13.5	12.68585	4.6172719	1.5	0.8413951	-0.790653	-0.2877741
210	3.6651914	-17.5	15.155445	8.75	5.5	0.5308844	-0.459759	-0.2654422
220	3.8397244	-20	15.320889	12.855752	8	0.3981072	-0.304968	-0.2558984
230	4.0142573	-18	11.570177	13.7888	6	0.5011872	-0.322157	-0.3839317
240	4.1887902	-17.5	8.75	15.155445	5.5	0.5308844	-0.265442	-0.4597594
250	4.3633231	-16	5.4723223	15.035082	4	0.6309573	-0.2158	-0.592906
260	4.5378561	-17	2.952019	16.741732	5	0.5623413	-0.09765	-0.5537981
270	4.712389	-17.5	3.216E-15	17.5	5.5	0.5308844	-9.76E-17	-0.5308844
280	4.8869219	-20	-3.472964	19.696155	8	0.3981072	0.0691306	-0.392059
290	5.0614548	-21.5	-7.353433	20.203391	9.5	0.3349654	0.1145649	-0.3147646
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	13	0.2238721	0.1119361	-0.1938789
310	5.4105207	-30	-19.28363	22.981333	18	0.1258925	0.0809222	-0.0964393
320	5.5850536	-26	-19.91716	16.712478	14	0.1995262	0.152846	-0.128253
330	5.7595865	-18.5	-16.02147	9.25	6.5	0.4731513	0.409761	-0.2365756
340	5.9341195	-14	-13.1557	4.788282	2	0.7943282	0.7464244	-0.2716763
350	6.1086524	-12	-11.81769	2.0837781	0	1	0.9848078	-0.1736482
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	0	1	1	-2.45E-16

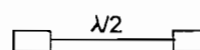
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.4 - 6C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
LONGITUDINALES, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 7A

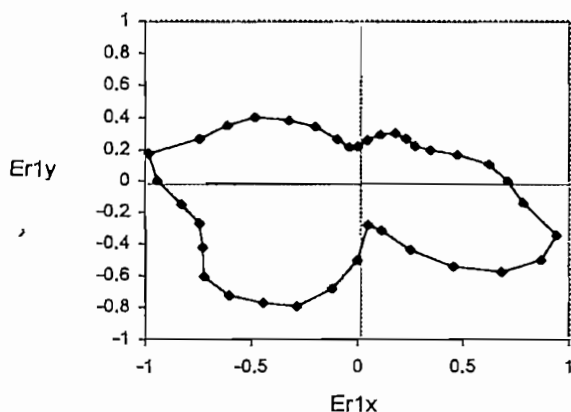
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
3	7	4.8
4	6	4.9
6	5.5	5.7
8	5	6.4
9	4	6.1
9	2.5	5.2
9	4	6.1
10	3.5	6.2
11.5	5.5	8.0
13	7.5	9.8
13	8.5	10.5
11	8.5	9.7
8	7.5	7.7
6	7.5	6.7
4	6.5	5.2
3	5	3.9
2	3.5	2.7
0	2.5	1.2
0.5	1.5	1.0
1.5	1	1.2
2	0.5	1.2
1.5	0.5	1.0
0.5	0.5	0.5
0.5	1	0.7
1	1.5	1.2
1.5	3	2.2
3.2	4.5	3.8
6	6.5	6.2
11	11.5	11.2
9.5	11	10.2
6	6	6.0
3	3	3.0
1	1	1.0
0	0.5	0.2
0	0	0.0
2	1.5	1.7
3	7	4.8



Cuadro A4.4 - 7B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-15	-15	0	3	0.7079458	0.7079458	0
10	0.1745329	-16	-15.75692	-2.778371	4	0.6309573	0.6213717	0.109564593
20	0.3490659	-18	-16.91447	-6.156363	6	0.5011872	0.4709619	0.171416129
30	0.5235988	-20	-17.32051	-10	8	0.3981072	0.3447709	0.199053585
40	0.6981317	-21	-16.08693	-13.49854	9	0.3548134	0.2718028	0.22806965
50	0.8726646	-21	-13.49854	-16.08693	9	0.3548134	0.2280697	0.271802825
60	1.0471976	-21	-10.5	-18.18653	9	0.3548134	0.1774067	0.307277409
70	1.2217305	-22	-7.524443	-20.67324	10	0.3162278	0.1081563	0.297156898
80	1.3962634	-23.5	-4.080732	-23.14298	11.5	0.2660725	0.046203	0.262030267
90	1.5707963	-25	-1.53E-15	-25	13	0.2238721	1.371E-17	0.223872114
100	1.7453293	-25	4.3412044	-24.62019	13	0.2238721	-0.038875	0.220470993
110	1.9198622	-23	7.8664633	-21.61293	11	0.2818383	-0.096394	0.264841364
120	2.0943951	-20	10	-17.32051	8	0.3981072	-0.199054	0.344770923
130	2.268928	-18	11.570177	-13.7888	6	0.5011872	-0.322157	0.383931695
140	2.443461	-16	12.256711	-10.2846	4	0.6309573	-0.483341	0.405571563
150	2.6179939	-15	12.990381	-7.5	3	0.7079458	-0.613099	0.353972892
160	2.7925268	-14	13.155697	-4.788282	2	0.7943282	-0.746424	0.271676257
170	2.9670597	-12	11.817693	-2.083778	0	1	-0.984808	0.173648178
180	3.1415927	-12.5	12.5	-1.53E-15	0.5	0.9440609	-0.944061	1.15661E-16
190	3.3161256	-13.5	13.294905	2.3442504	1.5	0.8413951	-0.828612	-0.146106733
200	3.4906585	-14	13.155697	4.788282	2	0.7943282	-0.746424	-0.271676257
210	3.6651914	-13.5	11.691343	6.75	1.5	0.8413951	-0.72867	-0.420697571
220	3.8397244	-12.5	9.5755555	8.0348451	0.5	0.9440609	-0.723193	-0.606830634
230	4.0142573	-12.5	8.0348451	9.5755555	0.5	0.9440609	-0.606831	-0.723192588
240	4.1887902	-13	6.5	11.25833	1	0.8912509	-0.445625	-0.771845954
250	4.3633231	-13.5	4.6172719	12.68585	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.790652806
260	4.5378561	-15.2	2.6394523	14.969078	3.2	0.691831	-0.120135	-0.681320504
270	4.712389	-18	3.308E-15	18	6	0.5011872	-9.21E-17	-0.501187234
280	4.8869219	-23	-3.993908	22.650578	11	0.2818383	0.0489407	-0.277556536
290	5.0614548	-21.5	-7.353433	20.203391	9.5	0.3349654	0.1145649	-0.314764551
300	5.2359878	-18	-9	15.588457	6	0.5011872	0.2505936	-0.434040876
310	5.4105207	-15	-9.641814	11.490667	3	0.7079458	0.4550588	-0.542317934
320	5.5850536	-13	-9.958578	8.3562389	1	0.8912509	0.6827378	-0.57288506
330	5.7595865	-12	-10.3923	6	0	1	0.8660254	-0.5
340	5.9341195	-12	-11.27631	4.1042417	0	1	0.9396926	-0.342020143
350	6.1086524	-14	-13.78731	2.4310745	2	0.7943282	0.7822606	-0.13793365
360	6.2831853	-15	-15	3.675E-15	3	0.7079458	0.7079458	-1.73468E-16

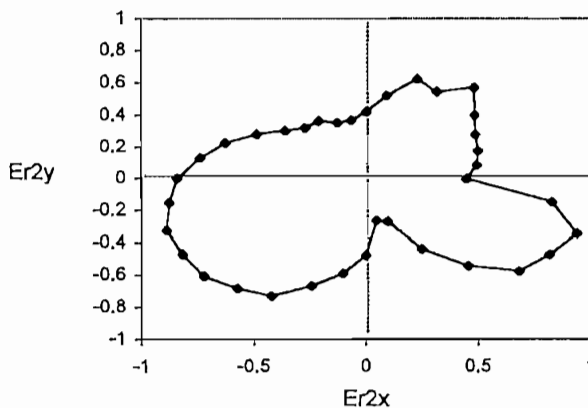
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 7B



