Tesis Nro. ELEC-44

ESCUELA SUPERIOR

POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION CON DISTINTOS MODOS Y ANTENAS EN EL TERRITORIO ECUATORIANO"

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION ELECTRONICA

PRESENTADA POR:

ISIDRO L. GUTIERREZ SUAREZ

GUAYAQUIL — ECUADOR
1986

AGRADECIMIENTO

AL ING. PEDRO CARLO, DIRECTOR DE TESIS POR LA AYUDA DECIDIDA EN EL DESARROLLO Y CULMINACION DE ESTE TRABAJO.

AL ING. CARLOS VALERO, POR LA ASESORIA EN EL DESARROLLO DE LA PROGRAMACION.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MIS PADRES

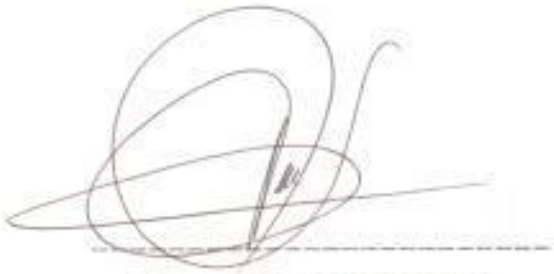
A MIS HERMANOS

ING. GUSTAVO BERMUDEZ F.

SUB-DECANO DE LA FACULTAD
DE ING. ELECTRICA

ING. PEDRO CARLO

DIRECTOR DE TESIS



ING. CARLOS BECERRA

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. CARLOS VILLAFUERTE

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

" LA RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**"

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA **ESPOL**)

ISIDRO L. GUTIERREZ SUAREZ

R E S U M E N

Este trabajo comprende el cálculo de propagación de antenas a través de su patrón de radiación, considerando su posición geográfica y la topografía del Territorio Ecuatoriano.- El cálculo involucra la consideración de varios tipos de antenas y se tienen tres opciones de cálculo:

(1) Propagación en un área determinada no mayor de 50 KM por lado,

(2) Propagación en una dirección determinada, la de la antena receptora por ejemplo, y

(3) Cálculo de puntos donde se presenta un nivel de intensidad de campo igual a un valor determinado (tolerancia +-5%).

Debido a que la información topográfica del territorio Ecuatoriano es extensa (unidad de referencia cuadrículas de 250 metros por lado), y a la complejidad y cantidad de los cálculos necesarios, se utiliza el sistema 4341 del centro de cómputo de la Politécnica (CESERCOMP).

Este trabajo por tanto contribuirá en el desarrollo y aplicación de los programas de estudios del área de Comunicaciones y Antenas como un complemento para la teoría dictada, mediante resultados prácticos y reales.-

INDICE GENERAL

PAG.

RESUMEN VI

INDICE GENERAL VII

INDICE DE FIGURAS X

INTRODUCCION 13

CAPITULO 1.- CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS DE ANTENAS.

1.1.- BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS ANTENAS... 17
1.2.- TEOREMAS CONSIDERADOS EN PROBLEMAS DE ANTENAS.. 23
1.2.1.- TEOREMA DE SUPERPOSICION..... 25
1.2.2.- TEOREMA DE THEVENIN'S..... 25
1.2.3.- TEOREMA DE TRANSFERENCIA DE MAXIMA POTENCIA..... 27
1.2.4.- TEOREMA DE LA COMPENSACION..... 27
1.2.5.- TEOREMA DE LA RECIPROCIDAD..... 28
1.2.6.- IGUALDAD EN PATRONES DIRECCIONABLES..... 32
1.2.7.- EQUIVALENCIA DE IMPEDANCIA DE ANTENAS PARA TRANSMISION/RECEPCION..... 34
1.2.8.- IGUALDAD DE LONGITUD EFECTIVA..... 36

CAPITULO 2.- PROPAGACION DE ONDAS.

2.1.- CONSIDERACIONES GENERALES..... 40
2.2.- REFLEXION EN EL PLANO DE LA TIERRA..... 42
2.3.- ONDA DE SUPERFICIE Y ONDA DEL ESPACIO..... 54
2.4.- LA ONDA DE SUPERFICIE..... 64
2.5.- ANTENAS ELEVADAS SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE. 73
2.6.- PROPAGACION SOBRE LA SUPERFICIE ESFERICA DE LA TIERRA..... 81

PAG.

CAPITULO 3.- TIPOS DE ANTENAS Y SUS CARACTERISTICAS.

3.1.- FUENTES PUNTUALES..... 86
3.2.- PATRONES DE POTENCIA..... 88
3.3.- DIPOLO ELECTRICO..... 92
3.3.1.- DIPOLO ELECTRICO CORTO..... 92
3.3.2.- ANTENAS DE DIPOLOS..... 95
3.3.3.- DIPOLO DE MEDIA ONDA..... 99
3.4.- ARREGLOS DE ANTENAS..... 102
3.5.- ANTENAS YAGI..... 109
3.6.- ANTENAS LOG-PERIODICAS..... 116

CAPITULO 4.- PROGRAMA DE RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION.

4.1.- CONSIDERACIONES GENERALES..... 124
4.2.- DESCRIPCION GENERAL DE PROCESOS..... 128
4.3.- PROCESO DE CONSULTA/ACTUALIZACION DE ARCHIVOS TOPOGRAFICOS..... 131
4.4.- PROCESOS DE CALCULOS DE PROPAGACION..... 133
4.4.1.- PROPAGACION EN UN AREA DETERMINADA..... 136
4.4.2.- PROPAGACION EN DIRECCION DE ANTENA RECEPTORA..... 138
4.4.3.- PUNTOS GEOGRAFICOS QUE PRESENTAN IGUAL NIVEL DE INTENSIDAD DE CAMPO..... 140
4.5.- PROCESOS DE IMPRESION..... 142
4.5.1.- IMPRESION DE DATOS DE ARCHIVOS TOPOGRAFICOS..... 144
4.5.2.- IMPRESION DE RESULTADOS DE CALCULOS DE RADIACION..... 145
4.6.- RUTINAS ESPECIALES..... 146

CAPITULO 5.- OPERATIVO PARA UTILIZACION DE PROGRAMAS.

5.1.- AMBIENTE: HARDWARE Y SOFTWARE..... 150
5.2.- PROCEDIMIENTOS PARA CREACION DE ARCHIVOS..... 151
5.3.- PROCEDIMIENTOS PARA UTILIZAR PROGRAMA DE INGRESO Y ACTUALIZACION DE DATOS..... 153
5.4.- PROCEDIMIENTO PARA UTILIZACION DE PROGRAMA DE CALCULO DE PROPAGACION..... 156

PAG.

5.5.- INTERPRETACION DE INFORMACION OBTENIDA COMO RESULTADO..... 158

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 160

APENDICES 164

A.- LISTA DE PROCEDIMIENTOS, PROGRAMAS Y FORMATOS DE PANTALLAS..... 165
B.- FORMATOS DE PANTALLAS UTILIZADOS (MENUS)..... 167
C.- LISTADO DE CONTENIDO DE PROCEDIMIENTOS..... 177
D.- RESULTADOS DE CALCULOS DE RADIACION..... 194
D.1.- EN AREA..... 195
D.2.- EN UNA DIRECCION..... 202
D.3.- PUNTOS CON NIVEL DE INTENSIDAD DE CAMPO SOLICITADO..... 203
E.- SIMBOLOGIA UTILIZADA..... 209
F.- ARCHIVOS UTILIZADOS..... 210

BIBLIOGRAFIA 211

INTRODUCCION

La determinación del patrón de radiación de una antena normalmente involucra la consideración de cálculos complejos, se necesita considerar muchos parámetros, además es muy importante considerar la topografía del terreno para que así se pueda encontrar el punto más óptimo para su instalación.

Esta selección del punto más óptimo para la instalación depende de la eficiencia y exactitud de los cálculos mencionados al inicio, siendo adicionalmente importante conocer su trayectoria más apropiada para que la señal llegue a su destino y el nivel de intensidad con el que llega, de tal manera que el punto o antena receptora pueda recibir la señal en forma comprensible. También es muy importante conocer tanto en la teoría como en la práctica hasta que puntos del área exterior a la antena su potencia transmitida llega a tener un nivel determinado y así posiblemente conocer el alcance de la antena en un área alrededor de ella.

Es fácil entender que para lograr estos puntos anotados el cálculo se vuelve complejo, tedioso y extenso cuando

se lo hace en forma manual. Es esta una de las razones por las cuales este trabajo ha sido realizado, pues pretende lograr los siguientes objetivos:

. Situar una antena en un punto determinado del territorio ecuatoriano y calcular su patrón de radiación.
. El cálculo del patrón de radiación se puede realizar para varios tipos de antenas, en este caso los más conocidos y utilizados.
. El cálculo se lo realiza no solamente en un área determinada alrededor de la antena, sino también en una dirección determinada, normalmente la dirección y trayectoria hacia el punto de la antena receptora, y también el cálculo de puntos alrededor de la antena que cumplen un nivel de intensidad de campo determinada.
. Para que el cálculo sea exacto se considera la topografía del terreno, en este caso nuestro territorio ecuatoriano, mediante el almacenamiento de las alturas topográficas en un medio magnético que permite un amplio margen de capacidad de almacenamiento de datos.

Para lograr estos objetivos este trabajo se divide en dos partes: uno teórico y otro práctico mediante el diseño de un sistema de información computarizado.

La parte teórica pretende involucrar los conceptos más utilizados en la teoría de antenas y los análisis teóri-

cos que permiten describir el problema en forma analítica y llegar a una conclusión en base a parámetros y relaciones entre ellos (fórmulas), lo cual permite finalmente utilizar el procesamiento de datos a través de un computador para lograr datos exactos y reales.

La parte práctica como ya se ha dicho, involucra el análisis, diseño, programación e implementación de un sistema de información en una computadora que permite lograr los resultados previstos en el análisis teórico y que sea fácil de manejar por parte de los usuarios que pretendan utilizarlo.

Lo que no se pretende con este trabajo es el de realizar un análisis de resultados para determinar el punto más óptimo para colocar una antena, pues este análisis no se lo podría mecanizar, por cuanto involucra la integración de muchos parámetros que no pueden ser cuantificados. Normalmente este trabajo de análisis de resultados los realiza el profesional en la materia cuando quiere instalar una antena en un punto geográfico determinado, y en este caso este trabajo le ofrece las herramientas necesarias para que se pueda decidir sobre la solución más óptima.

C A P I T U L O I

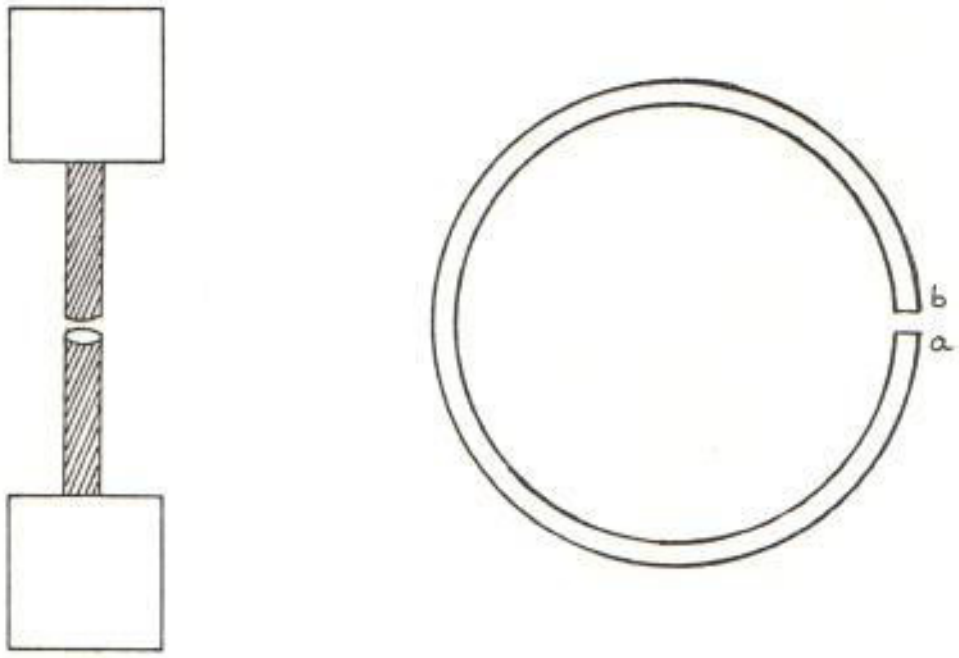
CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

DE

ANTENAS

1.1.- BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS ANTENAS.-

Las primeras antenas fueron empleadas por Hertz en 1887 en su demostración clásica de las ondas electromagnéticas que habían sido descritas anteriormente por Maxwell. La forma de una de estas antenas se observa en la figura 1.- Consistía en dos platos llanos, de 40 cm2, cada uno conectado a una varilla de 30 cm de longitud.- Las varillas terminan en sus extremos en pequeñas



(a) Antena Transmisora de Hertz

(b) Antena Receptora de Hertz

Figura.- 1.

bolas alineadas con un espacio para chispa entre ellas de 7 mm. de longitud. El espacio de chispa es excitado por una bobina de inducción. Hoy esta antena sería denominada un dipolo cargado de capacitividad, aunque en la tecnología actual la carga sería acompañada de un arreglo físico diferente de los platos.- La antena receptora de Hertz fue un lazo circular de alambre entrecortado por un espacio microscópico.- El radio del lazo era de 35 cm., una dimensión que ha sido calculada por experimentos para poner al lazo en resonancia con el transmisor.- Hertz más tarde colocó su antena de varillas en el plano focal de un espejo cilíndrico.

Ocho años más tarde después de los trabajos de Hertz,un profesor Popoff de Kronstadt estuvo dedicado en el estudio de la electricidad atmosférica y en conexión con este estudio, él colocó una antena receptora, consistente en varilla metálica, sobre su casa.- El receptor coherente fue conectado entre una varilla y la tierra.

En 1897, Marconi describió un sistema completo para telegrafía sin hilos.- En este sistema un terminal del transmisor fue conectado a un alambre elevado y el otro terminal fue conectado a la tierra.- Aparentemente, Marconi fue el primero en descubrir la importancia de

la elevación para la antena transmisora.

La antena transmisora para la primera comunicación transatlántica sin hilos (desde POLDHU en CORNWALL hasta NEWFOUNDLAND, en 1901) fue una estructura vertical como abanico consistente de 50 alambres de cobre verticales soportados por un alambre horizontal (fig. 2).- El alambre horizontal fue templado entre dos mástiles de alrededor de 150 pies de altura y de 200 pies de distancia de separación.-

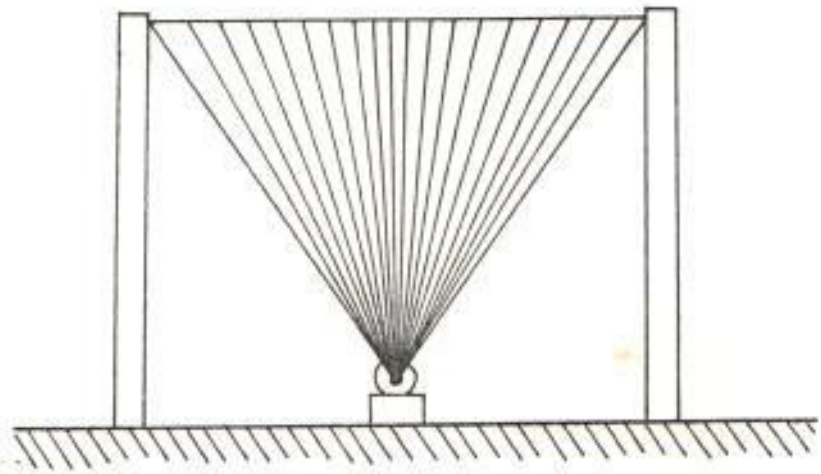


Fig.2.- Primera antena transatlántica de Marconi (1901).