Cuadro A4.4 - 7C

GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-18.5	-18.5	0	7	0.4466836	0.4466836	0
10	0.1745329	-17.5	-17.23414	-3.038843	6	0.5011872	0.4935731	0.0870302
20	0.3490659	-17	-15.97477	-5.814342	5.5	0.5308844	0.4988682	0.1815732
30	0.5235988	-16.5	-14.28942	-8.25	5	0.5623413	0.4870019	0.2811707
40	0.6981317	-15.5	-11.87369	-9.963208	4	0.6309573	0.4833414	0.4055716
50	0.8726646	-14	-8.999027	-10.72462	2.5	0.7498942	0.4820227	0.5744523
60	1.0471976	-15.5	-7.75	-13.42339	4	0.6309573	0.3154787	0.5464251
70	1.2217305	-15	-5.130302	-14.09539	3.5	0.6683439	0.2285871	0.6280378
80	1.3962634	-17	-2.952019	-16.74173	5.5	0.5308844	0.0921871	0.5228191
90	1.5707963	-19	-1.16E-15	-19	7.5	0.4216965	2.583E-17	0.4216965
100	1.7453293	-20	3.4729636	-19.69616	8.5	0.3758374	-0.065263	0.3701276
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	8.5	0.3758374	-0.128544	0.3531716
120	2.0943951	-19	9.5	-16.45448	7.5	0.4216965	-0.210848	0.3651999
130	2.268928	-19	12.212965	-14.55484	7.5	0.4216965	-0.271061	0.3230383
140	2.443461	-18	13.7888	-11.57018	6.5	0.4731513	-0.362455	0.3041358
150	2.6179939	-16.5	14.289419	-8.25	5	0.5623413	-0.487002	0.2811707
160	2.7925268	-15	14.095389	-5.130302	3.5	0.6683439	-0.628038	0.2285871
170	2.9670597	-14	13.787309	-2.431074	2.5	0.7498942	-0.738502	0.1302178
180	3.1415927	-13	13	-1.59E-15	1.5	0.8413951	-0.841395	1.031E-16
190	3.3161256	-12.5	12.310097	2.1706022	1	0.8912509	-0.877711	-0.1547641
200	3.4906585	-12	11.276311	4.1042417	0.5	0.9440609	-0.887127	-0.3228878
210	3.6651914	-12	10.392305	6	0.5	0.9440609	-0.817581	-0.4720304
220	3.8397244	-12	9.1925333	7.7134513	0.5	0.9440609	-0.723193	-0.6068306
230	4.0142573	-12.5	8.0348451	9.5755555	1	0.8912509	-0.572885	-0.6827378
240	4.1887902	-13	6.5	11.25833	1.5	0.8413951	-0.420698	-0.7286696
250	4.3633231	-14.5	4.9592921	13.625543	3	0.7079458	-0.242132	-0.6652514
260	4.5378561	-16	2.7783708	15.756924	4.5	0.5956621	-0.103436	-0.5866127
270	4.712389	-18	3.308E-15	18	6.5	0.4731513	-8.7E-17	-0.4731513
280	4.8869219	-23	-3.993908	22.650578	11.5	0.2660725	0.046203	-0.2620303
290	5.0614548	-22.5	-7.695453	21.143084	11	0.2818383	0.0963944	-0.2648414
300	5.2359878	-17.5	-8.75	15.155445	6	0.5011872	0.2505936	-0.4340409
310	5.4105207	-14.5	-9.32042	11.107644	3	0.7079458	0.4550588	-0.5423179
320	5.5850536	-12.5	-9.575556	8.0348451	1	0.8912509	0.6827378	-0.5728851
330	5.7595865	-12	-10.3923	6	0.5	0.9440609	0.8175807	-0.4720304
340	5.9341195	-11.5	-10.80647	3.9332316	0	1	0.9396926	-0.3420201
350	6.1086524	-13	-12.8025	2.2574263	1.5	0.8413951	0.8286125	-0.1461067
360	6.2831853	-18.5	-18.5	4.533E-15	7	0.4466836	0.4466836	-1.095E-16

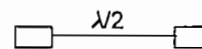
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 7C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
LONGITUDINALES, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz**

Cuadro A4.4 - 8A

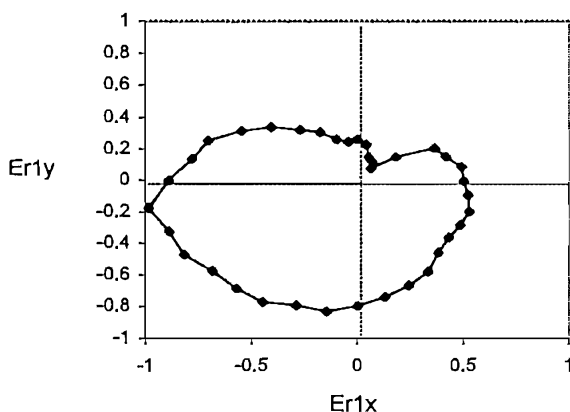
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
6	1	3.1
6	2	3.8
7	2.5	4.5
7.5	4	5.6
12.5	6.5	9.0
20	11.5	14.7
17	19	17.9
16	20	17.8
12.5	18	14.8
11.5	15	13.1
12	13	12.5
11	14	12.4
9	14	11.1
7.5	11	9.1
5.5	10.5	7.6
4	9	6.1
2.5	6.5	4.3
2	5	3.4
1	4	2.4
0	2	0.9
0.5	2	1.2
0.5	1.5	1.0
1	1.5	1.2
1	1	1.0
1	0	0.5
1.5	0.5	1.0
1.5	0	0.7
2	0.5	1.2
2.5	0.5	1.4
3	1.5	2.2
3.5	4	3.7
4.5	3	3.7
5	4	4.5
5	5	5.0
5	4	4.5
5.5	2.5	3.9
6	1	3.1



Cuadro A4.4 - 8B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
0	0	-15	-15	0	6	0.5011872	0.5011872	0
10	0.1745329	-15	-14.77212	-2.604723	6	0.5011872	0.4935731	0.08703025
20	0.3490659	-16	-15.03508	-5.472322	7	0.4466836	0.4197453	0.152774786
30	0.5235988	-16.5	-14.28942	-8.25	7.5	0.4216965	0.3651999	0.210848252
40	0.6981317	-21.5	-16.46996	-13.81993	12.5	0.2371374	0.1816578	0.152428964
50	0.8726646	-29	-18.64084	-22.21529	20	0.1	0.0642788	0.076604444
60	1.0471976	-26	-13	-22.51666	17	0.1412538	0.0706269	0.12232934
70	1.2217305	-25	-8.550504	-23.49232	16	0.1584893	0.0542065	0.148931244
80	1.3962634	-21.5	-3.733436	-21.17337	12.5	0.2371374	0.0411785	0.233534721
90	1.5707963	-20.5	-1.26E-15	-20.5	11.5	0.2660725	1.63E-17	0.266072506
100	1.7453293	-21	3.6466117	-20.68096	12	0.2511886	-0.043618	0.247372523
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	11	0.2818383	-0.096394	0.264841364
120	2.0943951	-18	9	-15.58846	9	0.3548134	-0.177407	0.307277409
130	2.268928	-16.5	10.605996	-12.63973	7.5	0.4216965	-0.271061	0.323038263
140	2.443461	-14.5	11.107644	-9.32042	5.5	0.5308844	-0.406681	0.341245943
150	2.6179939	-13	11.25833	-6.5	4	0.6309573	-0.546425	0.315478672
160	2.7925268	-11.5	10.806465	-3.933232	2.5	0.7498942	-0.70467	0.256478925
170	2.9670597	-11	10.832885	-1.91013	2	0.7943282	-0.782261	0.13793365
180	3.1415927	-10	10	-1.23E-15	1	0.8912509	-0.891251	1.09191E-16
190	3.3161256	-9	8.8632698	1.5628336	0	1	-0.984808	-0.173648178
200	3.4906585	-9.5	8.9270799	3.2491914	0.5	0.9440609	-0.887127	-0.322887836
210	3.6651914	-9.5	8.2272413	4.75	0.5	0.9440609	-0.817581	-0.472030438
220	3.8397244	-10	7.6604444	6.4278761	1	0.8912509	-0.682738	-0.57288506
230	4.0142573	-10	6.4278761	7.6604444	1	0.8912509	-0.572885	-0.682737829
240	4.1887902	-10	5	8.660254	1	0.8912509	-0.445625	-0.771845954
250	4.3633231	-10.5	3.5912115	9.8667725	1.5	0.8413951	-0.287774	-0.790652806
260	4.5378561	-10.5	1.8233059	10.340481	1.5	0.8413951	-0.146107	-0.828612459
270	4.712389	-11	2.021E-15	11	2	0.7943282	-1.46E-16	-0.794328235
280	4.8869219	-11.5	-1.996954	11.325289	2.5	0.7498942	0.1302178	-0.738501631
290	5.0614548	-12	-4.104242	11.276311	3	0.7079458	0.2421317	-0.66525143
300	5.2359878	-12.5	-6.25	10.825318	3.5	0.6683439	0.334172	-0.578802811
310	5.4105207	-13.5	-8.677633	10.3416	4.5	0.5956621	0.3828842	-0.456303675
320	5.5850536	-14	-10.72462	8.9990265	5	0.5623413	0.4307784	-0.361466036
330	5.7595865	-14	-12.12436	7	5	0.5623413	0.4870019	-0.281170663
340	5.9341195	-14	-13.1557	4.788282	5	0.5623413	0.528428	-0.192332061
350	6.1086524	-14.5	-14.27971	2.5178986	5.5	0.5308844	0.5228191	-0.092187116
360	6.2831853	-15	-15	3.675E-15	6	0.5011872	0.5011872	-1.22806E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**
Gráfico A4.4 - 8B

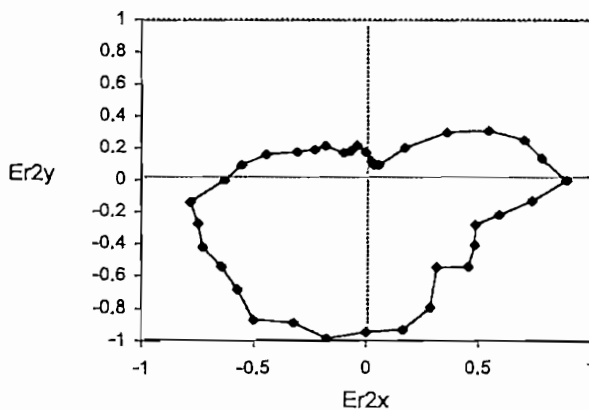


Cuadro A4.4 - 8C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-12	-12	0	1	0.8912509	0.8912509	0
10	0.1745329	-13	-12.8025	-2.257426	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-13.5	-12.68585	-4.617272	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-15	-12.99038	-7.5	4	0.6309573	0.5464251	0.3154787
40	0.6981317	-17.5	-13.40578	-11.24878	6.5	0.4731513	0.3624549	0.3041358
50	0.8726646	-22.5	-14.46272	-17.236	11.5	0.2660725	0.1710281	0.2038234
60	1.0471976	-30	-15	-25.98076	19	0.1122018	0.0561009	0.0971696
70	1.2217305	-31	-10.60262	-29.13047	20	0.1	0.034202	0.0939693
80	1.3962634	-29	-5.035797	-28.55942	18	0.1258925	0.021861	0.12398
90	1.5707963	-26	-1.59E-15	-26	15	0.1778279	1.089E-17	0.1778279
100	1.7453293	-24	4.1675563	-23.63539	13	0.2238721	-0.038875	0.220471
110	1.9198622	-25	8.5505036	-23.49232	14	0.1995262	-0.068242	0.1874933
120	2.0943951	-25	12.5	-21.65064	14	0.1995262	-0.099763	0.1727948
130	2.268928	-22	14.141327	-16.85298	11	0.2818383	-0.181162	0.2159007
140	2.443461	-21.5	16.469956	-13.81993	10.5	0.2985383	-0.228694	0.1918967
150	2.6179939	-20	17.320508	-10	9	0.3548134	-0.307277	0.1774067
160	2.7925268	-17.5	16.444621	-5.985353	6.5	0.4731513	-0.444617	0.1618273
170	2.9670597	-16	15.756924	-2.778371	5	0.5623413	-0.553798	0.0976495
180	3.1415927	-15	15	-1.84E-15	4	0.6309573	-0.630957	7.73E-17
190	3.3161256	-13	12.802501	2.2574263	2	0.7943282	-0.782261	-0.1379337
200	3.4906585	-13	12.216004	4.4462619	2	0.7943282	-0.746424	-0.2716763
210	3.6651914	-12.5	10.825318	6.25	1.5	0.8413951	-0.72867	-0.4206976
220	3.8397244	-12.5	9.5755555	8.0348451	1.5	0.8413951	-0.644546	-0.5408384
230	4.0142573	-12	7.7134513	9.1925333	1	0.8912509	-0.572885	-0.6827378
240	4.1887902	-11	5.5	9.5262794	0	1	-0.5	-0.8660254
250	4.3633231	-11.5	3.9332316	10.806465	0.5	0.9440609	-0.322888	-0.887127
260	4.5378561	-11	1.91013	10.832885	0	1	-0.173648	-0.9848078
270	4.712389	-11.5	2.113E-15	11.5	0.5	0.9440609	-1.73E-16	-0.9440609
280	4.8869219	-11.5	-1.996954	11.325289	0.5	0.9440609	0.1639345	-0.9297185
290	5.0614548	-12.5	-4.275252	11.746158	1.5	0.8413951	0.2877741	-0.7906528
300	5.2359878	-15	-7.5	12.990381	4	0.6309573	0.3154787	-0.5464251
310	5.4105207	-14	-8.999027	10.724622	3	0.7079458	0.4550588	-0.5423179
320	5.5850536	-15	-11.49067	9.6418141	4	0.6309573	0.4833414	-0.4055716
330	5.7595865	-16	-13.85641	8	5	0.5623413	0.4870019	-0.2811707
340	5.9341195	-15	-14.09539	5.1303021	4	0.6309573	0.592906	-0.2158001
350	6.1086524	-13.5	-13.2949	2.3442504	2.5	0.7498942	0.7385016	-0.1302178
360	6.2831853	-12	-12	2.94E-15	1	0.8912509	0.8912509	-2.184E-16

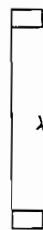
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) LONGITUDINALES,
CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.4 - 8C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 9A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav (dB)
7	1.5	3.8
5	2	3.4
3	2.5	2.7
2	1.5	1.7
1	0.5	0.7
0.5	0	0.2
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
1	1.5	1.2
2	2	2.0
3	3	3.0
4	4.5	4.2
6	7	6.5
8.5	11.5	9.9
12	14.5	13.2
16	15.5	15.7
16	10.5	12.8
13	6	8.8
8	4.5	6.1
6	4.5	5.2
5	4.5	4.7
5.5	5.5	5.5
6.5	6.5	6.5
8	8.5	8.2
10	11.5	10.7
12	12.5	12.2
14	12.5	13.2
12	10.5	11.2
10	9.5	9.7
9	7.5	8.2
7	6.5	6.7
6	5.5	5.7
5	4	4.5
6	3.5	4.7
6.5	2.5	4.3
7	2	4.1
7	1.5	3.8