La antena receptora de NEWFOUNDLAND fue soportada por cometas.- En 1907, servicios de telegrafía comercial fueron establecidos, y las ventajas de las antenas cargadas en lo alto fue ampliamente reconocido.- La frecuencia de operación de estos primeros sistemas de comunicación fue

usualmente en el rango de 50 a 100 Khz , y consecuentemente las antenas eran pequeñas comparadas con la longitud de onda.

A diferencia de los transmisores de hoy,las antenas que fueron empleadas en los primeros sistemas generalmente influenciaron fuertemente la frecuencia de operación.No es sorpresa por tanto que el punto de vista de los teóricos fue algo diferente de lo práctico.- Una de las primeras memorias sobre el tema fue la de ABRAHAM (1898), quien, en extensión de algunos trabajos iniciales sobre esferas por J.J.THOMSON, estudió las oscilaciones naturales de un esferoide de conducción.- El determinó las frecuencias naturales y calculó los campos de un dipolo de media onda.

Hertz estudió por sí solo los campos de dipolos de puntos.- Su trabajo fue continuado por SOMMERFELD y otros, y en 1914, los estudios y conceptos de Hertz fueron empleados extensivamente en los cálculos de los patrones de radiación de fuentes conocidas.- Adicional, los teoremas de POYNTING'S han sido empleados para calcular la potencia total radiada de la antena, al igual que sus resistencias de radiación.

El interés en antenas de longitud resonante

(dipolos de media longitud de onda o monopolos sobre la tierra de un cuarto de longitud de onda) comenzó alrededor de 1920 después del descubrimiento sobre el tubo triodo de DE FOREST que podía producir oscilaciones contínuas de ondas a frecuencias altas (cientos o sobre los miles de kilohertz).- A estas altas frecuencias, llega a ser práctico construír antenas de longitudes resonantes ó arreglos pares de éstos.- Alrededor de 1930, la teoría y práctica de arreglos lineales simples había sido desarrollada y aplicada a transmisores de radio para control de interferencia.

Así mismo como las antenas, que fueron del orden de una longitud de onda, llegaron a utilizarse, la necesidad para un mejor entendimiento de la interacción de las antenas con las líneas de transmisión y transmisores fue creciendo con gran presión.- Contribuciones sobresalientes en esta materia fueron hechas por J.R. CARSON (1930) quien presentó una generalización de el teorema de reciprocidad, y por P.S.CARTER (1932) quien publicó definiciones y cálculos de la impedancia terminal de antenas.- Más tarde en los años 30 el tratamiento de la antena como un problema de valor de frontera electromagnético fue revivido.- KING Y HALLEN (1937-1938) formularon el problema de antena-lineal, como una ecuación

integral.- STRATTON Y CHU (1941) emplearon un modelo esferoidal para la antena lineal y dedujeron algunas de sus propiedades mediante las funciones de orden esferoidales.- Quizás el modelo más sobresaliente fue introducido por SCHELKUNOFF (1941).- De acuerdo a su modelo inicial la antena de alambres rectos fue considerado como un caso limitante de una antena bicónica de corneta .- Con este modelo, las soluciones pueden ser expresadas en coordenadas esféricas.

En la mitad de los treinta, una nueva rama de la tecnología de antenas comienza a desarrollarse.- El desarrollo fue manejado al igual que el desarrollo de generadores en el campo de frecuencias de microondas y la utilización de conductores metálicos como guías de ondas.- Estas guías de ondas eran abiertas como cornetas, un paso natural por analogía en el correspondiente problema acústico.- Más tarde, ranuras irradiantes fueron introducidas dentro de las paredes de la guía de ondas.

Todavía más tarde, los requerimientos de la Segunda Guerra Mundial para antenas especiales de alta ganancia condujo al desarrollo de grandes reflectores y lentes parabólicos (la materia general de la óptica de microondas).- Schelkunoff (1943) también publicó una

generalización de la teoría de arreglos lineales.

1.2 TEOREMAS CONSIDERADOS EN PROBLEMAS DE ANTENAS.-

Por su naturaleza la profesión de ingeniería no puede contentarse sólo con la teoría sino que también debe basarse en la práctica, sin embargo se debe aplicar el conocimiento teórico para la solución práctica de problemas.- En el campo de antenas esta transición desde la teoría a la práctica es facilitado por el conocimiento de las propiedades básicas de las antenas, así como el papel que tiene el elemento antena en el sistema total.- Muchos problemas prácticos pueden ser resueltos usando solamente los conceptos más simples.

Las propiedades más importantes de una antena son sus características de direccionabilidad, incluyendo la ganancia y polarización de la directividad, y su impedancia.- A pesar de que estas características se determinan para la antena como un elemento de transmisión los resultados también se mantienen para la recepción (Teorema de Reciprocidad).

En la teoría de circuitos ciertos teoremas de redes han sido utilizados en la solución de muchos grandes problemas.- La válidez de estos teoremas es basado sobre

la linearidad y/o el bilateralismo de las redes.- En la teoría del campo electromagnético la solución de cualquier problema de antenas puede obtenerse (al menos en teoría) con la aplicación de las ecuaciones de Maxwell y en las apropiadas condiciones de fronteras o límites.- Las ecuaciones de campo por sí mismo son lineales y las constantes del medio (μ, ϵ y σ) involucradas son verdaderamente "constantes", esto es, no varían con la magnitud de la señal (linearidad) ni con la dirección (bilateralismo), los mismos teoremas pueden ser aplicados.- La utilidad de tales teoremas en los trabajos de antena es evidenciado por el efecto que con su ayuda fácilmente todas las propiedades de la antena receptora pueden ser deducidas a partir del conocimiento de las propiedades de transmisión de la misma antena.-
Algunos de los teoremas que son más comunmente utilizados en problemas de antenas vamos a describir a continuación.

1.2.1. TEOREMA DE SUPERPOSICION

En una red de generadores de impedancia lineal, la corriente que fluye en cualquier punto es la suma de las corrientes que fluirían si cada generador fuera considerado separadamente y los otros generadores serían reemplazados a la vez por impedancias iguales a sus impedancias internas.- Este principio fundamental resulta directamente de la linearidad de las leyes de Ohm y las ecuaciones de campos.- Cuando una red de impedancias es lineal, un incremento dado de voltaje produce un incremento en corriente, esto es independiente de la magnitud de la corriente que ya esta fluyendo. Asi el efecto de cada generador puede ser considerado separadamente e independientememte de sí o no otros generadores están actualmente generando.

En el caso de antenas el concepto de Superposición para los componentes de potencias es dado para el espacio libre, pero se mantiene en el campo cercano asi como en el campo distante o lejano.

1.2.2. TEOREMA DE THEVENIN'S

Si una impedancia Zr es conectada entre dos terminales cualesquiera de una red lineal conteniendo uno o más generadores, la corriente que fluye através de Zr

será la misma que se obtendría si Zr fuera conectado a un generador simple cuyo voltaje generado es el voltaje de circuito abierto que aparece en los terminales en cuestión y cuya impedancia es la impedancia de la red mirando desde atrás de los terminales, con todos los generadores reemplazados por impedancias iguales a la impedancia terminal de estos generadores.

Este teorema se origina del principio de superposición.- Para la aplicación de este teorema en el caso de antenas se obtiene lo que se denomina el "equivalente de Thevenin", el cual puede ser calculado así: (1) encontrando el voltaje de circuito abierto de los terminales de la antena y (2) encontrando la impedancia mirando dentro de los terminales de la antena con la fuente primaria (transmisor distante) desconectada.

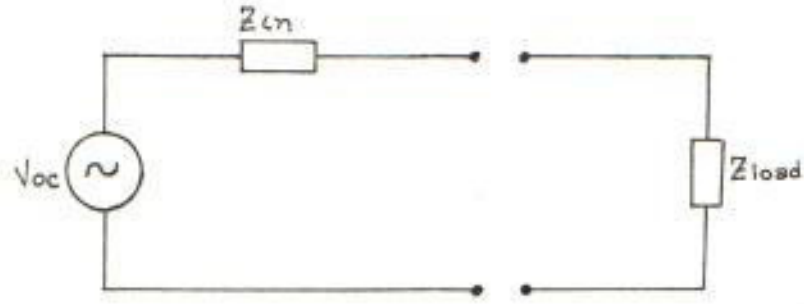


Fig. 3.- Circuito equivalente de Thevenin para antena receptora.- **Zin** = impedancia de entrada de

antena receptora si estuviera operando como un transmisor.- **Zload** = impedancia del sistema receptor en los terminales de entrada de la antena receptora.

1.2.3. TEOREMA DE TRANSFERENCIA DE MAXIMA POTENCIA

Una impedancia conectada a dos terminales de una red absorverá la máxima potencia de la red cuando la impedancia es igual a la conjugada de la impedancia vista mirando de atrás dentro de la red desde los dos terminales.

COROLARIO: La máxima potencia que puede ser absorvida desde una red es igual a $V_{oc}^2/4R$, donde Voc es el voltaje de circuito abierto en los terminales de salida y R es el componente de resistividad de la impedancia mirando de atrás desde los terminales de salida.

1.2.4. TEOREMA DE LA COMPENSACION

Cualquier impedancia en una red puede ser reemplazada por un generador de impedancia interna igual a cero, cuyo voltaje generado en cada instante es igual a la diferencia de potencial instantánea que existe a través de

la impedancia debida al flujo de corriente a través de ella.

1.2.5. TEOREMA DE LA RECIPROCIDAD

En un sistema compuesto de impedancias lineales bilaterales, si un voltaje V es aplicado entre cualesquiera de los dos terminales y la corriente I es medida en cualquier rama, la razón de V sobre I, llamado la impedancia de transferencia, será la misma como la razón de V sobre I obtenida cuando las posiciones de generador y medidor son intercambiadas.

En lo indicado anteriormente el generador y el medidor se asume tienen impedancia cero.- Puede ser fácilmente demostrable que el teorema también se mantiene si el generador y el medidor tienen impedancia iguales.- Una forma particularmente util del teorema resulta cuando las impedancias del generador y el medidor son muy grandes ($Zg = Zm \Rightarrow \infty$).- El generador entonces llega a ser una fuente de corriente constante y el medidor llega a ser un voltímetro de impedancia infinita.- El teorema de reciprocidad entonces establece que si una corriente es aplicada a un par de terminales y el voltaje de circuito abierto es medido en un segundo par de terminales, la razón del voltaje a la corriente permanece el mismo cuando

las posiciones de fuentes de corrientes y voltímetros son intercambiados.

El teorema de reciprocidad es uno de los más poderosos teoremas tanto en la teoría de circuitos como en la teoría de campos. Fue originalmente establecido por Rayleigh en una forma algo similar a lo indicado anteriormente.

El concepto de reciprocidad puede ser aplicado directamente para deducir algunas de las propiedades terminales de las antenas.- Supongamos que un sistema de antenas que tiene "pares terminales" o "puertas", como se muestra en fig. 4, por ejemplo, las puertas podrían ser los terminales de los dipolos.

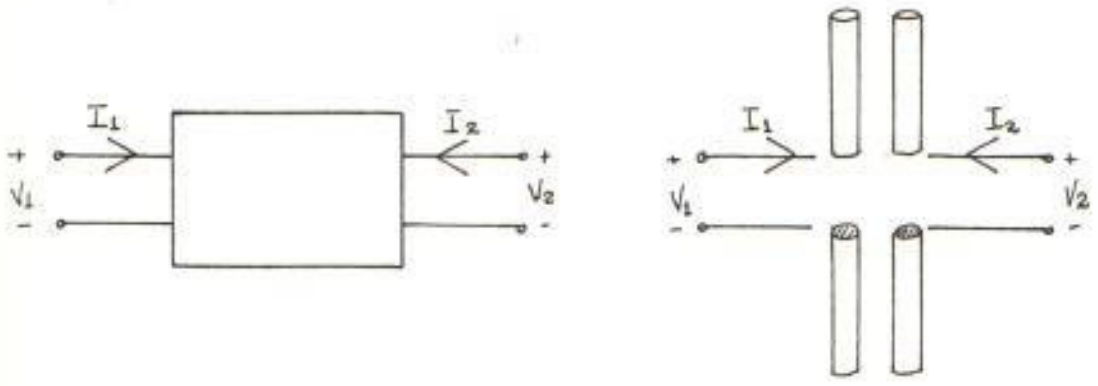


Figura 4.- Sistemas de antenas como circuitos

La teoría de circuitos para sistemas lineales nos dice que los voltajes y las corrientes son relacionados

por las ecuaciones:

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \qquad I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$
$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \quad \text{o por} \quad I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

El teorema de reciprocidad nos indica que:

$$\text{(a) } Z_{21} = Z_{12} \text{ ó (b) } Y_{21} = Y_{12} \text{ ó (c) } Z'_{21} = Z'_{12}$$

Estas relaciones son equivalentes pero diferentes del teorema de reciprocidad para circuitos.- Z_{12} y Z_{21} son "impedancias mutuales" del circuito; $Z_{12} = V_1/I_2$ es la medida del voltaje de circuito abierto producido através de los terminales (1) por la corriente I_2 en terminales (2).- Y_{12}, Y_{21} son las "admitancias de transferencia" y Y_{12} es una medida de la corriente de corto circuito en los terminales (1) producido por el voltaje V2 en los terminales (2).- Z'_{12}, Z'_{21} son las "impedancias de transferencia"; $Z'_{12} = V_1/I_2$ es la razón de el voltaje aplicado en los terminales (1) a la corriente através de terminales (2) cuando son cortocircuitados. Asi $Z'_{12} = 1/Y_{21}$ y $Z'_{21} = 1/Y_{12}$.

El teorema de reciprocidad puede ser demostrado como sigue, con referencias al par de dipolos de fig.4.- Conociendo los casos indicados por apóstrofes (') y doble apóstrofes (''); el primer caso teniendo los terminales de

la antena (2) en corto y un voltaje V'_1 aplicado a la antena (1) y el segundo caso teniendo los terminales de la antena (1) en corto y un voltaje V''_2 aplicado a la antena (2).- En el primer caso $I'_2 = Y_{21} V'_1$ y en el segundo caso $I''_1 = Y_{12} Y''_2$.- Si $Y_{21} = Y_{12}$, podemos deducir que:

$$\frac{V'_1}{I'_2} = \frac{V''_2}{I''_1} \qquad (b)$$

Lo cual es la forma de la definición de reciprocidad para redes aplicado directamente a las antenas.- El teorema de reciprocidad es una herramienta potente y útil en la teoría de circuitos y de campos, y muchos corolarios han sido derivados de él.- Algunos de estos corolarios, especialmente aquellos concernientes a la reciprocidad de potencias, han sido derivados bajo especiales condiciones.- Si se aplican en circunstancias donde estas condiciones especiales son violadas, los corolarios pueden fallar.- El teorema de reciprocidad por si mismo es perfectamente general, y da la respuesta correcta siempre y cuando solamente circuitos o medios lineales bilaterales son involucrados.

ecec-44

1.2.6. IGUALDAD EN PATRONES DIRECCIONALES

El patrón direccional de una antena receptora es idéntico a su patrón direccional como una antena transmisora.

Este teorema es el resultado directo de una aplicación del teorema de reciprocidad.- El patrón direccional de una antena transmisora es la característica polar que indica la potencia del campo radiado a una distancia fija en diferentes direcciones en el espacio.- El patrón direccional de una antena receptora es la característica polar que indica la respuesta de una antena a la potencia unitaria del campo desde diferentes direcciones.- El patrón de una antena transmisora puede ser medido como se indica en la fig.5, mediante un conocido dipolo explorador corto situado sobre la superficie una larga esfera centrada en la antena bajo prueba.-

FIGURA. 5

Para el caso de polarización lineal, el dipolo explorador es siempre orientado a ser perpendicular al radio vector y paralelo al vector eléctrico. Un voltaje V es aplicado a la antena a ser probada, y la corriente I fluyendo en la antena de dipolo corto será una medida del campo eléctrico en la posición de la antena de dipolo.- Si entonces el voltaje V es aplicado al dipolo y la corriente en la antena bajo prueba es medida, el patrón receptor de la antena de prueba puede ser obtenido.- Según el teorema de reciprocidad, para cada localización de la antena de prueba, la razón V sobre I es la misma.