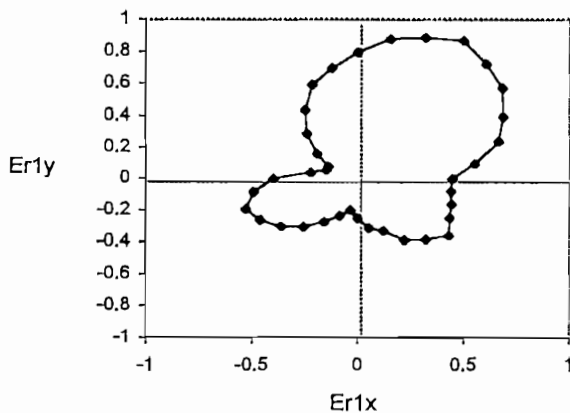


Cuadro A4.4 - 9B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
0	0	-23	-23	0	7	0.4466836	0.4466836	0
10	0.1745329	-21	-20.68096	-3.646612	5	0.5623413	0.5537981	0.097649546
20	0.3490659	-19	-17.85416	-6.498383	3	0.7079458	0.6652514	0.242131719
30	0.5235988	-18	-15.58846	-9	2	0.7943282	0.6879084	0.397164117
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	1	0.8912509	0.6827378	0.57288506
50	0.8726646	-16.5	-10.606	-12.63973	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588
60	1.0471976	-16	-8	-13.85641	0	1	0.5	0.866025404
70	1.2217305	-16.5	-5.643332	-15.50493	0.5	0.9440609	0.3228878	0.887127039
80	1.3962634	-17	-2.952019	-16.74173	1	0.8912509	0.1547641	0.877710834
90	1.5707963	-18	-1.1E-15	-18	2	0.7943282	4.866E-17	0.794328235
100	1.7453293	-19	3.2993154	-18.71135	3	0.7079458	-0.122933	0.697190497
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	4	0.6309573	-0.2158	0.592905961
120	2.0943951	-22	11	-19.05256	6	0.5011872	-0.250594	0.434040876
130	2.268928	-24.5	15.748296	-18.76809	8.5	0.3758374	-0.241584	0.287908155
140	2.443461	-28	21.449244	-17.99805	12	0.2511886	-0.192422	0.161460948
150	2.6179939	-32	27.712813	-16	16	0.1584893	-0.137256	0.07924466
160	2.7925268	-32	30.070164	-10.94464	16	0.1584893	-0.148931	0.05420654
170	2.9670597	-29	28.559425	-5.035797	13	0.2238721	-0.220471	0.038874985
180	3.1415927	-24	24	-2.94E-15	8	0.3981072	-0.398107	4.8774E-17
190	3.3161256	-22	21.665771	3.8202599	6	0.5011872	-0.493573	-0.08703025
200	3.4906585	-21	19.733545	7.182423	5	0.5623413	-0.528428	-0.192332061
210	3.6651914	-21.5	18.619546	10.75	5.5	0.5308844	-0.459759	-0.265442222
220	3.8397244	-22.5	17.236	14.462721	6.5	0.4731513	-0.362455	-0.304135767
230	4.0142573	-24	15.426903	18.385067	8	0.3981072	-0.255898	-0.304967786
240	4.1887902	-26	13	22.51666	10	0.3162278	-0.158114	-0.273861279
250	4.3633231	-28	9.576564	26.311393	12	0.2511886	-0.085912	-0.236040114
260	4.5378561	-30	5.2094453	29.544233	14	0.1995262	-0.034647	-0.19649498
270	4.712389	-28	5.146E-15	28	12	0.2511886	-4.62E-17	-0.251188643
280	4.8869219	-26	-4.514853	25.605002	10	0.3162278	0.0549124	-0.311423556
290	5.0614548	-25	-8.550504	23.492316	9	0.3548134	0.1213533	-0.333415524
300	5.2359878	-23	-11.5	19.918584	7	0.4466836	0.2233418	-0.386839338
310	5.4105207	-22	-14.14133	16.852978	6	0.5011872	0.3221569	-0.383931695
320	5.5850536	-21	-16.08693	13.49854	5	0.5623413	0.4307784	-0.361466036
330	5.7595865	-22	-19.05256	11	6	0.5011872	0.4340409	-0.250593617
340	5.9341195	-22.5	-21.14308	7.6954532	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.161827261
350	6.1086524	-23	-22.65058	3.9939081	7	0.4466836	0.4398975	-0.077565792
360	6.2831853	-23	-23	5.636E-15	7	0.4466836	0.4466836	-1.09451E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL

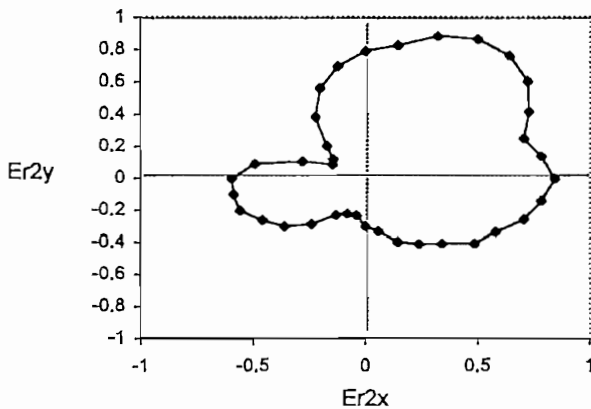
Gráfico A4.4 - 9B



Cuadro A4.4 - 9C

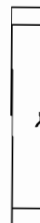
GIRO								
GRAD	RAD	E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
0	0	-18	-18	0	1.5	0.8413951	0.8413951	0
10	0.1745329	-18.5	-18.21894	-3.212491	2	0.7943282	0.7822606	0.1379337
20	0.3490659	-19	-17.85416	-6.498383	2.5	0.7498942	0.7046701	0.2564789
30	0.5235988	-18	-15.58846	-9	1.5	0.8413951	0.7286696	0.4206976
40	0.6981317	-17	-13.02276	-10.92739	0.5	0.9440609	0.7231926	0.6068306
50	0.8726646	-16.5	-10.606	-12.63973	0	1	0.6427876	0.7660444
60	1.0471976	-16.5	-8.25	-14.28942	0	1	0.5	0.8660254
70	1.2217305	-17	-5.814342	-15.97477	0.5	0.9440609	0.3228878	0.887127
80	1.3962634	-18	-3.125667	-17.72654	1.5	0.8413951	0.1461067	0.8286125
90	1.5707963	-18.5	-1.13E-15	-18.5	2	0.7943282	4.866E-17	0.7943282
100	1.7453293	-19.5	3.3861395	-19.20375	3	0.7079458	-0.122933	0.6971905
110	1.9198622	-21	7.182423	-19.73355	4.5	0.5956621	-0.203728	0.5597393
120	2.0943951	-23.5	11.75	-20.3516	7	0.4466836	-0.223342	0.3868393
130	2.268928	-28	17.998053	-21.44924	11.5	0.2660725	-0.171028	0.2038234
140	2.443461	-31	23.747378	-19.92642	14.5	0.1883649	-0.144296	0.1210786
150	2.6179939	-32	27.712813	-16	15.5	0.1678804	-0.145389	0.0839402
160	2.7925268	-27	25.371701	-9.234544	10.5	0.2985383	-0.280534	0.1021061
170	2.9670597	-22.5	22.158174	-3.907084	6	0.5011872	-0.493573	0.0870302
180	3.1415927	-21	21	-2.57E-15	4.5	0.5956621	-0.595662	7.298E-17
190	3.3161256	-21	20.680963	3.6466117	4.5	0.5956621	-0.586613	-0.1034356
200	3.4906585	-21	19.733545	7.182423	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.2037285
210	3.6651914	-22	19.052559	11	5.5	0.5308844	-0.459759	-0.2654422
220	3.8397244	-23	17.619022	14.784115	6.5	0.4731513	-0.362455	-0.3041358
230	4.0142573	-25	16.06969	19.151111	8.5	0.3758374	-0.241584	-0.2879082
240	4.1887902	-28	14	24.248711	11.5	0.2660725	-0.133036	-0.2304255
250	4.3633231	-29	9.9185842	27.251086	12.5	0.2371374	-0.081106	-0.2228362
260	4.5378561	-29	5.0357972	28.559425	12.5	0.2371374	-0.041178	-0.2335347
270	4.712389	-27	4.962E-15	27	10.5	0.2985383	-5.49E-17	-0.2985383
280	4.8869219	-26	-4.514853	25.605002	9.5	0.3349654	0.0581661	-0.3298766
290	5.0614548	-24	-8.208483	22.552623	7.5	0.4216965	0.1442287	-0.3962651
300	5.2359878	-23	-11.5	19.918584	6.5	0.4731513	0.2365756	-0.409761
310	5.4105207	-22	-14.14133	16.852978	5.5	0.5308844	0.3412459	-0.4066811
320	5.5850536	-20.5	-15.70391	13.177146	4	0.6309573	0.4833414	-0.4055716
330	5.7595865	-20	-17.32051	10	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334172
340	5.9341195	-19	-17.85416	6.4983827	2.5	0.7498942	0.7046701	-0.2564789
350	6.1086524	-18.5	-18.21894	3.2124913	2	0.7943282	0.7822606	-0.1379337
360	6.2831853	-18	-18	4.411E-15	1.5	0.8413951	0.8413951	-2.062E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**
Gráfico A4.4 - 9C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 10A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
6	7	6.5
8	8	8.0
9	7	7.9
7	6	6.5
6	5	5.5
5	5	5.0
4	4	4.0
3	2	2.5
2.5	1	1.7
1	2	1.5
1	2.5	1.7
1	2.5	1.7
1	3	1.9
1	3	1.9
2	2.5	2.2
3	3	3.0
4	4	4.0
5	5	5.0
7	6	6.5
8	8	8.0
9	10	9.5
10	9	9.5
9	9	9.0
8	8	8.0
6	5	5.5
5	3	3.9
5	2	3.4
4	0.5	2.1
1	0	0.5
0	0	0.0
1	0	0.5
1	1	1.0
1	3	1.9
3	4	3.5
4	5	4.5
5	6	5.5
6	7	6.5

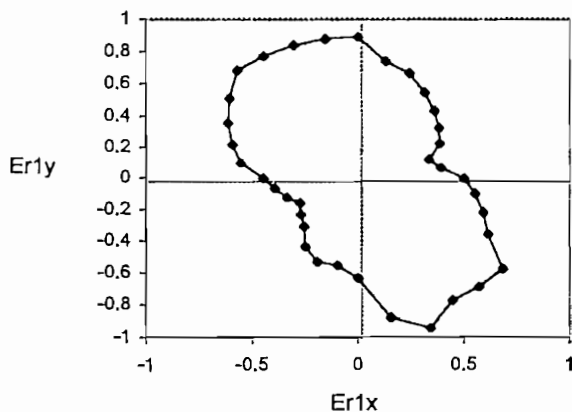


Cuadro A4.4 - 10B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-31	-31	0	6	0.5011872	0.5011872	0
10	0.1745329	-33	-32.49866	-5.73039	8	0.3981072	0.392059	0.069130585
20	0.3490659	-34	-31.94955	-11.62868	9	0.3548134	0.3334155	0.121353326
30	0.5235988	-32	-27.71281	-16	7	0.4466836	0.3868393	0.223341796
40	0.6981317	-31	-23.74738	-19.92642	6	0.5011872	0.3839317	0.322156944
50	0.8726646	-30	-19.28363	-22.98133	5	0.5623413	0.361466	0.430778447
60	1.0471976	-29	-14.5	-25.11474	4	0.6309573	0.3154787	0.546425089
70	1.2217305	-28	-9.576564	-26.31139	3	0.7079458	0.2421317	0.66525143
80	1.3962634	-27.5	-4.775325	-27.08221	2.5	0.7498942	0.1302178	0.738501631
90	1.5707963	-26	-1.59E-15	-26	1	0.8912509	5.46E-17	0.891250938
100	1.7453293	-26	4.5148526	-25.605	1	0.8912509	-0.154764	0.877710834
110	1.9198622	-26	8.8925237	-24.43201	1	0.8912509	-0.304826	0.83750193
120	2.0943951	-26	13	-22.51666	1	0.8912509	-0.445625	0.771845954
130	2.268928	-26	16.712478	-19.91716	1	0.8912509	-0.572885	0.682737829
140	2.443461	-27	20.6832	-17.35527	2	0.7943282	-0.608491	0.510584347
150	2.6179939	-28	24.248711	-14	3	0.7079458	-0.613099	0.353972892
160	2.7925268	-29	27.251086	-9.918584	4	0.6309573	-0.592906	0.215800121
170	2.9670597	-30	29.544233	-5.209445	5	0.5623413	-0.553798	0.097649546
180	3.1415927	-32	32	-3.92E-15	7	0.4466836	-0.446684	5.47254E-17
190	3.3161256	-33	32.498656	5.7303899	8	0.3981072	-0.392059	-0.069130585
200	3.4906585	-34	31.949549	11.628685	9	0.3548134	-0.333416	-0.121353326
210	3.6651914	-35	30.310889	17.5	10	0.3162278	-0.273861	-0.158113883
220	3.8397244	-34	26.045511	21.854779	9	0.3548134	-0.271803	-0.22806965
230	4.0142573	-33	21.211991	25.279467	8	0.3981072	-0.255898	-0.304967786
240	4.1887902	-31	15.5	26.846788	6	0.5011872	-0.250594	-0.434040876
250	4.3633231	-30	10.260604	28.190779	5	0.5623413	-0.192332	-0.528427994
260	4.5378561	-30	5.2094453	29.544233	5	0.5623413	-0.09765	-0.553798097
270	4.712389	-29	5.329E-15	29	4	0.6309573	-1.16E-16	-0.630957344
280	4.8869219	-26	-4.514853	25.605002	1	0.8912509	0.1547641	-0.877710834
290	5.0614548	-25	-8.550504	23.492316	0	1	0.3420201	-0.939692621
300	5.2359878	-26	-13	22.51666	1	0.8912509	0.4456255	-0.771845954
310	5.4105207	-26	-16.71248	19.917156	1	0.8912509	0.5728851	-0.682737829
320	5.5850536	-26	-19.91716	16.712478	1	0.8912509	0.6827378	-0.57288506
330	5.7595865	-28	-24.24871	14	3	0.7079458	0.613099	-0.353972892
340	5.9341195	-29	-27.25109	9.9185842	4	0.6309573	0.592906	-0.215800121
350	6.1086524	-30	-29.54423	5.2094453	5	0.5623413	0.5537981	-0.097649546
360	6.2831853	-31	-31	7.596E-15	6	0.5011872	0.5011872	-1.22806E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.4 - 10B

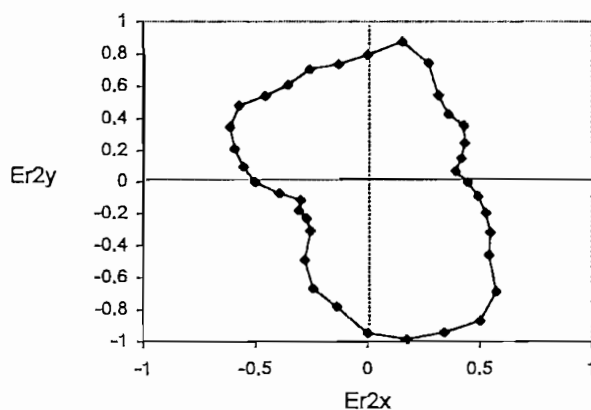


Cuadro A4.4 - 10C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-32	-32	0	7	0.4466836	0.4466836	0
10	0.1745329	-33	-32.49866	-5.73039	8	0.3981072	0.392059	0.0691306
20	0.3490659	-32	-30.07016	-10.94464	7	0.4466836	0.4197453	0.1527748
30	0.5235988	-31	-26.84679	-15.5	6	0.5011872	0.4340409	0.2505936
40	0.6981317	-30	-22.98133	-19.28363	5	0.5623413	0.4307784	0.361466
50	0.8726646	-30	-19.28363	-22.98133	5	0.5623413	0.361466	0.4307784
60	1.0471976	-29	-14.5	-25.11474	4	0.6309573	0.3154787	0.5464251
70	1.2217305	-27	-9.234544	-25.3717	2	0.7943282	0.2716763	0.7464244
80	1.3962634	-26	-4.514853	-25.605	1	0.8912509	0.1547641	0.8777708
90	1.5707963	-27	-1.65E-15	-27	2	0.7943282	4.866E-17	0.7943282
100	1.7453293	-27.5	4.7753249	-27.08221	2.5	0.7498942	-0.130218	0.7385016
110	1.9198622	-27.5	9.4055539	-25.84155	2.5	0.7498942	-0.256479	0.7046701
120	2.0943951	-28	14	-24.24871	3	0.7079458	-0.353973	0.613099
130	2.268928	-28	17.998053	-21.44924	3	0.7079458	-0.455059	0.5423179
140	2.443461	-27.5	21.066222	-17.67666	2.5	0.7498942	-0.574452	0.4820227
150	2.6179939	-28	24.248711	-14	3	0.7079458	-0.613099	0.3539729
160	2.7925268	-29	27.251086	-9.918584	4	0.6309573	-0.592906	0.2158001
170	2.9670597	-30	29.544233	-5.209445	5	0.5623413	-0.553798	0.0976495
180	3.1415927	-31	31	-3.8E-15	6	0.5011872	-0.501187	6.14E-17
190	3.3161256	-33	32.498656	5.7303899	8	0.3981072	-0.392059	-0.0691306
200	3.4906585	-35	32.889242	11.970705	10	0.3162278	-0.297157	-0.1081563
210	3.6651914	-34	29.444864	17	9	0.3548134	-0.307277	-0.1774067
220	3.8397244	-34	26.045511	21.854779	9	0.3548134	-0.271803	-0.2280697
230	4.0142573	-33	21.211991	25.279467	8	0.3981072	-0.255898	-0.3049678
240	4.1887902	-30	15	25.980762	5	0.5623413	-0.281171	-0.4870019
250	4.3633231	-28	9.576564	26.311393	3	0.7079458	-0.242132	-0.6652514
260	4.5378561	-27	4.6885008	26.589809	2	0.7943282	-0.137934	-0.7822606
270	4.712389	-25.5	4.686E-15	25.5	0.5	0.9440609	-1.73E-16	-0.9440609
280	4.8869219	-25	-4.341204	24.620194	0	1	0.1736482	-0.9848078
290	5.0614548	-25	-8.550504	23.492316	0	1	0.3420201	-0.9396926
300	5.2359878	-25	-12.5	21.650635	0	1	0.5	-0.8660254
310	5.4105207	-26	-16.71248	19.917156	1	0.8912509	0.5728851	-0.6827378
320	5.5850536	-28	-21.44924	17.998053	3	0.7079458	0.5423179	-0.4550588
330	5.7595865	-29	-25.11474	14.5	4	0.6309573	0.5464251	-0.3154787
340	5.9341195	-30	-28.19078	10.260604	5	0.5623413	0.528428	-0.1923321
350	6.1086524	-31	-30.52904	5.3830935	6	0.5011872	0.4935731	-0.0870302
360	6.2831853	-32	-32	7.841E-15	7	0.4466836	0.4466836	-1.095E-16