Así el patrón de radiación para una antena receptora será idéntica con el patrón para una antena transmisora.

Cuando la antena bajo prueba radía una onda polarizada elípticamente, esto es, cuando la potencia del campo eléctrico radiado tiene dos componentes, E_θ y E_ϕ, que no están en fase de tiempo, los patrones de radiación para la polarización en θ y para la polarización en ϕ se muestran separadamente. El patrón para la particular polarización especificada es obtenida manteniendo el dipolo explorador paralelo a esa polarización.- Si seguimos de esta forma para cada polarización los patrones para transmisión y recepción serán los mismos.

1.2.7. EQUIVALENCIA DE IMPEDANCIA DE ANTENAS PARA TRANSMISION-RECEPCION

La impedancia de una antena aislada cuando es utilizada para recepción es la misma que cuando es utilizada para transmisión.

Este teorema es particularmente fácil de demostrarlo para el caso de dos antenas las cuales están ampliamente separadas.- Si la antena (2) esta lejana de la antena (1), la auto-impedancia Z_{s1} de la antena (1) es dada por:

$$Z_{s1} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11}$$

Debido a la amplia separación de las dos antenas, la impedancia mutua Z_{12} puede ser ignorada cuando la antena (1) es utilizada para transmisión.- Sin embargo, cuando la antena (1) es utilizada para recepción, Z_{12} no puede ser ignorada por cuanto provee el acoplamiento entre las dos antenas.- Para este caso se puede considerar una impedancia de carga Z_2 unida a la antena (1) y también se puede representar el voltaje $Z_{12} I_2$ como un generador, mostrado en el circuito equivalente de fig.6.- Si las dos antenas estan ligeramente apartadas, la variación de Z_2 no puede causar la variación de I_2 y así el generador

(Fig. 6) se comporta como una impedancia cero ideal, generador de voltaje constante.- Bajo estas condiciones, la antena (1) aparece como el comportamiento terminal de un generador con impedancia interna Z 11 y así la impedancia de recepción es igual a la impedancia de transmisión.

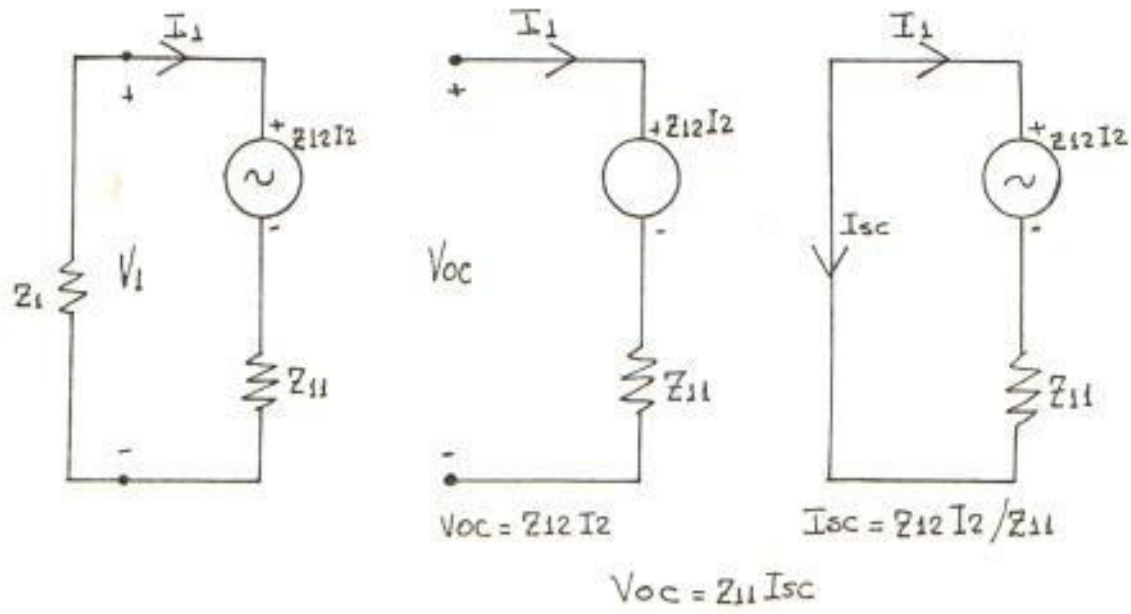


FIG.6.- Circuito equivalente de una antena receptora bajo carga, en condiciones de circuito abierto y corto circuito.

La discusión anterior para una antena distante se aplica también a cualquier número de antenas que se encuentran lejanos de la antena cuya impedancia está siendo considerada. Si las otras antenas están

suficientemente cerradas tal que la impedancia mutual no es legible (comparada con la impedancia misma), entonces la impedancia de recepción sería la auto-impedancia de la antena más la impedancia de acoplamiento debido a la presencia de las otras antenas.- Sin embargo, bajo éstas condiciones la igualdad de las impedancias de recepción y transmisión se mantendrían si en el caso de transmisión de los otros radiadores son dejados en posición y conectados a impedancias iguales a la impedancia de los generadores que los excitaron.

1.2.8. IGUALDAD DE LONGITUD EFECTIVA

La longitud efectiva (leff) de una antena es un termino utilizado para indicar la efectividad de la antena como un radiador o como un colector de energía electromagnética.- El significado del término aplicado a las antenas transmisoras es ilustrado en fig.7.- La longitud efectiva de una antena transmisora es aquella longitud de una antena lineal equivalente que tiene una

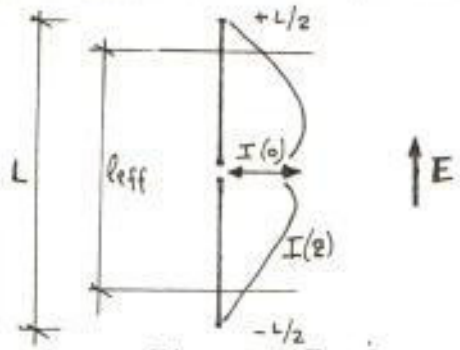


Figura. 7

corriente I(0) en todos los puntos a lo largo de su longitud y que radia la misma potencia de campo como la antena original en la dirección perpendicular a su longitud.- I(0) es la corriente en los terminales de la antena original.- Esto es para la transmisión:

$$I(0)\, \ell_{eff}\,(Transm.) = \int_{-L/2}^{+L/2} I(z)dz$$

ó

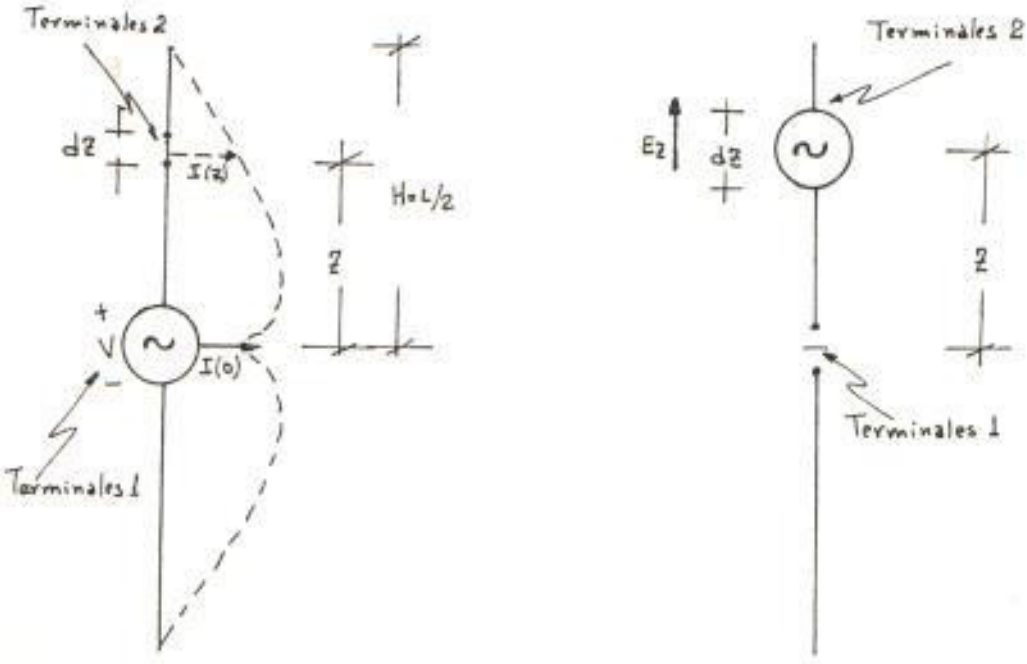
$$\ell_{eff}\,(Transm) = \frac{1}{I(0)} \int_{-L/2}^{+L/2} I(z)dz \qquad (1)$$

La longitud efectiva de una antena receptora es definida en términos del voltaje de circuito abierto desarrollado en los terminales de la antena para una potencia de campo recibida dada E.- Esto es, para recepción:

$$\ell_{eff}\,(recepción) = -\frac{Voc}{E} \qquad (2)$$

donde Voc es el voltaje de circuito abierto en los terminales de la antena producido por el campo excitante uniforme E en voltios por metro paralelo a la antena.- (El signo menos - es utilizado conforme con la polaridad convencional marcada).

La igualdad de las longitudes efectivas de transmisión y recepción puede ser deducido aplicando el teorema de la reciprocidad a los dos casos, como lo muestra la figura 8:



(a) Transmisión (b) Recepción

FIGURA 8

C A P I T U L O II

PROPAGACION

DE

ONDAS

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La energía radiada desde una antena transmisora puede alcanzar la antena receptora sobre alguna de muchas posibles trayectorias de propagación, alguno de los cuales son ilustrados en fig.9.- Las ondas que llegan al receptor después de la reflexión o dispersión en la ionósfera son conocidas como "ondas de cielo" o alternativamente, como ondas "ionosféricamente reflejadas" e "ionosféricamente dispersadas".- Las ondas que son reflejadas o dispersadas en la tropósfera (aquella región de la atmósfera dentro 10 Km de la superficie de la tierra) son nombradas "ondas troposféricas".

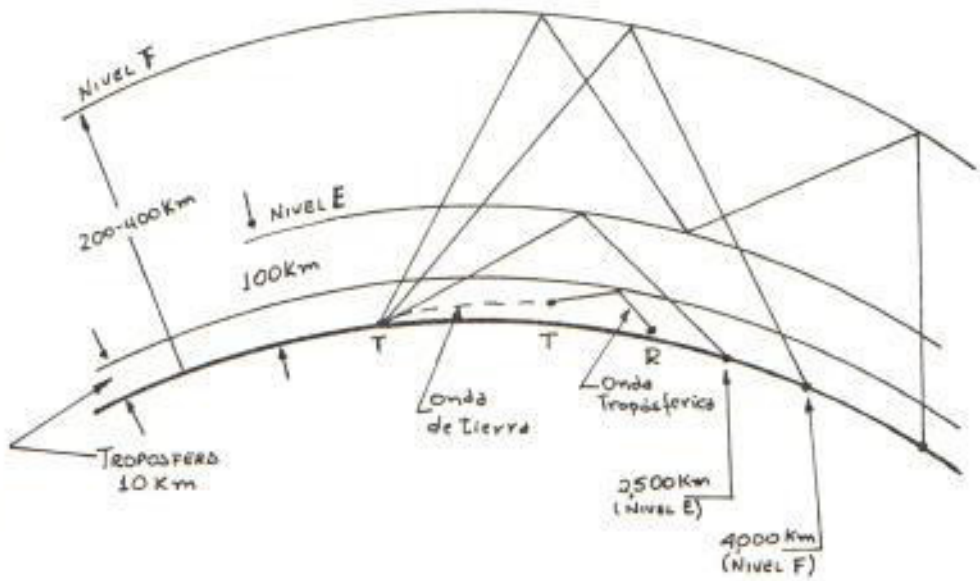


FIG.9- Algunas posibles Trayectorias de Propagación

La energía propagada sobre cada trayectoria cercana a la superficie de la tierra es considerado como "onda de tierra".- Es conveniente dividir la señal de la onda de tierra en la "onda del espacio" y la "onda de superficie".- La onda del espacio esta compuesta de la "onda directa", que es la señal que viaja en la trayectoria directa desde el transmisor hasta el receptor, y la "onda reflejada en la tierra", que es la señal que arriba al receptor después que ha sido reflejada en la superficie de la tierra.- La onda del espacio también incluye aquella porción de la energía recibida como resultado de la difracción alrededor de la superficie de la tierra y la refracción en la atmósfera superior.

La onda de superficie es una onda que es guíada a lo largo de la superficie de la tierra tal como una onda electromagnética es guíada por una línea de transmisión.- La energía es abstraída de la onda de superficie para suministrar las pérdidas en la tierra; asi la atenuación de esta onda es directamente afectado por las constantes de la tierra a lo largo de la cual viaja.- Cuando ambas antenas estan localizadas sobre la superficie de la tierra, las ondas llamadas DIRECTAS Y REFLEJADAS EN LA TIERRA de la onda del espacio se cancelan una con otra, y la transmisión es enteramente mediante la onda de

superficie.

2.2. REFLEXION EN PLANO DE LA TIERRA

Para antenas elevadas de transmisión y recepción, dentro de la línea de vista de cada una de ellas, las ondas directas y reflejadas en la línea se combinan para producir la señal resultante.- Para un plano llano de la tierra, la magnitud y fase de la onda reflejada puede calcularse considerando el análisis de la reflexión en la superficie de un dieléctrico perfecto.- Cuando la tierra es escabrosa la onda reflejada tiende a ser dispersada y puede ser reducida mucho en amplitud comparado con la reflexión en la tierra llana (plana).- Una medida de la "escabrosidad" es dado por el criterio de RAYLEIGH, que indica:

$$R = \frac{4\pi\sigma \operatorname{Sen}\theta}{\lambda}$$

donde σ es la desviación standard de las irregularidades de la superficie relativo a la superficie de mediano peso, θ es el ángulo de incidencia medido desde el ángulo tangencial la tierra; y λ es la longitud de onda. Para $R < 0.1$, existe una bien definida reflexión y la superficie reflactante puede ser considerada como lisa, de tal manera

que los factores de reflexión pueden ser calculados por los métodos indicados en este capítulo. Para $R > 10$, la superficie es rugosa y la onda reflejada tiene una magnitud pequeña.- Debe destacarse que la superficie considerada rugosa para ondas incidentes en ángulos altos (esto es Θ grande), puede aprovecharse como si fuera una superficie lisa en tanto el ángulo de incidencia alcance la tangencial a la tierra o superficie.- Se calcula que cuando la onda incidente es cercana a la tangencial sobre la tierra lisa el coeficiente de reflexión alcanza -1.0 para ambas polarizaciones.

La tierra, aunque no es un buen conductor en el sentido que el cobre y la plata son buenos conductores, de ninguna manera es un dieléctrico perfecto y su conductividad finita debe ser tomada en cuenta.

Para un medio que tiene una constante dieléctrica ε y una conductividad σ, la ecuación de Maxwell es :

$$\nabla \times H = \varepsilon \dot{E} + \sigma E \qquad (2\text{-}1)$$

Si la variación con el tiempo de E es sinusoidal, esto es, si la expresión para E en cualquier punto puede ser escrita:

$$E = E_0 e^{j\omega t}$$

entonces:

$$\dot{E} = E_o \, j\omega \, e^{j\omega t}$$

$$\dot{E} = j\omega E \qquad (2-2)$$

Poniendo esto en ecuación 2-1, resulta:

$$\nabla \times H = \left(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right) \dot{E}$$

$$\nabla \times H = \varepsilon' \, \dot{E} \qquad (2-3)$$

De esta ecuación se puede decir que un dieléctrico parcialmente conductivo puede ser considerado como un dieléctrico que tiene una constante dieléctrica compleja ε' , donde:

$$\varepsilon' = \varepsilon \left(1 + \frac{\sigma}{j\omega\varepsilon}\right)$$

Las ecuaciones de ondas y coeficientes de reflexión derivadas para dieléctricos perfectos se aplican directamente a dieléctricos que tienen pérdidas o conductancia, solo si la constante dieléctrica es reemplazada por una constante dieléctrica compleja equivalente:

$$\varepsilon' = \left(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right) \qquad (2-4)$$

FACTOR DE REFLEXION PARA POLARIZACION PERPENDICULAR (HORIZONTAL).-

El factor de reflexión Rh para una onda plana que tiene polarización horizontal o perpendicular es obtenida directamente de la ecuación siguiente:

$$R_H = \frac{E_r}{E_t} = \frac{\sqrt{\varepsilon_v}\ \mathrm{Cos}\,\theta - \sqrt{(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}) - \varepsilon_v\,\mathrm{Sen}^2\theta}}{\sqrt{\varepsilon_v}\ \mathrm{Cos}\,\theta + \sqrt{(\varepsilon + \frac{\sigma}{j\omega}) - \varepsilon_v\,\mathrm{Sen}^2\theta}} \quad (2\text{-}5)$$

Para el caso de una onda incidente sobre la superficie de la tierra el medio es el aire, de tal manera que ε_1 es reemplazado por ε_v, la constante dieléctrica del espacio.- También la constante dieléctrica ε_2 que representa el segundo medio ha sido reemplazado por la constante dieléctrica compleja $[\varepsilon + (\sigma/j\omega)]$.$\theta$ es el ángulo de incidencia medido desde la normal.- En relación con la

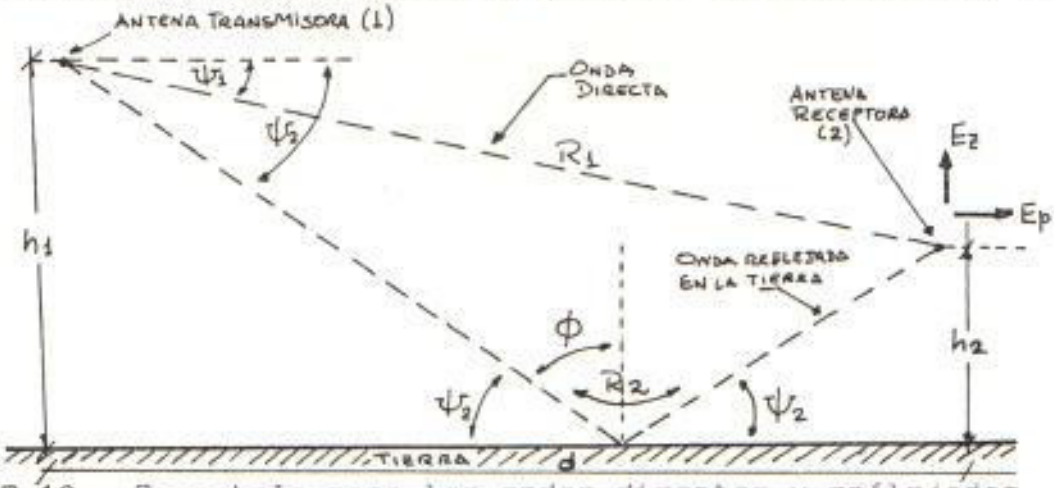


FIG.10.- Geometría para las ondas directas y reflejadas en la tierra.

reflexión por la tierra, es normal expresar la dirección de la onda incidente en término del ángulo ψ el cual es medido desde la superficie de la tierra.- Esto es:

$$\psi = 90° - \theta$$

de tal manera:

$$\cos\theta = \operatorname{sen}\psi \qquad \operatorname{sen}\theta = \cos\psi$$

La ecuación (5) puede entonces ser escrita:

$$R_h = \frac{\operatorname{sen}\psi - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \frac{j\sigma}{\omega\varepsilon_0}\right) - \cos^2\psi}}{\operatorname{sen}\psi + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \frac{j\sigma}{\omega\varepsilon_0}\right) - \cos^2\psi}} \qquad (2\text{-}6)$$

donde (5) ha sido dividido por $\sqrt{\varepsilon_0}$.- Es costumbre especificar la constante dieléctrica de la tierra relativa a la del espacio libre mediante una constante dieléctretica relativa ε_r, donde

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

(esta es la constante dieléctrica de unidades electrostática donde $\varepsilon_0 = 1$). La forma final de la expresión del factor de reflexión para polarización horizontal queda:

$$R_h = \frac{\operatorname{sen}\psi - \sqrt{(\varepsilon_r - jx) - \cos^2\psi}}{\operatorname{sen}\psi + \sqrt{(\varepsilon_r - jx) - \cos^2\psi}} \qquad (2\text{-}7)$$

donde

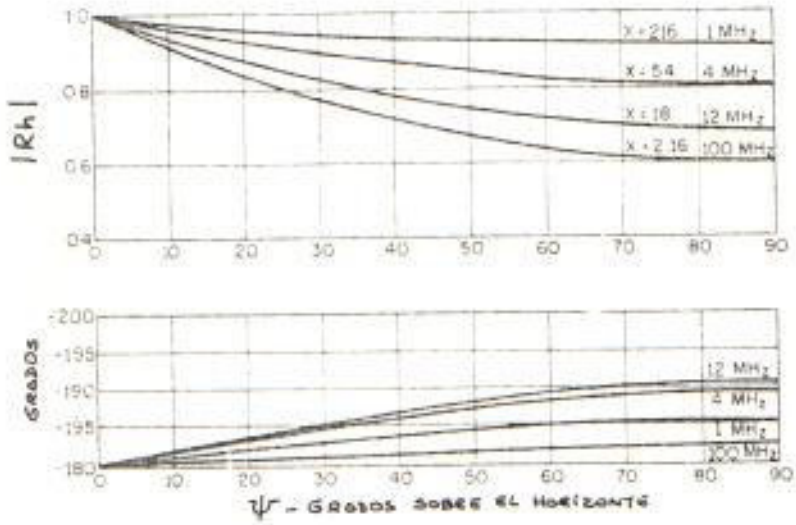
$$x = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0} = \frac{18\times10^9\sigma}{f} = \frac{18\times10^3\sigma}{f\ \text{MHz}}$$

FACTOR DE REFLEXION PARA POLARIZACION PARALELA (VERTICAL)

De manera similar al caso anterior, el factor de reflexión para polarización paralela ó vertical es:

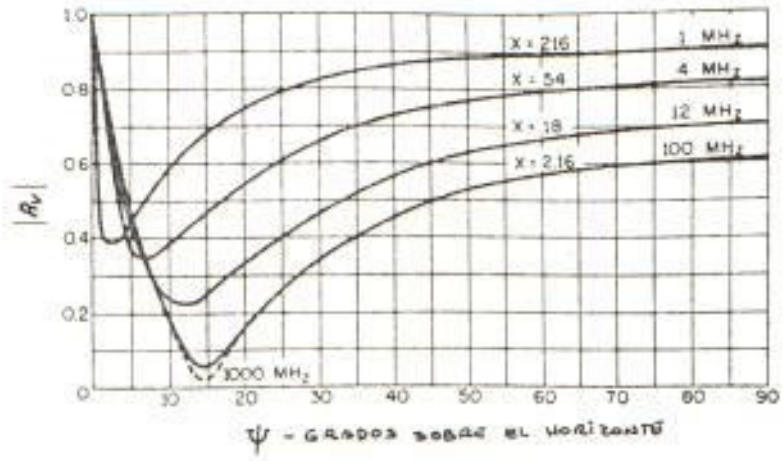
$$R_v = \frac{(\varepsilon_r - j x)\,\mathrm{Sen}\,\psi - \sqrt{(\varepsilon_r - j x) - \cos^2\psi}}{(\varepsilon_r - j x)\,\mathrm{Sen}\,\psi + \sqrt{(\varepsilon_r - j x) - \cos^2\psi}} \qquad (2-8)$$

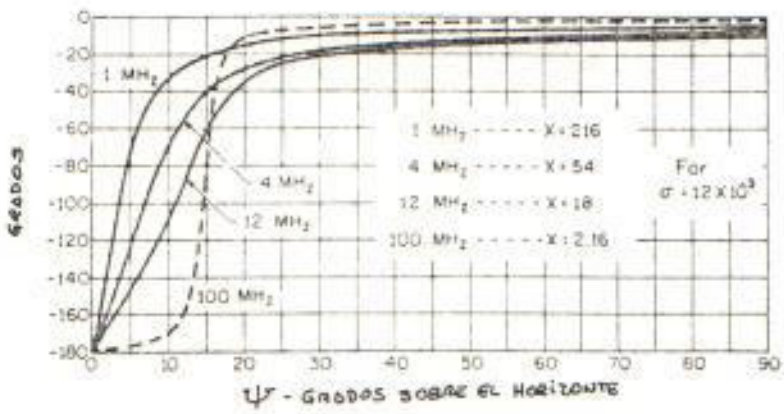
Es evidente de las ecuaciones (7) y (8) que los factores de reflexión son complejos y que la onda reflejada diferirá tanto en magnitud y fase de la onda incidente.- La forma en que los factores de reflexión varían con el ángulo de incidencia se muestra en figuras 11 y 12.



Magnitud y fase de el coeficiente de reflexión de onda plana para polarización horizontal.- Las curvas son para tierras relativamente buenas ($\sigma = 12 \times 10^{-3}$, $\varepsilon_1 = 15$).

FIGURA 11





Magnitud y fase del coeficiente de reflexión de onda plana para polarización vertical.- Las curvas son para tierras relativamente buenas ($\sigma = 12 \times 10^{-3}$, $\varepsilon_1 = 15$).

FIGURA 12

Las curvas son para frecuencias diferentes.- Un estudio de estas figuras conducen a obtener información interesante.- Cuando la onda incidente es polarizada horizontalmente (fig 11), tal que E es perpendicular al plano de incidencia y paralelo a la superficie reflactante, la fase de la onda reflejada difiere de la onda incidente por aproximadamente 180 grados para todos los ángulos de incidencia.- Para ángulos de incidencia cercano al ángulo tangencial a la tierra ($\psi = 0$), la onda reflejada es igual en magnitud pero 180 grados fuera de fase con la onda incidente para todas las frecuencias y todas las conductividades de la tierra. Cuando el ángulo de incidencia es incromentado, tanto la magnitud y fase del factor de reflexión cambian, pero no para cualquier extensión larga.- El cambio es más grande para altas frecuencias y mas bajas conductividades de la tierra.- Las curvas de la fig 11 están graficadas para una tierra que tiene buena conductividad y pueden ser utilizadas para un rango de frecuencias desde 0.5 hasta 1.000MHz.- La constante dieléctrica relativa εr varía desde 7 para una tierra pobre (baja conductividad) hasta cerca de 30 para una tierra buena (alta conductividad) de tal manera que un valor promedio $\varepsilon r=15$ se ha utilizado.

La Fig. 12 muestra la forma en que el factor de

reflexión Ev para polarización vertical varía con el ángulo de incidencia.- En este caso el vector eléctrico E es paralelo al plano de incidencia y el vector magnético H es paralelo a la superficie de frontera.- Los resultados son completamente diferentes de los obtenidos para polarización horizontal.- Igual que en análisis anterior, el vector electrico de la onda reflejada en la incidencia tangencial a la tierra es igual a aquel de la onda incidente y tiene una fase de inversión 180 grados para todos los valores finitos de conductividad.- Sin embargo, cuando el ángulo Ψ se incrementa desde 0, la magnitud y fase de la onda reflejada decrece rápidamente.- La magnitud alcanza un mínimo y la fase desde -90grados hasta un ángulo conocido como el ángulo pseudo-BREWSTER (o sólo ángulo BREWSTER) por analogía con el caso del dieléctrico perfecto.- Con ángulos de incidencia sobre el ángulo crítico la magnitud se incrementa de nuevo y la fase alcanza a 0.- Para muy altas frecuencias y bajas conductividades ($X << r$), el ángulo BREWSTER tiene muy cercamente el mismo valor como el que tiene un dieléctrico perfecto.- Esto puede ser observado en ecuación (8) (Para $\varepsilon_r = 15$, el ángulo BREWSTER ocurre a Ψ=14.5 grados para el caso del dieléctrico perfecto).- Para frecuencias más bajas y conductividades más altas el ángulo BREWSTER es menor, alcanzado a cero cuando X llega a ser mucho más

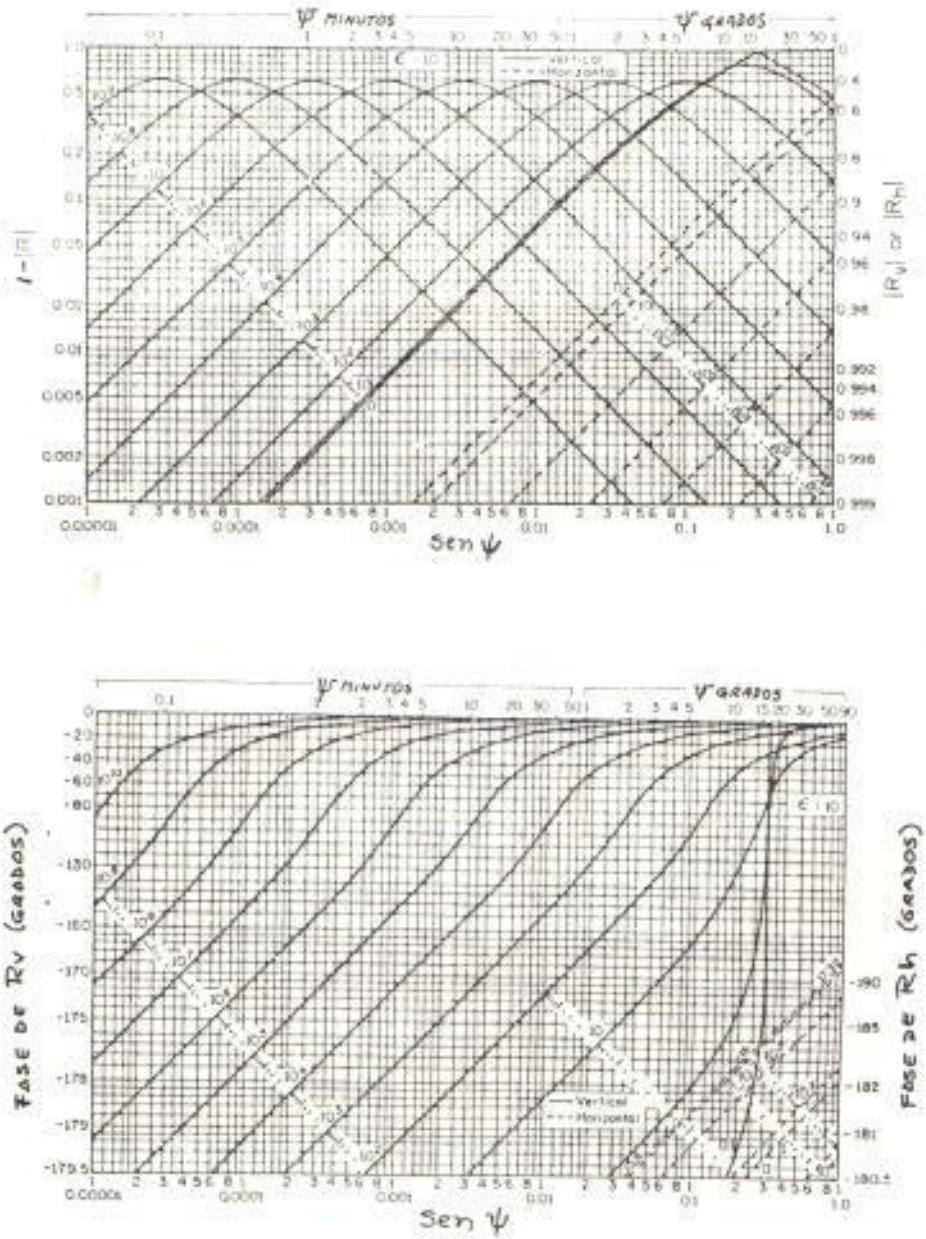
grande que εr.