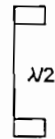
CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.4 - 10C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA Tx HORIZONTAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 11A**

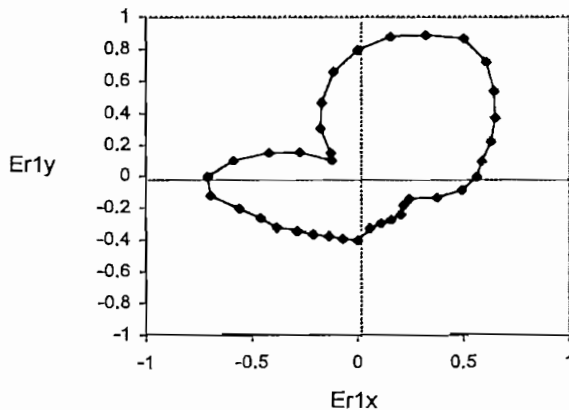
Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
5	6.5	5.7
4.5	4	4.2
3.5	2	2.7
2.5	1.3	1.9
1.5	0.5	1.0
0.5	0	0.2
0	0	0.0
0.5	0.5	0.5
1	1.5	1.2
2	2.5	2.2
3.5	4.5	4.0
6	6	6.0
9	8	8.5
14	10.5	12.1
16	13.5	14.7
10	9.5	9.7
7	8	7.5
4.5	4.5	4.5
3	4.5	3.7
3	4	3.5
4.5	4.5	4.5
5.5	5	5.2
6	5.5	5.7
7	6.5	6.7
7.5	8	7.7
8	7.5	7.7
8	7.5	7.7
8	9	8.5
9.5	9.5	9.5
10	10.5	10.2
10	11.5	10.7
10	12.5	11.2
11	10.5	10.7
11	7.5	9.1
8	5.5	6.7
6	6	6.0
5	6.5	5.7



Cuadro A4.4 - 11B

GIRO		E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Er1(dB)	Er1(lin)	Er1x(lin)	Er1y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-19	-19	0	5	0.5623413	0.5623413	0
10	0.1745329	-18.5	-18.21894	-3.212491	4.5	0.5956621	0.5866127	0.103435646
20	0.3490659	-17.5	-16.44462	-5.985353	3.5	0.6683439	0.6280378	0.228587082
30	0.5235988	-16.5	-14.28942	-8.25	2.5	0.7498942	0.6494274	0.374947105
40	0.6981317	-15.5	-11.87369	-9.963208	1.5	0.8413951	0.6445461	0.540838372
50	0.8726646	-14.5	-9.32042	-11.10764	0.5	0.9440609	0.6068306	0.723192588
60	1.0471976	-14	-7	-12.12436	0	1	0.5	0.866025404
70	1.2217305	-14.5	-4.959292	-13.62554	0.5	0.9440609	0.3228878	0.887127039
80	1.3962634	-15	-2.604723	-14.77212	1	0.8912509	0.1547641	0.877710834
90	1.5707963	-16	-9.8E-16	-16	2	0.7943282	4.866E-17	0.794328235
100	1.7453293	-17.5	3.0388431	-17.23414	3.5	0.6683439	-0.116057	0.658190272
110	1.9198622	-20	6.8404029	-18.79385	6	0.5011872	-0.171416	0.470961945
120	2.0943951	-23	11.5	-19.91858	9	0.3548134	-0.177407	0.307277409
130	2.268928	-28	17.998053	-21.44924	14	0.1995262	-0.128253	0.152845961
140	2.443461	-30	22.981333	-19.28363	16	0.1584893	-0.12141	0.101874971
150	2.6179939	-24	20.78461	-12	10	0.3162278	-0.273861	0.158113883
160	2.7925268	-21	19.733545	-7.182423	7	0.4466836	-0.419745	0.152774786
170	2.9670597	-18.5	18.218943	-3.212491	4.5	0.5956621	-0.586613	0.103435646
180	3.1415927	-17	17	-2.08E-15	3	0.7079458	-0.707946	8.67339E-17
190	3.3161256	-17	16.741732	2.952019	3	0.7079458	-0.69719	-0.122933495
200	3.4906585	-18.5	17.384313	6.3273727	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.203728452
210	3.6651914	-19.5	16.887495	9.75	5.5	0.5308844	-0.459759	-0.265442222
220	3.8397244	-20	15.320889	12.855752	6	0.5011872	-0.383932	-0.322156944
230	4.0142573	-21	13.49854	16.086933	7	0.4466836	-0.287123	-0.342179484
240	4.1887902	-21.5	10.75	18.619546	7.5	0.4216965	-0.210848	-0.365199885
250	4.3633231	-22	7.5244432	20.673238	8	0.3981072	-0.136161	-0.37409837
260	4.5378561	-22	3.8202599	21.665771	8	0.3981072	-0.069131	-0.392059028
270	4.712389	-22	4.043E-15	22	8	0.3981072	-7.32E-17	-0.398107171
280	4.8869219	-23.5	-4.080732	23.142982	9.5	0.3349654	0.0581661	-0.329876561
290	5.0614548	-24	-8.208483	22.552623	10	0.3162278	0.1081563	-0.297156898
300	5.2359878	-24	-12	20.78461	10	0.3162278	0.1581139	-0.273861279
310	5.4105207	-24	-15.4269	18.385067	10	0.3162278	0.2032673	-0.242244523
320	5.5850536	-25	-19.15111	16.06969	11	0.2818383	0.2159007	-0.181162163
330	5.7595865	-25	-21.65064	12.5	11	0.2818383	0.2440791	-0.140919147
340	5.9341195	-22	-20.67324	7.5244432	8	0.3981072	0.3740984	-0.136160672
350	6.1086524	-20	-19.69616	3.4729636	6	0.5011872	0.4935731	-0.08703025
360	6.2831853	-19	-19	4.656E-15	5	0.5623413	0.5623413	-1.3779E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL
Gráfico A4.4 - 11B