Cuando la onda incidente es normal a la superficie reflactante (ψ=90 grados),es evidente que no hay diferencia entre polarización vertical y horizontal.- El vector eléctrico sera paralelo a la superficie reflactantes en ambos casos y los coeficientes de reflexión Rv y Rh tendrán los mismos valores.- Comparando las figuras 11 y 12 muestran que, donde ellas tienen la misma magnitud, existe una diferencia de fase de 180 grados.- Esto sucede debido a las diferentes definiciones de dirección positiva para la onda reflejada en ambos casos y requiere alguna explicación.- Para el caso de reflexión de una onda horizontalmente polarizada desde la fuente de un conductor perfecto, si el vector eléctrico de la onda incidente esta en la dirección positiva X, el vector eléctrico de la onda reflejada también estará en la dirección positiva X, pero será 180 grados fuera de fase con la onda incidente.

Esto podría ser interpretado como una onda en fase con la onda incidente, pero tiene su vector eléctrico en la dirección opuesta.- En el caso de polarización vertical, las direcciones positivas para los campos de potencia eléctrica incidente y reflejada están generalmente en la dirección positiva Z cuando $\psi = 0$.- Cuando ψ se incrementa desde 0,los componentes horizontales

de ambos campos eléctricos se incrementa, pero un componente horizontal es positivo y el otro negativo.- A ψ=90° los campos de potencia eléctrica están completamente horizontales, pero dirigidos opuestamente, uno estando en la dirección positiva y el otro en la dirección negativa.- De la figura 12 al ángulo de fase entre estos campos en la superficie del reflector es cero grados (para un conductor perfecto).- Pero vectores dirigidos opuestamente en el espacio y teniendo la misma fase en el tiempo da el mismo resultado que dos vectores que tienen la misma dirección y fases opuestas; asi esto resultado es idéntico que el obtenido de figura 11 a ψ=90 grados.- Para ángulos de incidencias cercanos al ángulo tangencial a la tierra (ψ aproximadamente igual a 0), un delineamiento más exacto de los coeficientes de reflexión de aquellos dados por la figura 11 y 12 es a menudo requerido.

En la figura 13 las magnitudes y fases de los coeficientes de reflexión son mostrados en una escala logarítmica para una constante dieléctrica relativa ε_r=10 Las curvas de esta figura están designadas directamente en términos de X.



Magnitud y fase del coeficiente de reflexión para ϵ_r=10.- El número en cada curva da el valor $x = 18 \cdot \sigma / f$ MHz .- La polarización vertical se muestra con líneas sólidas y la horizontal por líneas punteadas.-

FIGURA 13

2.3. ONDA DE SUPERFICIE Y ONDA DEL ESPACIO

El problema general de radiación para una antena vertical sobre el plano de la tierra que tiene conductividad finita fue resuelto originalmente por SOMMERFELD en 1909.- Soluciones similares han sido obtenidas por otros escritores usando diferentes puntos de vista.- Todas éstas nos dan la solución en formas complicadas que son difíciles de evaluar.

NORTON ha reducido las expresiones complejas de la teoría de SOMMERFELD a una forma manejable para su utilización en trabajos de ingeniería .- En ésta discusión original, Sommerfeld estableció que era posible dividir el campo de potencia de la onda de tierra en dos partes, una onda del espacio y una onda de superficie.- La onda del espacio predomina en grandes distancias sobre la tierra, mientras que la onda de superficie es mayor cerca de la superficie de la tierra.- En el caso de Norton, las expresiones para el campo eléctrico de un dipolo eléctrico sobre las superficies de un plano de la tierra de conductividad finita están en una forma que claramente muestran esta separación en ondas del espacio y de superficie.

A grandes distancias del dipolo, tal que los

términos conteniendo los órdenes más altos de 1/R1 y 1/R2 pueden ser despreciados, las expresiones para el dipolo vertical sobre un plano de la tierra de conductividad finita se reducen a:

$$E_z = j30\beta I dl \left[\cos^2\psi \left(\frac{e^{-j\beta R1}}{R_1} + R_v \frac{e^{-j\beta R2}}{R2}\right) + (1-R_v)\left(1-\mu^2+\mu^4\cos^2\psi\right) F \frac{e^{-j\beta R_2}}{R2}\right] \quad (2\text{-}9)$$

$$E_\rho = -j30\beta I dl \left[\operatorname{Sen}\psi\cos\psi\left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_v \frac{e^{-j\beta R_2}}{R2}\right) - \cos\psi\,(1-R_v)\,\mu\sqrt{1-\mu^2\cos^2\psi}\,F\,\frac{e^{-j\beta R2}}{R2}\left(1+\frac{\operatorname{Sen}^2\psi}{2}\right)\right] (2\text{-}10)$$

En estas expresiones, Ez es el componente Z del campo eléctrico y E_ρ es el componente radial (coordenadas cilíndricas, fig 10); R1 y R2 son las distancias desde el dipolo y su imagen respectivamente, al punto del campo P.- Rv es el coeficiente de reflexión de la onda plana, expresión ya conocida en punto anterior.- F es una función de atenuación que depende de las constantes de la tierra y de la distancia al punto de recepción, será discutido bajo el punto onda de superficie.- También:

$$\mu^2 = \frac{1}{\varepsilon_r - j\chi}$$

donde:

$$x = \frac{1.8 \times 10^4 \sigma \quad mho/m}{f \quad MHz}$$

σ = CONDUCTIVIDAD DE LA TIERRA (MHO/M.)

$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ = CONSTANTE DIELECTRICA RELATIVA DE LA TIERRA

$\beta = 2\pi/\lambda$

Revisando las ecuaciones (9) y (10) se encuentra que el campo total puede ser dividido en dos partes una "Onda del spacio" dado por los términos de la "distancia-inversa", y una "onda de Superficie" que contiene la función adicional de atenuación F.- Combinando (9) y (10) y separándolas estos 2 tipos de ondas, el resultado será:

$$E_{\text{ESPACIO TOTAL}} = E_{\psi(\text{ESPACIO})} = \sqrt{E_z^2(\text{ESPACIO}) + E_\rho^2(\text{ESPACIO})}$$

$$= j\,30\beta I dl \cos\psi \left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_0 \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right) \quad (2\text{-}11)$$

$$E_{\text{SUPERFICIE TOTAL}} = j\,30\beta I dl\,(1 - R_0)\, F \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \cdot$$

$$\sqrt{1 - 2\mu^2 + (\cos^2\psi)\mu^2 \left(1 + \frac{\text{Sen}^2\psi}{2}\right)^2} \quad (2\text{-}12)$$

En las ecuaciones (11) y (12), los términos involucrando el factor μ^4 han sido despreciados.-

LA ONDA DEL ESPACIO.- La expresión para la onda del espacio de un dipolo vertical sobre un plano de la tierra, dada su ecuación (11) consiste de dos términos.- El primer término $e^{-j\beta R_1}/R_1$ representa una onda especifica originada en la posición del dipolo.- $e^{-j\beta R_1}$ es el factor de fase (el factor de tiempo $e^{j\omega t}$ no ha sido considerado) y 1/R1 es el factor del inverso de la distancia. Similarmente el segundo término representa una onda esférica originada en la posición de la imagen del dipolo, pero en este caso la magnitud y la fase de la onda han sido modificados por el factor de reflexión Rv de la onda plana.- Asi la parte de la onda del espacio del campo consiste de una onda directa y una onda reflejada, y la expresión para la onda reflejada contiene el factor de reflexión Rv que se aplicaría si la onda incidente fuera plana.- Cuando el dipolo es localizado lejano de la tierra la onda incidente es esencialmente una onda plana y en este caso, el campo de la onda del espacio es el campo total (onda de tierra).- En otra forma, cuando el dipolo es localizado cerca de la tierra, la onda incidente no sera plana, y la expresión para el campo total reflejado debe contener términos en adición a aquellos dados para el campo de la onda del espacio.- Estos términos adicionales son justamente aquellos que cuentan para la onda de superficie.

PATRON DE LA ONDA DEL ESPACIO DE UN DIPOLO VERTICAL.- Para determinar el efecto de una tierra conductiva finita sobre el patrón de radiación de una antena real, primero se debe investigar el patrón de radiación de una dipolo elemental sobre la tierra.- La expresión (11) representa el campo de la onda del espacio de un dipolo vertical localizado en cualquier altura sobre una tierra de conductividad finita teniendo el coeficiente de reflexión Rv.- Esta expresión ha sido evaluada y graficada como una función de la frecuencia para un rango de conductividades de la tierra y para alturas de varios dipolos (fig.14, 15 y 16).

La fig.14 muestra el patrón de radiación vertical de un dipolo vertical localizado en la superficie de una

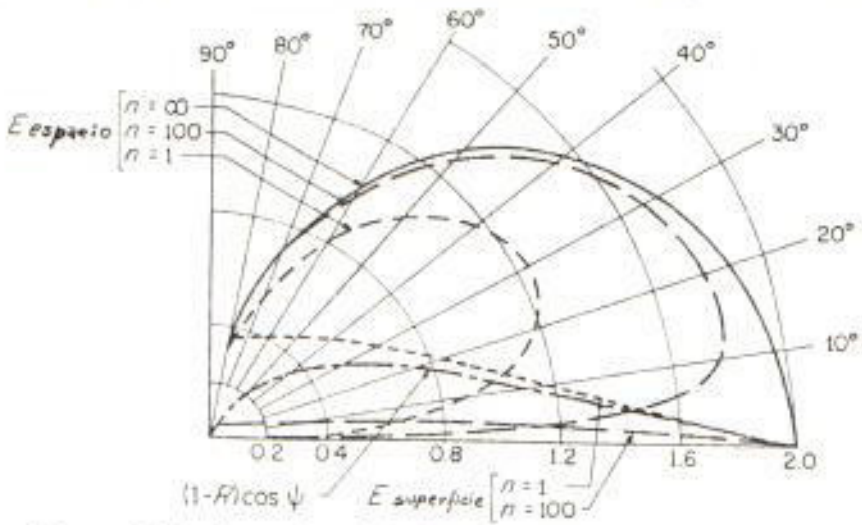


Figura 14.- Patrón de Radiación Vertical de un Dipolo Vertical en la Superficie de la tierra que tiene conductividad finita.- El parametro $n = x/\varepsilon r$ y el valor $\varepsilon r = 15$ han sido utilizados.

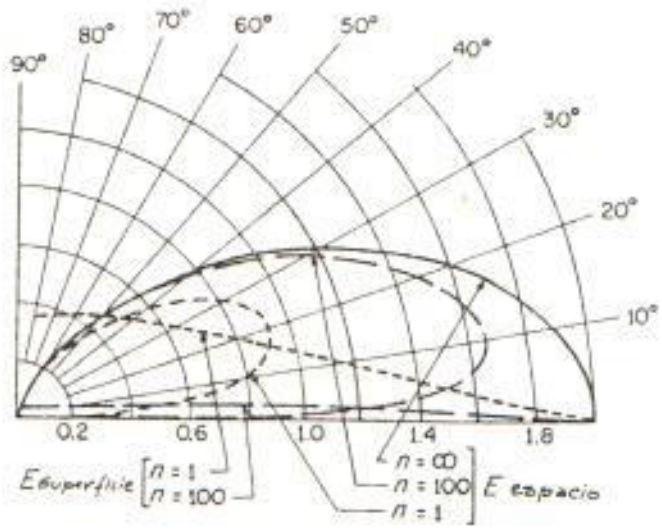


Figura 15.- Patrón de Radiación Vertical de un dipolo vertical localizado a un cuarto de longitud de onda sobre una tierra de conductividad finita.- $n = \varkappa/\varepsilon_r$ y $\varepsilon_r = 15$.

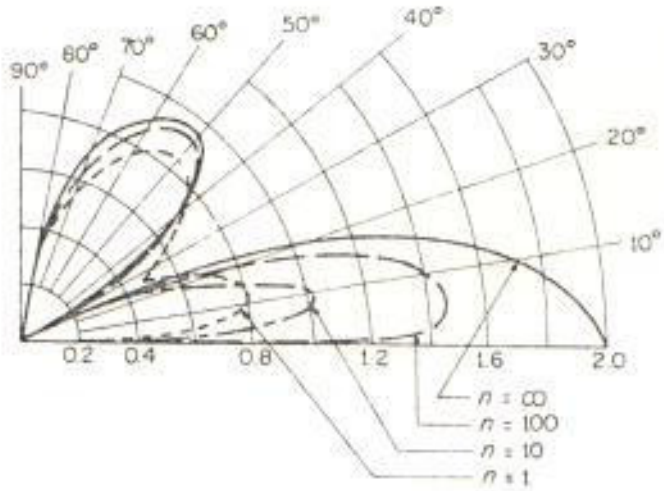


Figura 16.- Patrón de Radiación Vertical de un dipolo vertical de media longitud de onda sobre una tierra de conductividad finita.- $n = \varkappa/\varepsilon_r$ y $\varepsilon_r = 15$.

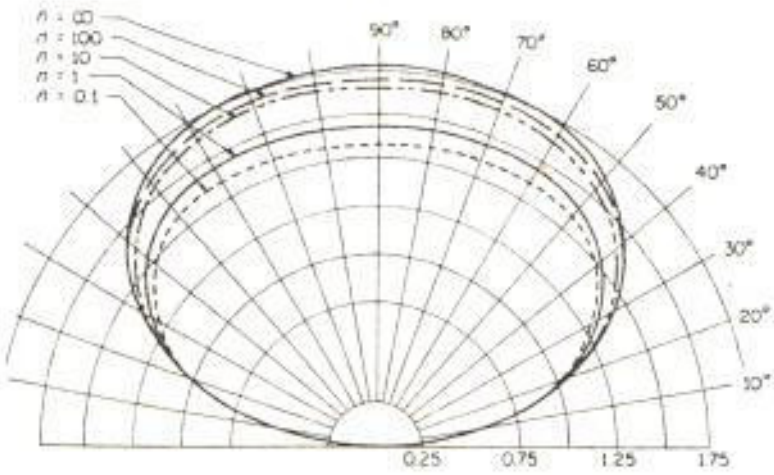


Figura 17.- Radiación Vertical (en el plano perpendicular al eje del dipolo) de un dipolo Horizontal a un cuarto de longitud de onda sobre una tierra que tiene una conductividad finita.- $n = \varkappa/\varepsilon_r$ y $\varepsilon_r = 15$.

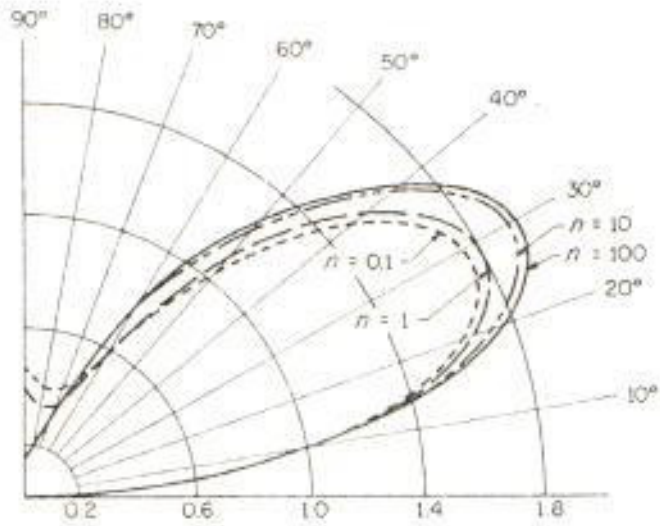


Figura 18.- Patrón de Radiación Vertical (en el plano perpendicular al eje del dipolo) de un dipolo horizontal de media longitud de onda sobre una tierra que tiene una conductividad finita.- $n = \varkappa/\varepsilon_r$ y $\varepsilon_r = 15$.

tierra de conductividad finita.- El parámetro n = $x/\varepsilon r$, donde :

$$\chi = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} = \frac{18 \times 10^3 \sigma}{f\ MHz}$$

y donde σ es la condutividad de la tierra en mhos por metro y FMHZ es la frecuencia en megahertz.- Un valor promedio de 15 ha sido utilizado para εr, la constante dieléctrica de la tierra.- La curva n = ∞ representa el caso de una tierra perfectamente conductora.- n = 100 representa condiciones de frecuencias radiales bajas sobre una buena tierra (alta conductividad).- n =10 corresponde a frecuencias radiales altas sobre una tierra de conductividad promedio.- La curva n = 1 representa condiciones a frecuencias medianamente altas.- Las tres curvas superiores son patrones de la onda del espacio.- Las líneas punteadas representan a las curvas de la onda de superficie sin atenuación, la cual será discutida más adelante. Fig.15 y 16 muestran los patrones de radiación vertical que resultan cuando el dipolo es elevado un cuarto (1/4)de longitud de onda y media (1/2) longitud de onda sobre la tierra.

De éstas figuras es aparente que los efectos principales de la conductividad de la tierra sobre los

patrones de radiación vertical ocurre en los ángulos bajos donde la onda del espacio es muy reducida de su valor sobre una tierra perfectamente conductora.- Es debido a la fase del factor de reflexión Rv, el cual cambia rápidamente para ángulos de incidencia cercanos al ángulo "pseudo-Brewster" .- Sobre este ángulo la fase de Rv es aproximadamente cero, mientras que bajo este ángulo de incidencia tangencial a la tierra la fase de Rv alcanza -180 grados.- La fase de Rv es siempre -90 grados en el ángulo "pseudo-Brewster".- Este cambio de fase del coeficiente de reflexión cerca al ángulo crítico pseudo-Brewster es responsable de muchas de las características peculiares de propagación para polarización vertical.

Los patrones mostrados en fig. 14 a 18 han sido graficados para corrientes iguales en los dipolos.- Un pequeño campo radiado, como por ejemplo en el caso de n=1, indica una pequeña potencia radiada para una corriente dada y, por consiguiente, una baja resistencia de radiación.- Para una potencia radiada determinada la corriente del dipolo será mayor para el caso (n=1) y el campo resultante también será más grande que el mostrado.- La forma relativa de los patrones indicados es el punto importante, su tamaño relativo tiene menos significado.

PATRONES DE LA ONDA DEL ESPACIO PARA DIPOLO HORIZONTAL.- La expresión para el campo de la onda del espacio de un dipolo horizontal en el plano perpendicular al eje del dipolo es similar a aquel para el dipolo vertical excepto que Rv es reemplazado por Rh y el factor cos Ψ está ausente.- Esto es :

$$E^{h}_{espacio} = J30\beta I d\ell \left(\frac{e^{-J\beta R_1}}{R_1} + Rh \frac{e^{-J\beta R_2}}{R_2} \right)$$

La ausencia del factor Cos Ψ es debido al efecto que el dipolo horizontal por si mismo es un radiador uniforme en el plano perpendicular a su eje,.

La fig.17 y 18 muestran los patrones de la onda del espacio de un dipolo horizontal a alturas de un cuarto (1/4) de longitud de onda y media (1/2) longitud de onda sobre una conductividad finita de la tierra.- Estos son los patrones en el plano perpendicular al eje del dipolo.- Los efectos de conductividad finita son muchos menos marcados que en el caso del dipolo vertical debido a que el factor de reflexión Rh nunca se desvía mucho de su valor -1, lo cual lo tiene el caso del conductor perfecto.- En el plano paralelo a los ejes del dipolo el campo eléctrico es dado por la expresión:

$$E^{h}_{espacio} = j30\beta Idl \operatorname{Sen}\psi \left(\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} - R_v \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right)$$

En este caso la onda incidente es polarizada paralelamente al plano de incidencia, y el factor de reflexión Rv para la polarización "vertical" es requerida.- El signo menos se origina de la posición positiva asumida de los campos eléctricos para las ondas incidente y reflejada como se explicó inicialmente en este capítulo.- Note que en este plano, paralelo a los ejes del dipolo, el campo eléctrico de un dipolo horizontal está "verticalmente" polarizado.

2.4. LA ONDA DE SUPERFICIE

Las expresiones para el campo eléctrico de un dipolo vertical sobre una tierra plana de conductividad finita fueron dadas en ecuaciones 9 y 10.- Cuando el dipolo está en la superficie de la tierra, la expresión para la parte de la onda de superficie de este campo de reduce a:

$$E_{SUPERFICIE} = j30\beta Idl\,(1 - R_v) F \left(\frac{e^{-j\beta R}}{R} \right) \cdot \left[\hat{k}\,(1-\mu^2) + \hat{r} \cos\psi \left(1 + \frac{\operatorname{Sen}^2\psi}{2}\right) \mu \sqrt{1-\mu^2 \cos^2\psi} \right] \quad (2\text{-}13)$$

En esta expresión R a la distancia desde el dipolo al punto en que el campo está siendo considerado (R>> λ). $\hat{k}$ y $\hat{r}$ son vectores unitarios respectivamente paralelo y perpendicular al dipolo vertical.- También:

$$F = \left\{ 1 - j\sqrt{\pi w}\, e^{-w} \left[erfc\left(j\sqrt{w} \right) \right] \right\}$$

$$w = \frac{-j\beta R \mu^2 (1 - \mu^2 \cos^2 \psi)}{2} \left[1 + \frac{\operatorname{Sen} \psi}{\mu \sqrt{1 - \mu^2 \cos^2 \psi}} \right]^2$$

$$\mu^2 = \frac{1}{\varepsilon r - jx}$$

$$x = \frac{18 \times 10^3 \sigma}{f MHz}$$

$$erfc\left(j\sqrt{w} \right) = \frac{2}{\sqrt{w}} \int_{j\sqrt{w}}^{\infty} e^{-v^2} dv$$

La función F introduce una atenuación que es dependiente de la distancia, frecuencia, y de las constantes de la tierra a lo largo sobre la cual la onda está viajando.- Para distancias dentro de unas pocas longitudes de onda del dipolo, F tiene un valor de muy cercanamente unitario y alcanza a la unidad cuando la distancia R se aproxima a cero.- Poniendo F = 1 en la ecuación (13), es posible evaluar y graficar lo que es denominado "onda de superficie no atenuada".- Esto es mostrado en la figura 14 para dos valores del parámetro n.- Para bajas frecuencias y buena conductividad de la tierra (n = 100), la onda de superficie no atenuada es

es muy pequeña, excepto para ángulos cercanos a la tangencial a la tierra (ψ =0) .-

En ψ =0 tiene el valor de 2. En este mismo ángulo la onda de espacio es siempre cero debido a que las ondas directas y reflejadas en la tierra se cancelan. Para altas frecuencias y pobre conductividad (n=1), la onda de superficie no atenuada todavía tiene un valor de 2 a ψ=0, pero también tiene un valor apreciable en ángulos mas grandes.- Sin embargo esta atenuación de la onda varía rápidamente con la distancia debido al factor F, valor apreciable en ángulos más grandes también.- Sin embargo esta atenuación de la onda varía rápidamente en la distancia debido al factor F.

En la superficie de la tierra (ψ = 0), el valor absoluto de F ha sido evaluado y es denominado el "factor de atenuación de la onda de tierra".- Es designado por el símbolo A. Esto es, a ψ =0

$$A = |F|$$

$$A = \left| 1 - j\sqrt{\pi\omega}\, e^{-\omega}\, erfc(j\sqrt{\omega}) \right|_{\psi=0}$$

$$A = \left| 1 - j\sqrt{\pi p_1}\, e^{-p_1}\, erfc\,(j\sqrt{p_1}) \right| \qquad (2\text{-}14)$$

p1 es el valor de w en el ángulo $\psi = 0$.- En general es una cantidad compleja y puede ser escrita:

$$w\big|_{\psi=0} = p_1 = p e^{\mp jb}$$

donde p es conocida como "distancia numérica" y b como la "constante de fase".

Evaluando w a $\psi = 0$ se demuestra que

$$p = \frac{\pi R}{\lambda x} \cdot \frac{\cos^2 b''}{\cos b'} \cong \frac{\pi R}{\lambda x} \cos b$$

$$b = (2b'' - b') \cong \text{Tang}^{-1} \frac{\varepsilon_r + 1}{x}$$

donde:

$$b'' = \text{Tang}^{-1} \frac{\varepsilon_r}{x}$$

$$b' = \text{Tang}^{-1} \frac{\varepsilon_r - \cos^2 \psi}{x} \cong \text{Tang}^{-1} \frac{\varepsilon_r - 1}{x}$$

$$x = \frac{18 \times 10^3 \sigma}{f\,\text{MHz}}$$

EL FACTOR DE ATENUACION A DE LA ONDA DE TIERRA

Un gráfico del factor de atenuación A de la onda de tierra, dado por ecuación (14), se muestra en fig.19 en términos de p y b. La distancia numérica P depende de la frecuencia y las constantes de la tierra, así como también de la distancia actual al transmisor.- Es proporcional a la distancia y al cuadrado de la frecuencia y varía casi inversamente con la conductividad de la tierra.- La constante de fase b es una medida del ángulo de factor de potencia de la tierra (el ángulo actual del factor de potencia es b"). Cuando las constante de la tierra y la frecuencia son tales que $x >> \epsilon r$,

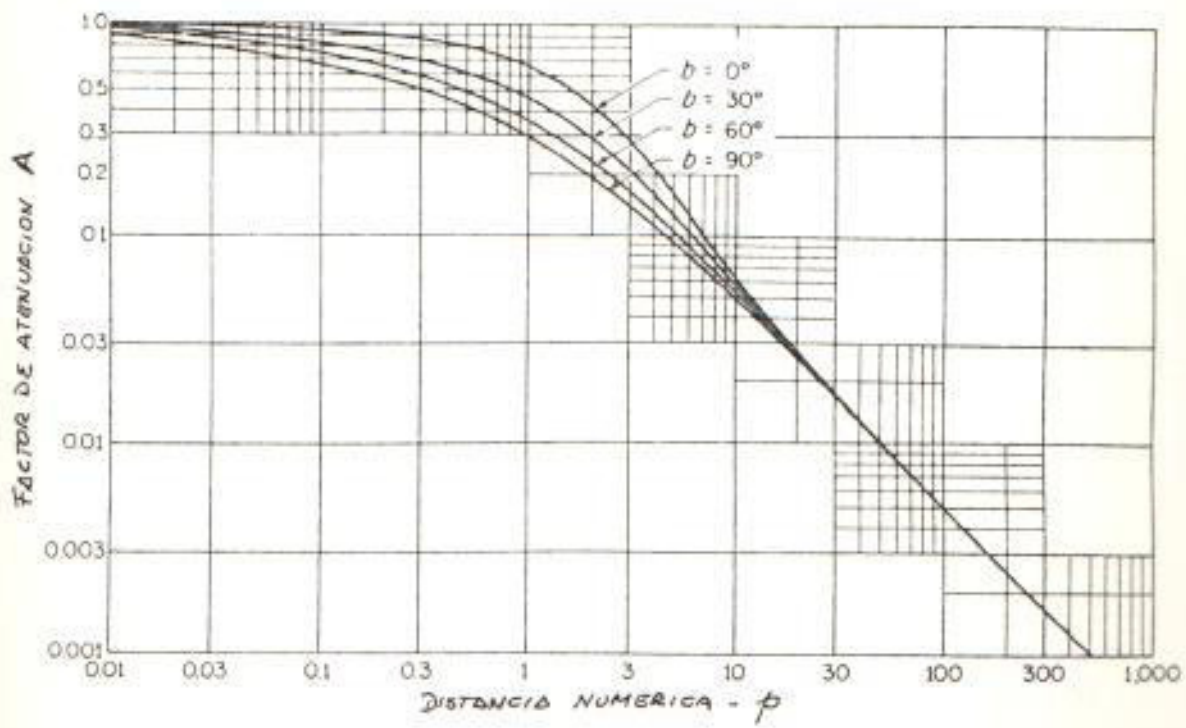


FIGURA 19.- Factor de atenuación A de la onda de tierra.

el ángulo de factor de potencia será cercano a cero, y la tierra sera principalmente resistiva.- Este es el caso para la tierra promedio o mejor que el promedio a frecuencias de radio.- A muy altas frecuencias y sobre tierras pobres la condición $\varepsilon_r >> \lambda$ puede ser alcanzada y la impedancia de la tierra será entonces reactiva.- Debe notarse que la misma tierra la cual actúa como un conductor a muy bajas frecuencias actuará como un dieléctrico que tiene una pequeña pérdida a muy altas frecuencias.

El factor de atenuación A puede también ser representado aproximadamente por las siguientes fórmulas empíricas:

Para $b<5$ grados,

$$A_1 \cong \frac{2 + 0.3p}{2 + p + 0.6p^2} \qquad (2\text{-}15)$$

Para todos los valores de b

$$A \cong A_1 - \operatorname{sen} b \sqrt{\frac{p}{2}}\, e^{0.(5/8)p} \qquad (2\text{-}16)$$

Para $b<5$ grados y $p<4.5$ (esto es, para distancias numéricas cortas),

$$A \cong e^{-0.43p + 0.01p^2} \qquad (2\text{-}17)$$

Esta relación muestra que A varía casi exponencialmente con "p" para distancias numéricas cortas.-

Para b<5 grados y p $\geq$ 4.5,

$$A \cong \frac{1}{2p - 3.7} \qquad (2\text{-}18)$$

Esta relación muestra que a grandes distancias numéricas A es inversamente proporcional a p.- Esto significa que a distancias numéricamente grandes el campo de potencia de la onda de superficie variará inversamente con el cuadrado de la distancia desde el transmisor.

ONDA DE SUPERFICIE DE UN DIPOLO HORIZONTAL

Las expresiones para las ondas de superficie y del espacio de un dipolo horizontal en la superficie de una tierra plana de conductividad finita establecidas por NORTON son:

$$E_{espacio} = \frac{j30\beta I dl\, e^{-j(\beta R - \omega t)}}{R} \cdot$$

$$\left[\cos\phi \operatorname{Sen}\psi (1 - R_v)\hat{k} + \operatorname{Sen}\phi (1 + R_h)\hat{\phi}\right] \qquad (2\text{-}19)$$

$$E_{SUPERFICIE} = \frac{j30\beta I d\ell\, e^{-j(\beta R-\omega t)}}{R} \left\{ \cos\phi \left(\mu\sqrt{1-\mu^2\cos^2\psi}\right)(1-R_v)F \right.$$

$$\left[\cos\psi\left(1+\frac{\operatorname{sen}^2\psi}{2}\right)\hat{k} + \mu\sqrt{1-\mu^2\cos^2\psi}\right.$$

$$\left.\left.\left(\frac{1-\operatorname{sen}^2\psi - \dfrac{(1-R_h)G}{(1-R_v)\mu^2 F}}{1-\mu^2\cos^2\psi}\right)\right] + \operatorname{Sen}\phi\,(1-R_h)G\,\hat{\phi}\right\} \quad (2\cdot20)$$

donde:

$$G = \left[1 - j\sqrt{\pi v}\; e^{-v}\; \operatorname{erfc}\left(j\sqrt{v}\right)\right]$$

$$v = -\frac{j\beta R(1-\mu^2\cos^2\psi)}{2\mu^2}\left(1+\frac{\mu\,\operatorname{Sen}\psi}{\sqrt{1-\mu^2\cos^2\psi}}\right)^2$$

Rh es el factor de reflexión de la onda plana para polarización horizontal (perpendicular).- $\hat{k}$, $\hat{\rho}$ y $\hat{\phi}$ son vectores unitarios en el sistema de coordenadas cilíndricas.- El dipolo situado perpendicular a $\hat{k}$ y en el plano $\phi = 0$.- Revizando las expresiones mostradas en el plano principal normal al dipolo (ϕ = 90 grados) el

campo eléctrico está totalmente en la dirección ϕ, esto es horizontalmente polarizado.- En la dirección $\phi = 0$, el vector eléctrico es situado en el plano $\phi = 0$ (polarización vertical).- Para direcciones intermedias el campo es elípticamente polarizado.

La función G es una función de atenuación para polarización horizontal.- A grandes distancias numéricas G se aproxima a $\mu^2 F$, y como $\mu^2 = 1/(\varepsilon_r - jx)$ es siempre menor que la unidad, es evidente que la onda de superficie polarizada horizontalmente será atenuada más rápidamente que una onda polarizada verticalmente de la misma frecuencia.