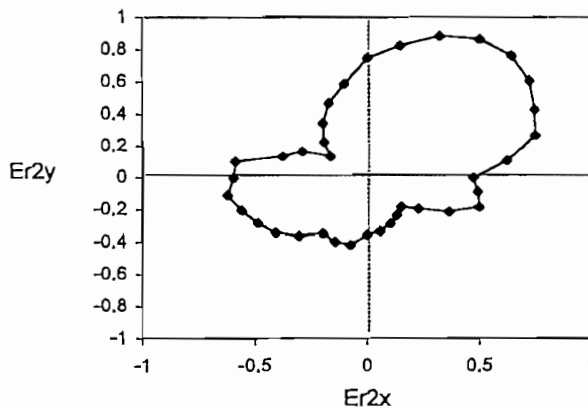


Cuadro A4.4 - 11C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-22	-22	0	6.5	0.4731513	0.4731513	0
10	0.1745329	-19.5	-19.20375	-3.386139	4	0.6309573	0.6213717	0.1095646
20	0.3490659	-17.5	-16.44462	-5.985353	2	0.7943282	0.7464244	0.2716763
30	0.5235988	-16.8	-14.54923	-8.4	1.3	0.8609938	0.7456425	0.4304969
40	0.6981317	-16	-12.25671	-10.2846	0.5	0.9440609	0.7231926	0.6068306
50	0.8726646	-15.5	-9.963208	-11.87369	0	1	0.6427876	0.7660444
60	1.0471976	-15.5	-7.75	-13.42339	0	1	0.5	0.8660254
70	1.2217305	-16	-5.472322	-15.03508	0.5	0.9440609	0.3228878	0.887127
80	1.3962634	-17	-2.952019	-16.74173	1.5	0.8413951	0.1461067	0.8286125
90	1.5707963	-18	-1.1E-15	-18	2.5	0.7498942	4.594E-17	0.7498942
100	1.7453293	-20	3.4729636	-19.69616	4.5	0.5956621	-0.103436	0.5866127
110	1.9198622	-21.5	7.3534331	-20.20339	6	0.5011872	-0.171416	0.4709619
120	2.0943951	-23.5	11.75	-20.3516	8	0.3981072	-0.199054	0.3447709
130	2.268928	-26	16.712478	-19.91716	10.5	0.2985383	-0.191897	0.2286936
140	2.443461	-29	22.215289	-18.64084	13.5	0.2113489	-0.161903	0.1358525
150	2.6179939	-25	21.650635	-12.5	9.5	0.3349654	-0.290089	0.1674827
160	2.7925268	-23.5	22.082777	-8.037473	8	0.3981072	-0.374098	0.1361607
170	2.9670597	-20	19.696155	-3.472964	4.5	0.5956621	-0.586613	0.1034356
180	3.1415927	-20	20	-2.45E-15	4.5	0.5956621	-0.595662	7.298E-17
190	3.3161256	-19.5	19.203751	3.3861395	4	0.6309573	-0.621372	-0.1095646
200	3.4906585	-20	18.793852	6.8404029	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.2037285
210	3.6651914	-20.5	17.753521	10.25	5	0.5623413	-0.487002	-0.2811707
220	3.8397244	-21	16.086933	13.49854	5.5	0.5308844	-0.406681	-0.3412459
230	4.0142573	-22	14.141327	16.852978	6.5	0.4731513	-0.304136	-0.3624549
240	4.1887902	-23.5	11.75	20.351597	8	0.3981072	-0.199054	-0.3447709
250	4.3633231	-23	7.8664633	21.61293	7.5	0.4216965	-0.144229	-0.3962651
260	4.5378561	-23	3.9939081	22.650578	7.5	0.4216965	-0.073227	-0.41529
270	4.712389	-24.5	4.502E-15	24.5	9	0.3548134	-6.52E-17	-0.3548134
280	4.8869219	-25	-4.341204	24.620194	9.5	0.3349654	0.0581661	-0.3298766
290	5.0614548	-26	-8.892524	24.432008	10.5	0.2985383	0.1021061	-0.2805342
300	5.2359878	-27	-13.5	23.382686	11.5	0.2660725	0.1330363	-0.2304255
310	5.4105207	-28	-17.99805	21.449244	12.5	0.2371374	0.152429	-0.1816578
320	5.5850536	-26	-19.91716	16.712478	10.5	0.2985383	0.2286936	-0.1918967
330	5.7595865	-23	-19.91858	11.5	7.5	0.4216965	0.3651999	-0.2108483
340	5.9341195	-21	-19.73355	7.182423	5.5	0.5308844	0.4988682	-0.1815732
350	6.1086524	-21.5	-21.17337	3.7334358	6	0.5011872	0.4935731	-0.0870302
360	6.2831853	-22	-22	5.391E-15	6.5	0.4731513	0.4731513	-1.159E-16

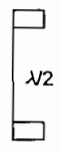
**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON CODO, CON ANTENA TX HORIZONTAL**

Gráfico A4.4 - 11C



**CAMPO ELECTRICO RELATIVO DE DOS ANTENAS HELICOIDALES,
TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA Tx VERTICAL, f = 555 MHz
Cuadro A4.4 - 12A**

Er1 (dB)	Er2 (dB)	Erav(dB)
5.5	4.5	5.0
4.5	4.5	4.5
4	5.5	4.7
3.5	4.5	4.0
2.5	3.5	3.0
2	3.5	2.7
2.5	3.5	3.0
3.5	4.5	4.0
3.5	4.5	4.0
4	4.5	4.2
5.5	3.5	4.4
6.5	3.5	4.9
7.5	4.5	5.9
9.5	4.5	6.6
11.5	5.5	8.0
9.5	6.5	7.9
7.5	5.5	6.4
6.5	4.5	5.4
3.5	4.5	4.0
1.5	4.5	2.9
0.5	4.5	2.3
0	4.5	2.0
0	3.5	1.6
0.5	2.5	1.4
0.5	1.5	1.0
1	0.5	0.7
1.5	0	0.7
2	0.5	1.2
2.5	0.5	1.4
4.5	0.5	2.3
6.5	2.5	4.3
8.5	3.5	5.6
10.5	4.5	7.0
9.5	3.5	6.0
6.5	4.5	5.4
6	4.5	5.2
5.5	4.5	5.0

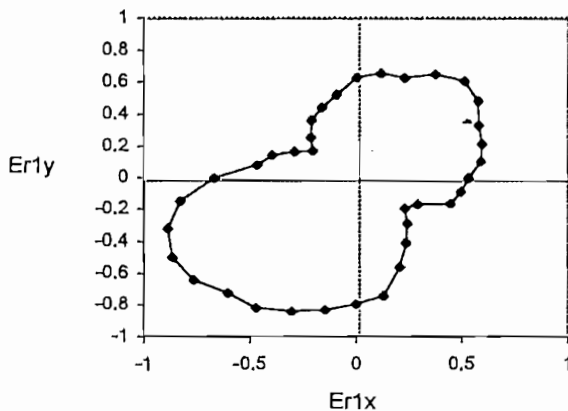


Cuadro A4.4 - 12B

GIRO								
GRAD	RAD	E1(dB)	E1x(dB)	E1y(dB)	Erl(dB)	Erl(lin)	Erlx(lin)	Ery(lin)
0	0	-29	-29	0	5.5	0.5308844	0.5308844	0
10	0.1745329	-28	-27.57462	-4.862149	4.5	0.5956621	0.5866127	0.103435646
20	0.3490659	-27.5	-25.84155	-9.405554	4	0.6309573	0.592906	0.215800121
30	0.5235988	-27	-23.38269	-13.5	3.5	0.6683439	0.5788028	0.334171959
40	0.6981317	-26	-19.91716	-16.71248	2.5	0.7498942	0.5744523	0.482022706
50	0.8726646	-25.5	-16.39108	-19.53413	2	0.7943282	0.5105843	0.60849073
60	1.0471976	-26	-13	-22.51666	2.5	0.7498942	0.3749471	0.649427435
70	1.2217305	-27	-9.234544	-25.3717	3.5	0.6683439	0.2285871	0.628037847
80	1.3962634	-27	-4.688501	-26.58981	3.5	0.6683439	0.1160567	0.658190272
90	1.5707963	-27.5	-1.68E-15	-27.5	4	0.6309573	3.865E-17	0.630957344
100	1.7453293	-29	5.0357972	-28.55942	5.5	0.5308844	-0.092187	0.522819117
110	1.9198622	-30	10.260604	-28.19078	6.5	0.4731513	-0.161827	0.444616747
120	2.0943951	-31	15.5	-26.84679	7.5	0.4216965	-0.210848	0.365199885
130	2.268928	-33	21.211991	-25.27947	9.5	0.3349654	-0.215312	0.256598413
140	2.443461	-35	26.811556	-22.49757	11.5	0.2660725	-0.203823	0.17102811
150	2.6179939	-33	28.578838	-16.5	9.5	0.3349654	-0.290089	0.16748272
160	2.7925268	-31	29.130471	-10.60262	7.5	0.4216965	-0.396265	0.144228699
170	2.9670597	-30	29.544233	-5.209445	6.5	0.4731513	-0.465963	0.082161854
180	3.1415927	-27	27	-3.31E-15	3.5	0.6683439	-0.668344	8.18821E-17
190	3.3161256	-25	24.620194	4.3412044	1.5	0.8413951	-0.828612	-0.146106733
200	3.4906585	-24	22.552623	8.2084834	0.5	0.9440609	-0.887127	-0.322887836
210	3.6651914	-23.5	20.351597	11.75	0	1	-0.866025	-0.5
220	3.8397244	-23.5	18.002044	15.105509	0	1	-0.766044	-0.64278761
230	4.0142573	-24	15.426903	18.385067	0.5	0.9440609	-0.606831	-0.723192588
240	4.1887902	-24	12	20.78461	0.5	0.9440609	-0.47203	-0.817580702
250	4.3633231	-24.5	8.3794935	23.022469	1	0.8912509	-0.304826	-0.83750193
260	4.5378561	-25	4.3412044	24.620194	1.5	0.8413951	-0.146107	-0.828612459
270	4.712389	-25.5	4.686E-15	25.5	2	0.7943282	-1.46E-16	-0.794328235
280	4.8869219	-26	-4.514853	25.605002	2.5	0.7498942	0.1302178	-0.738501631
290	5.0614548	-28	-9.576564	26.311393	4.5	0.5956621	0.2037285	-0.559739321
300	5.2359878	-30	-15	25.980762	6.5	0.4731513	0.2365756	-0.40976101
310	5.4105207	-32	-20.5692	24.513422	8.5	0.3758374	0.2415836	-0.287908155
320	5.5850536	-34	-26.04551	21.854779	10.5	0.2985383	0.2286936	-0.191896696
330	5.7595865	-33	-28.57884	16.5	9.5	0.3349654	0.2900886	-0.16748272
340	5.9341195	-30	-28.19078	10.260604	6.5	0.4731513	0.4446167	-0.161827261
350	6.1086524	-29.5	-29.05183	5.1226212	6	0.5011872	0.4935731	-0.08703025
360	6.2831853	-29	-29	7.106E-15	5.5	0.5308844	0.5308844	-1.30082E-16

CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES, CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL

Gráfico A4.4 - 12B

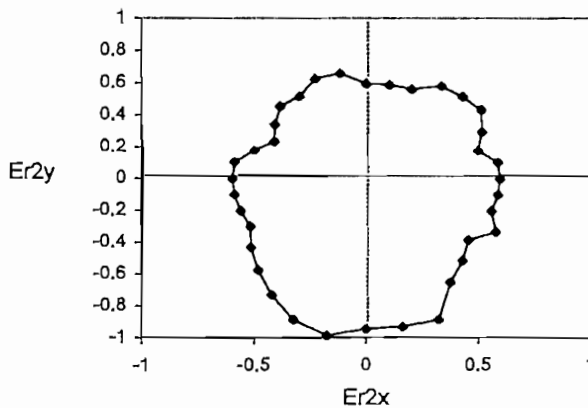


Cuadro A4.4 - 12C

GIRO		E2(dB)	E2x(dB)	E2y(dB)	Er2(dB)	Er2(lin)	Er2x(lin)	Er2y(lin)
GRAD	RAD							
0	0	-30	-30	0	4.5	0.5956621	0.5956621	0
10	0.1745329	-30	-29.54423	-5.209445	4.5	0.5956621	0.5866127	0.1034356
20	0.3490659	-31	-29.13047	-10.60262	5.5	0.5308844	0.4988682	0.1815732
30	0.5235988	-30	-25.98076	-15	4.5	0.5956621	0.5158585	0.2978311
40	0.6981317	-29	-22.21529	-18.64084	3.5	0.6683439	0.5119811	0.4296032
50	0.8726646	-29	-18.64084	-22.21529	3.5	0.6683439	0.4296032	0.5119811
60	1.0471976	-29	-14.5	-25.11474	3.5	0.6683439	0.334172	0.5788028
70	1.2217305	-30	-10.2606	-28.19078	4.5	0.5956621	0.2037285	0.5597393
80	1.3962634	-30	-5.209445	-29.54423	4.5	0.5956621	0.1034356	0.5866127
90	1.5707963	-30	-1.84E-15	-30	4.5	0.5956621	3.649E-17	0.5956621
100	1.7453293	-29	5.0357972	-28.55942	3.5	0.6683439	-0.116057	0.6581903
110	1.9198622	-29	9.9185842	-27.25109	3.5	0.6683439	-0.228587	0.6280378
120	2.0943951	-30	15	-25.98076	4.5	0.5956621	-0.297831	0.5158585
130	2.268928	-30	19.283628	-22.98133	4.5	0.5956621	-0.382884	0.4563037
140	2.443461	-31	23.747378	-19.92642	5.5	0.5308844	-0.406681	0.3412459
150	2.6179939	-32	27.712813	-16	6.5	0.4731513	-0.409761	0.2365756
160	2.7925268	-31	29.130471	-10.60262	5.5	0.5308844	-0.498868	0.1815732
170	2.9670597	-30	29.544233	-5.209445	4.5	0.5956621	-0.586613	0.1034356
180	3.1415927	-30	30	-3.68E-15	4.5	0.5956621	-0.595662	7.298E-17
190	3.3161256	-30	29.544233	5.2094453	4.5	0.5956621	-0.586613	-0.1034356
200	3.4906585	-30	28.190779	10.260604	4.5	0.5956621	-0.559739	-0.2037285
210	3.6651914	-30	25.980762	15	4.5	0.5956621	-0.515859	-0.2978311
220	3.8397244	-29	22.215289	18.640841	3.5	0.6683439	-0.511981	-0.4296032
230	4.0142573	-28	17.998053	21.449244	2.5	0.7498942	-0.482023	-0.5744523
240	4.1887902	-27	13.5	23.382686	1.5	0.8413951	-0.420698	-0.7286696
250	4.3633231	-26	8.8925237	24.432008	0.5	0.9440609	-0.322888	-0.887127
260	4.5378561	-25.5	4.4280285	25.112598	0	1	-0.173648	-0.9848078
270	4.712389	-26	4.778E-15	26	0.5	0.9440609	-1.73E-16	-0.9440609
280	4.8869219	-26	-4.514853	25.605002	0.5	0.9440609	0.1639345	-0.9297185
290	5.0614548	-26	-8.892524	24.432008	0.5	0.9440609	0.3228878	-0.887127
300	5.2359878	-28	-14	24.248711	2.5	0.7498942	0.3749471	-0.6494274
310	5.4105207	-29	-18.64084	22.215289	3.5	0.6683439	0.4296032	-0.5119811
320	5.5850536	-30	-22.98133	19.283628	4.5	0.5956621	0.4563037	-0.3828842
330	5.7595865	-29	-25.11474	14.5	3.5	0.6683439	0.5788028	-0.334172
340	5.9341195	-30	-28.19078	10.260604	4.5	0.5956621	0.5597393	-0.2037285
350	6.1086524	-30	-29.54423	5.2094453	4.5	0.5956621	0.5866127	-0.1034356
360	6.2831853	-30	-30	7.351E-15	4.5	0.5956621	0.5956621	-1.46E-16

**CAMPO ELECTRICO RELATIVO (DOS ANTENAS HELICOIDALES) TRANSVERSALES,
CON CODO, CON ANTENA TX VERTICAL**

Gráfico A4.4 - 12C



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- JASIK, Henry, Antenna Engineering Handbook, First Edition, McGraw-Hill Book Company, 1961.
- JORDAN, Edward/ BALMAIN, Keith, Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes, Segunda Edición, 1978.
- JOHNSON, R.ichard/ JASIK, Henry, Antenna Engineering Handbook, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, 1984.
- Dirección General de Aviación Civil, Escuela Técnica de Aviación Civil, Antenas y Diagramas de Radiación.
- KRAUS, John, Antennas, McGraw-Hill Book Company, 1950.
- E.P.N., Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Telecomunicaciones, Hojas Guías de Laboratorio de Líneas de Transmisión y Guías de Onda, Quito, 1989.
- SHELKUNOF, S.A., Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape, Proc. IRE, Vol. 29, Sept. 1941.
- SINGER, Bertrand B., Fundamentos de Matemáticas para Electricidad y Electrónica, McGraw-Hill Book Company, Segunda Edición, 1966.
- American Radio Relay League, The ARRL Antenna Book, 15th Edition.
- American Radio Relay League, The Radio Amateur's Handbook, The Standard Manual of Amateur Radio Communication, 42nd Edition, 1965.
- KRAUS, John Daniel, Electromagnetismo, Segunda Edición, 1974.
- DUHAMEL, R.H./ ORE, F.R., Logarithmically Periodic Antenna Designs, IRE, 1958.
- DYSON, J.D., The Equianqular Spiral Antenna, TR, Illinois, Septiembre de 1957.
- RUMSEY, V.H., Frecuency Independent Antennas, Illinois, Octubre de 1957.
- KING, R., The Theory of Linear Antennas, Harvard U. Press, 1956.
- SMITH Carl, Log Periodic Antenna Design Handbook, Smith Electronics, 1979.

- SCHRANK, Hal, Antenna Designer's Notebook, IEEE Antennas and Propagation Society Newsletter, June 1985.
- E.P.N., Facultad de Ingeniería Eléctrica, Introducción a Quick Basic 4.5, Quito, 1992.
- TERMAN, Frederick E., Ingeniería Electrónica y de Radio, Editorial Arbó S.A.C. e I., Cuarta Edición, 1977.
- Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computer and Communications. SAMS, Seventh edition, 1985.
- CABLEC, Catálogo de Conductores Eléctricos.
- LEIVA Z., Francisco, Nociones de Metodología de Investigación Científica, Segunda Edición, Quito 1980.