En la práctica operacional la atenuación de una onda polarizada horizontalmente a lo largo de la superficie de la tierra es determinada por el uso del mismo factor de atenuación A de la onda de tierra que es usada para polarización vertical.- Sin embargo, ahora la distancia "p" y el factor de fase "b" están dados por:

$$p = \frac{\pi R}{\lambda} \cdot \frac{x}{\cos b'}$$

$$b = 180° - b'$$

Para una distancia dada R, la distancia numérica p será más grande para polarización horizontal que para polarización vertical.- Esto significa mayor atenuación para la onda de superficie polarizada horizontalmente que para la onda polarizada verticalmente. A bajas y medianas frecuencias, donde x es grande, esta diferencia en atenuación es más grande y solamente ondas de superficies polarizadas verticalmente necesitan ser consideradas. En este rango de frecuencias las antenas que se utilizan serán diseñadas para radiar y recibir señales verticalmente polarizadas. A altas y muy altas frecuencias (HF y VHF) la atenuación de la onda de superficie es más grande para ambas polarizaciones, con el resultado que la propagación de la onda de superficie es limitada a muy cortas distancias.

Sin embargo, en este campo de frecuencias son utilizadas antenas elevadas y las trayectorias de propagación son dadas por la onda del espacio.

2.5. ANTENAS ELEVADAS SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Cuando tanto antenas transmisoras y receptoras estan localizadas en la superficie de la tierra, el ángulo

Ψ de la trayectoria de propagación de la onda de tierra entre antenas es cero.- Bajo estas condiciones el coeficiente de reflexión de la tierra es -1, tal que las ondas directas y reflejadas en la tierra se cancelan.- La propagación es entonces totalmente mediante la onda de superficie.- Este es el caso, por ejemplo, de la recepción diaria de las señales ordinarias de programas de radio. A altas y muy altas frecuencias, sin embargo, cuando una longitud de onda llega a ser suficientemente corta es posible elevar las antenas un cuarto de longitud de onda o más sobre la tierra. Cuando las antenas están elevadas, la onda del espacio es más grande que cero, y la señal resultante en la antena receptora es la suma vectorial de la onda del espacio y la onda de superficie.

Considerando el caso de dos antenas verticales elevadas a alturas h1 y h2 sobre la superficie de la tierra (fig.10).- De la ecuación (9) el componente vertical de el campo eléctrico en la antena receptora (2) debido a un dipolo vertical (1) será:

$$E_z = j30\beta I dl \left\{ \cos^2\psi \left[\frac{e^{-j\beta R_1}}{R_1} + R_\sigma \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} + (1-R_\sigma) \mp \frac{e^{-j\beta R_2}}{R_2} \right] \right\} \quad (2\text{-}21)$$

En la expresión (21) μ^2 y μ^4 han sido despreciados por ser tan pequeñas comparadas con la unidad. Los primeros dos términos de la expresión constituyen la onda del espacio, y el tercer termino es la onda de superficie. Esta expresion es exacta a distancias de la antena que son más grande que unas pocas longitudes de onda. Sin embargo, como se establece, es más bien involucrado para cálculos reales y prácticos. Afortunadamente, el caso de interés en la práctica es generalmente aquella en la cual la distancia entre antenas es mas grande comparada con su altura sobre la tierra, esto es, para cuando

$$r >> (h_1 + h_2)$$

Bajo estas circunstancias se obtienen simplificaciones considerables en la expresión (21). Las siguientes relaciones se mantendrán aproximadamente:

$$\cos\psi = 1$$

$$R_1 = R_2 = d$$

También para distancias numéricas grandes, la expansión asintótica para la función de error "erfc" se puede utilizar de tal manera que:

$$F = 1 - j\sqrt{\pi w}\; e^{-w}\; \operatorname{erfc}\left(j\sqrt{w}\right)$$

$$F = 1 - \frac{1 + \frac{1}{2w} + \frac{(1)(3)}{(2w)^2} + \cdots}{1 + \frac{h_1 + h_2}{\mu R_2}}$$

$$F \cong -\frac{1}{2w}$$

donde $\mu R_2 >> (h_1 + h_2)$ y $|w| > 20$

Introduciendo estas aproximaciones en (21) se obtiene:

$$E_z = \frac{j 30 \beta I dl}{d} \left\{ e^{-j\beta R_1} + e^{-j\beta R_2} \left[R_v - \frac{(1-R_v)}{2w} \right] \right\} \quad (2\text{-}22)$$

La expresión para la distancia numérica w para este caso será:

$$w = p_1 \left(1 - \frac{h_1 + h_2}{R_2 \mu \sqrt{1-\mu^2}} \right)^2 \quad (2\text{-}23)$$

Cuando la distancia entre antenas es muy grande comparado con sus alturas sobre la tierra, es evidente que de una inspección de la expresión (23), la distancia numérica "w" es muy cercanamente igual a "p1",la distancia numérica a lo largo de la superficie de la tierra. También bajo las mismas condiciones el factor de atenuación F, el cual es aproximadamente igual a 1/2w, no cambiaría mucho con la altura de cada antena transmisora i/o receptora. Tendrá un valor aproximadamente igual a "A" el factor de atenuacion de la onda de superficie de la figura 19. Asi, para antenas elevadas la magnitud de las

ondas de superficie será dada por:

$$E_{z\ \text{superficie}} \approx \frac{j30\beta I dl}{d}\left(\frac{1-R_v}{2p}\right) = \frac{j30\beta I dl}{d}(1-R_v)A \qquad (2\text{-}24)$$

siempre y cuando la distancia entre antenas es mucho más grande que sus alturas sobre la tierra.

La expresión (22) ha sido obtenido para dipolos verticales cortos, pero también se mantienen para dipolos elevados de media onda, bajo las mismas condiciones, si dl es reemplazado por λ/π, la longitud efectiva del dipolo de media onda.

La expresión correspondiente para dipolos horizontales de media onda será:

$$E_\theta = \frac{j60\,\mathrm{sen}\,\phi}{d}\left[e^{-j\beta R_1} + R_h e^{-j\beta R_2} + (1-R_h)G e^{-j\beta R_2}\right] \qquad (2\text{-}25)$$

A distancia numéricas grandes ($|w|>20$) el factor de atenuación G se aproxima $\mu^4 F$ y así G es una cantidad muy pequeña. La atenuación de la onda de superficie para polarización horizontal es tan grande que la onda de superficie llega a ser insignificante pequeña a distancias cortas, y generalmente sólo la onda del espacio necesita ser considerada. A distancias numéricamente grandes el

factor G en exprosión (25) puede ser reemplazado por $A \cong 1/2p$, donde "p" ya ha sido definido para la polarización horizontal.

FORMULA APROXIMADA PARA PROPAGACION VHF

Ciertas simplificaciones pueden ser hechas cuando las antenas elevadas transmisoras y receptoras están bastante apartadas. Cuando estas aproximaciones son utilizadas se obtiene una fórmula simple para propagación VHF entre antenas elevadas, éstas aproximaciones son:

1) La onda de superficie puede ser insignificante en comparación con la onda del espacio.

2) El ángulo ψ es muy pequeño tal que el factor de reflexión R_v ó $R_h \cong -1$

Entonces el campo de la antena receptora debido a una corriente I amperios en una antena trasmisora de media onda es dado por:

$$|E| = \frac{60\,I}{d} \left| 1 + R_{v_h} \angle -\alpha \right|$$

$$|E| = \frac{60\,I}{d} \left| 1 - 1 \angle -\alpha \right| \qquad (2\text{-}26)$$

donde α es la diferencia de la longitud de trayectoria entre las ondas directas y reflejadas expresadas en grados. Esto es:

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}\,(R_2 - R_1) \qquad (2\text{-}27)$$

Referenciando a figura 10

$$R_2 \approx d\sqrt{1+\left(\frac{h_1+h_2}{d}\right)^2} \qquad R_1 \approx d\sqrt{1+\left(\frac{h_1-h_2}{d}\right)^2}$$

Utilizando la expansión binomial, cuando $x >> 1$,

$$(1+x)^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2}x$$

entonces:

$$R_2 - R_1 \approx d\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{h_1+h_2}{d}\right)^2\right] - d\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{h_1+h_2}{d}\right)^2\right]$$

$$R_2 - R_1 \approx 2\,\frac{h_1 h_2}{d} \qquad (2\text{-}28)$$

Se puede observar (28) que, en cálculos prácticos, esta aproximación para R2-R1, obtenido por la utilización de los dos primeros términos de una serie, dará una respuesta numérica más justa que el cálculo "exacto", utilizando un número razonable de figuras significantes. Esto es debido a que cuando dos números grandes y cercanamente iguales se restan uno de otro, figuras significantes se pierden, de tal forma que es necesario comenzar con un gran número de figuras significantes para

finalizar solamente con regular exactitud. En el método aproximado uno trabaja directamente con la diferencia entre los números y ninguna figura significante es pérdida. Entonces, de (27) y (28):

$$\alpha = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d}$$

Cuando el ángulo α es pequeño, de tal manera que $\cos \alpha \cong 1$

$$E \approx \frac{60I}{d} \operatorname{Sen} \alpha \cong \frac{60I}{d} \operatorname{Sen} \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} \qquad (2\text{-}29)$$

Si α es suficientemente pequeño de tal manera que $\operatorname{Sen} \alpha \cong \alpha$, esto se reduce a:

$$|E| = \frac{60 I \alpha}{d} = \frac{240\pi I h_1 h_2}{\lambda d^2} \quad V/m. \qquad (2\text{-}30)$$

Donde las aproximaciones utilizadas son válidas, el campo de potencia recibido es proporcional a la altura de la antena transmisora, la altura de la antena receptora, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. En la mayoría de los problemas de comunicación nos encontramos con aplicaciones en modulación de frecuencia y televisión, las aproximaciones anteriores se mantendrán de tal manera que la expresión simple de la ecuación (30) puede ser utilizada en ciertos

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Dpto. de Ingeniería Eléctrica
B I B L I O T E C A
Inv. No. ELEC - 44

casos prácticos importantes.

2.6 PROPAGACION SOBRE LA SUPERFICIE ESFERICA DE LA TIERRA

Las fórmulas para la propagación de la onda de tierra desarrolladas en las secciones precedentes fueron obtenidas en la asunción de una tierra plana o uniforme. Mientras éstas asunciones dan respuestas que son aproximadamente correctas a distancias cortas, no se puede esperar resultados correctos de campos a grandes distancias. Las distancias en las cuales las curvas de la figura 19 pueden ser utilizadas sin errores serios es dado por la relación $d = 50/f^{1/3}$ Mhz millas. Más allá de esta distancia el campo de potencia verdadero comienza a desviar del valor calculado en las asunciones de la tierra plana. La curvatura de la tierra afecta la propagación de la señal de la onda de tierra en varias formas. Primero, la curvatura de la tierra impide a la onda de superficie alcanzar el punto receptor por una trayectoria en línea recta. La onda de superficie que llega al receptor, lo alcanza por difracción alrededor de la tierra y refracción en la atmósfera baja sobre la tierra. Secundariamente, para antenas elevadas la onda del espacio es afectada en dos formas diferentes. La onda

de tierra reflejada es ahora reflejada en una superficie curvada, y su energía es dispersa más que en el caso cuando es reflejada en una superficie uniforme. Esto significa que la onda de tierra reflejada alcanzando al receptor será más debilitada que para una tierra plana por el factor de divergencia D, el cual es menor que la unidad. Finalmente, para una tierra esférica, las alturas h_1' y h_2' de las antenas transmisoras y receptoras sobre el plano tangente a la superficie de la tierra en el punto

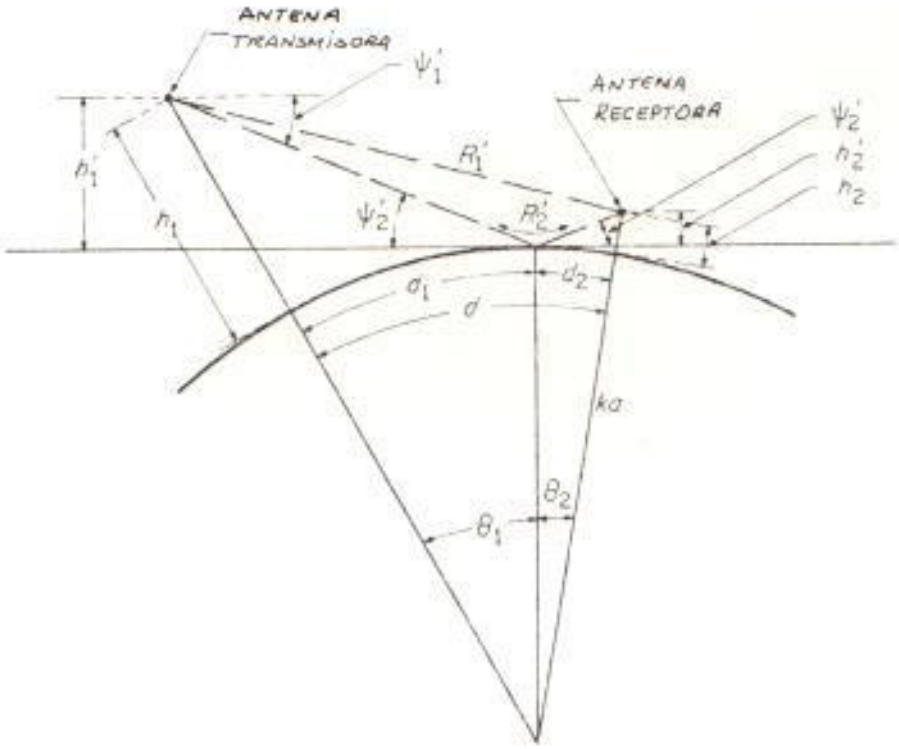


FIGURA 20.- Geometría de una tierra esférica.

de reflexión de la onda de tierra reflejada son menores que las alturas de las antenas h1 y h2 sobre la superficie de la tierra (figura 20).

Se observa que es posible obtener una solución exacta al problema de una antena sobre una tierra esférica finitamente conductora mediante la resolución de las ecuaciones de Maxwell's sujetos a las condiciones apropiadas de frontera o límite. A pesar de que soluciones formales a este problema se han obtenido, estas soluciones son mucho más complicadas que, incluso las soluciones rigurosas del plano de la tierra. Por ejemplo, una de estas soluciones es mediante la forma de una serie de armónicas esféricas con coeficientes conteniendo 12 funciones de Bessel. La convergencia de la serie es extremadamente lenta, la contribución principal estará dada por aquellos términos para el cual n es del orden del radio $2\pi R/\lambda$, donde R/λ es el radio de la tierra en longitudes de ondas. Para radiofrecuencias comunmente utilizadas, esta razón es del orden de 10^3 a 10^8. Esto así indicado aparenta una aproximación diferente debe ser utilizada si se desean respuestas numéricas, se pueden obtener respuestas exactas de ingeniería considerando varios casos particulares separadamente. El análisis detallado es complejo y en

general las expresiones que se obtienen son complicadas. Sin embargo, los resultados pueden ser ubicados en una forma gráfica conveniente para el uso de ingeniería.

C A P I T U L O III

TIPOS DE ANTENAS

Y

SUS CARACTERISTICAS

3.1.- FUENTES PUNTUALES.-

Consideremos una antena dentro un volúmen de radio b (figura 23 a).- Considerando solamente el campo lejano de la antena, se puede hacer observaciones de los campos a lo largo de un círculo de gran radio R.- A esta distancia los campos a medirse son enteramente transversos, y el flujo de potencia, o vector de POYNTING, es enteramente radial.- Es conveniente en muchos análisis asumir que los campos de las antenas son en todas partes de este tipo.- En efecto, podemos asumir, por extrapolación hacia el interior a lo largo del radio del círculo, que las ondas se originan en un emisor ficticio de poco volúmen ó FUENTE PUNTUAL, en el centro O del círculo de observación.- La verdadera variación de de campo cerca a la antena, ó "campo cercano" es ignorado y describimos la fuente de la onda solamente en

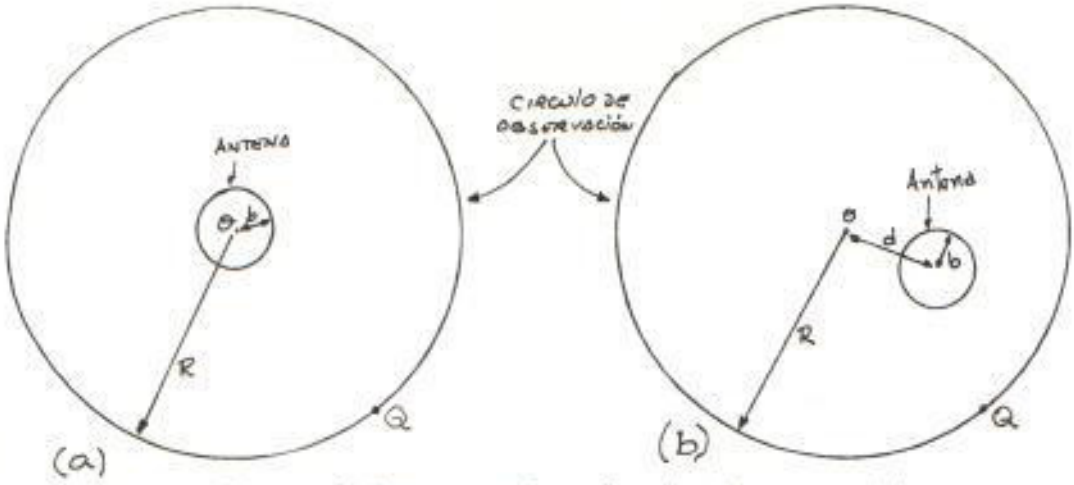


Fig. 23.- Antena y círculo de observación

términos del "campo lejano" que produce.- Considerando que las observaciones sean hechas a una distancia suficiente, cualquier antena, indiferente de su tamaño ó complejidad, puede ser representada en esta forma por una simple fuente puntual.

En vez de realizar mediciones de campos alrededor del círculo de observación con la antena fija, el efecto equivalente puede ser obtenido realizando las mediciones en un punto fijo O sobre el círculo y rotando la antena alrededor del centro O.- Este es generalmente el procedimiento más conveniente si la antena es pequeña.

En la figura 23.a el centro de la antena coincide con el centro del círculo de observación.- Si el centro de la antena es desplazada de O, de tal manera que O quede fuera de la antena como en figura 23.b, la distancia d entre los dos centros tiene un efecto insignificante sobre el patrón del campo en el círculo de observación considerando que $R >> d$, $R >> b$, y $R >> \lambda$.- Sin embargo, los patrones de fase generalmente difieren dependiendo de d.- Si d=0, el cambio de fase alrededor del círculo de observación es generalmente un mínimo.- Cuando d es incrementado , el cambio de fase que se observa llega a ser más grande.- Una descripción completa del campo

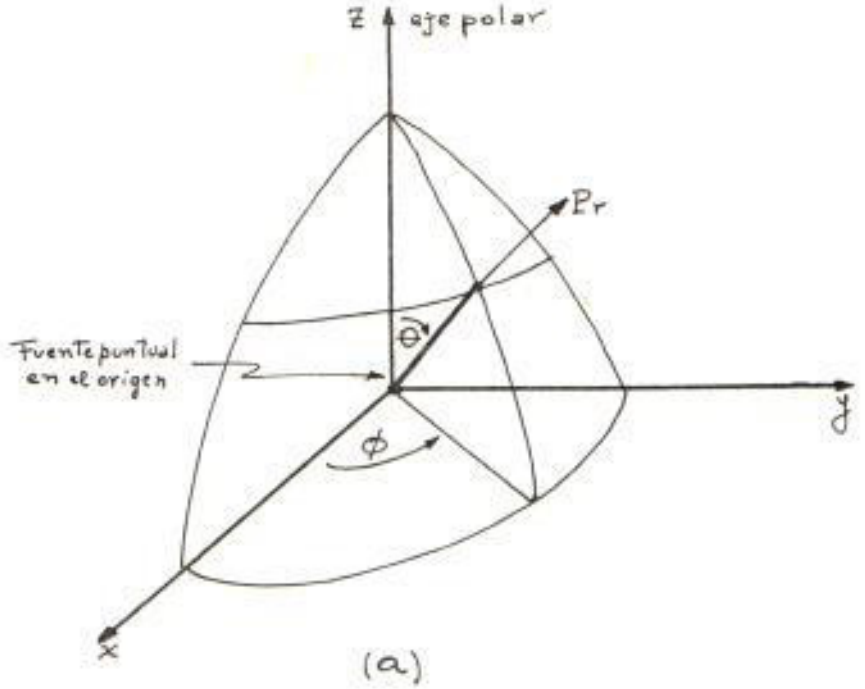
lejano de una fuente requiere un conocimiento del campo eléctrico como una función de ambos espacio y tiempo.-

Para muchos propósitos, sin embargo, no es necesario un conocimiento completo.- Puede ser suficiente especificar meramente la variación con el ángulo de la densidad de potencia de la antena (potencia por unidad de área).- En este caso la naturaleza del vector del campo es pasada por alto, y la radiación es tratada como una cantidad escalar.

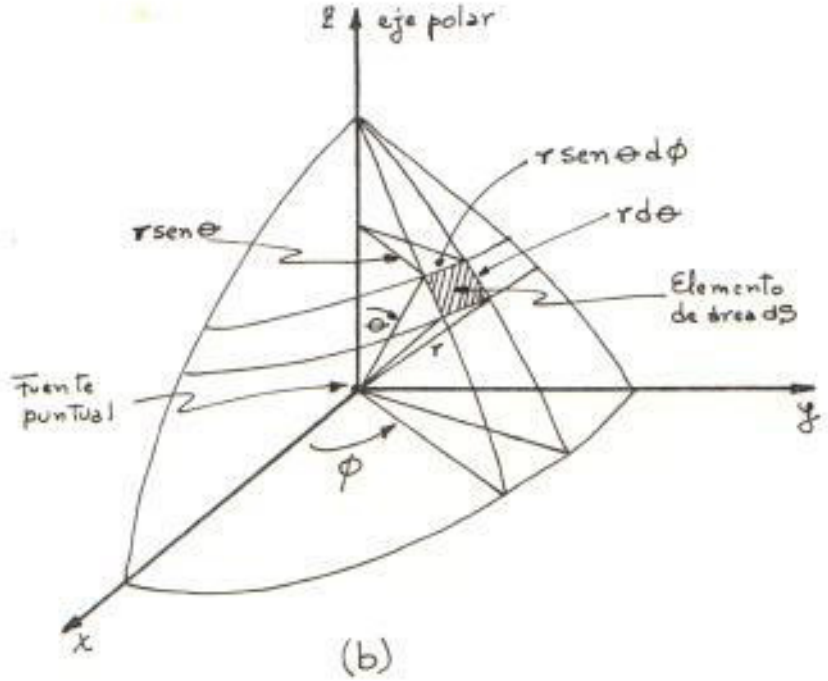
3.1.2.- PATRONES DE POTENCIA.-

Consideremos que una antena transmitiendo en el espacio libre está representada por un radiador de fuente-puntual localizado en el orígen de las coordenadas (fig.24).-

La energía radiada fluye desde la fuente en líneas radiales.- La razón de la energía que fluye por unidad de área es el vector de POYNTING, ó densidad de potencia.- El vector de POYNTING de una fuente puntual tiene sólamente un componente radial Pr, sin ningún componente



(a)



(b)

Fig. 24.- Coordenadas esféricas para una fuente puntual de radiación en el espacio libre.

en las direcciones ϕ ó θ ($P\theta = P\phi = 0$). Así, la magnitud del vector de Poynting, ó densidad de potencia, es igual al componente radial (|P := Pr).- Una fuente que irradia energía uniformemente en todas direcciones es una fuente isotrópica.- Por tanto un fuente de componente radial Pr del vector de Poynting es independiente de θ y ϕ . El gráfico de Pr a un radio constante como una función de θ ó ϕ es un vector de poynting, que generalmente es denominado un PATRON DE POTENCIA.- Sin embargo la fuente isotrópica es conveniente sólo en teoría, no es fisicamente realizable, considerando que la antena más simple tiene propiedades direccionales, esto es, ellas irradian más energía en algunas direcciones que en otras. En contraste a las fuentes isotrópicas ellas pueden ser denominadas realmente fuentes NO-ISOTROPICAS.

Si se considera la relación compleja del flujo de potencia a través de cualquier superficie cerrada:

$$W = \frac{1}{2} \iint (E \times H^*) \cdot dS \qquad (3\text{-}1)$$

donde E es el vector complejo del campo electrico y H* es la conjugada compleja del campo magnético.- Si el vector

de Poynting es conocido en todos los puntos sobre una esfera de radio r sobre una fuente puntual en un medio de pérdidas mínimas, "la potencia total radiada por la fuente es el integral sobre la superficie de la esfera de el componente radial Pr del vector de Poynting". Si el vector de Poynting es:

$$\mathcal{P} = \frac{1}{2} Re\,(E \times H^*) \quad \text{(parte real)} \qquad (3\text{-}2)$$

Tomando la parte real de (3.1) y poniendo en (3.2)

$$W = \iint P \cdot ds = \iint Pr \cdot ds \qquad (3\text{-}3)$$

Donde: W = potencia radiada en watts.

Pr = componente radial del vector de Poynting en watts por metro cuadrado.

ds = elemento infinitésimal del área de la esfera (figura 24b) = $r2\ \text{sen}\,\theta\, d\theta\, d\phi$

Como para una fuente isotrópica Pr es independiente de θ y de ϕ, entonces:

$$W = Pr \iint ds \qquad (3\text{-}4)$$

El integral es igual al área de la esfera, de tal forma que:

$$W = P_r 4\pi r^2 \qquad (3-5)$$

ó

$$P_r = \frac{W}{4\pi r^2} \qquad (3-6)$$

Esta última ecuación establece que la magnitud del vector Poynting varía inversamente con el cuadrado de la distancia desde la fuente puntual radiadora (r se mide en metros).-

3.3.- DIPOLO ELECTRICO.-

3.3.1.- DIPOLO ELECTRICO CORTO

Una antena cuyas dimensiones son mucho más pequeñas que una longitud de onda es denominada como "antena eléctricamente pequeña".- La más simple de éstas antenas son los dipolos eléctricos cortos (Figura 25); en en esta antena la corriente se aproxima a cero al final del alambre como se indica en la figura 25b.- Para un alambre delgado (diámetro mucho menor que la longitud de la onda) la distribución de la corriente es

aproximadamente sinusoidal.- El decrecimiento de la corriente hacia los extremos requiere que la carga se abra y se dirija hacia afuera como aparece en la superficie del alambre de la figura 25a.- Esta acumulación de carga lleva a un desplazamiento de la densidad de la corriente $jw\epsilon E$ en el espacio circundante al dipolo.-

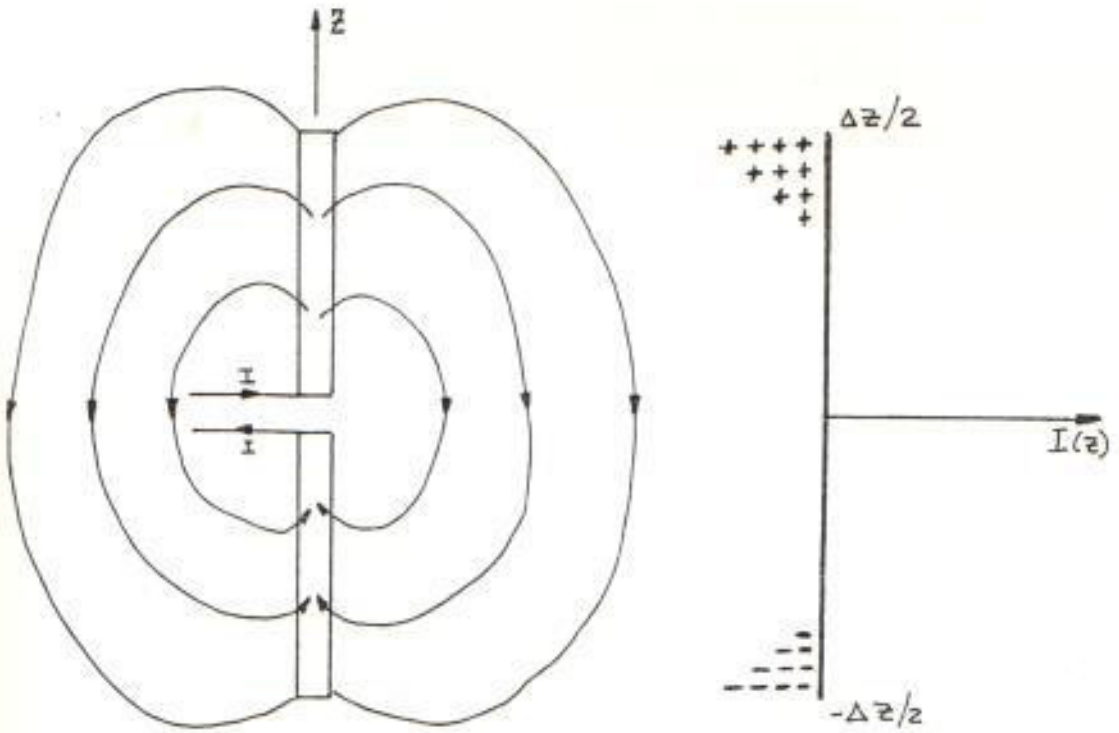


Fig. 25.- Dipolo Corto $\Delta z \ll \lambda$.

(a) Corriente en la antena y el campo eléctrico circundante

(b) Distribucion de Carga y Corriente.

El desplazamiento de la densidad de la corriente produce una onda electromagnética que se propaga hacia afuera de la fuente.- Esto es una visualización de el fenómeno de radiación.

Desde que la corriente de entrada esta cambiando sinusoidalmente con el tiempo, la corriente y la distribución de carga en el dipolo también lo estará. Como Δz llega a ser extremadamente pequeña la distribución sinusoidal de la corriente puede ser aproximada a una distribución triangular. La resistencia de radiación utilizando la distribución triangular de corriente es:

$$R_r = 20\pi^2 \left(\frac{\Delta z}{\lambda}\right)^2 \text{ Ohms} \quad (\text{dipolo corto}) \qquad (3\text{-}7)$$

La reactancia de entrada del dipolo corto es capacitiva.- Esto puede ser observado vizualizando la antena como una línea de transmisión de circuito abierto.-

En el dipolo ideal toda la carga se acumula en los extremos de la antena.- En efecto, el dipolo ideal puede ser analizado ya sea como una corriente uniforme o como dos puntos de carga, todos oscilando a una frecuencia de radiación w.-

Para dipolos pequeños, si la corriente en el

alambre vertical es cercanamente uniforme la resistencia de radiación es dada aproximadamente por:

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{\Delta z}{\lambda}\right)^2 \quad \text{ohms} \qquad (3.8)$$

donde Δz es la longitud de la sección con corriente uniforme.-

3.3.2.- ANTENAS DE DIPOLOS

Para los dipolos se asume que la distribución de corriente es sinusoidal, lo cual es una buena aproximación verificada por mediciones.- La corriente debe, por supuesto, ser cero en los extremos.- Se utiliza la distribución de corriente la cual es encontrada en una línea de transmisión de alambres paralelos en circuito abierto.- Se asume que si al final la línea de transmisión es doblada hacia afuera forma una antena de alambre, la distribución de corriente a lo largo de la porción doblada generalmente no cambiada. Sin embargo, esto no es estrictamente verdad, es una buena aproximación para antenas delgadas, para las cuales el

diámetro del conductor está en el orden de 0.01λ o menor.

Una antena de dipolo en línea recta (figura 26) orientada a lo largo del eje z es alimentada en el centro desde una línea balanceada de transmisión de dos alambres, esto es, las corrientes en cada alambre son

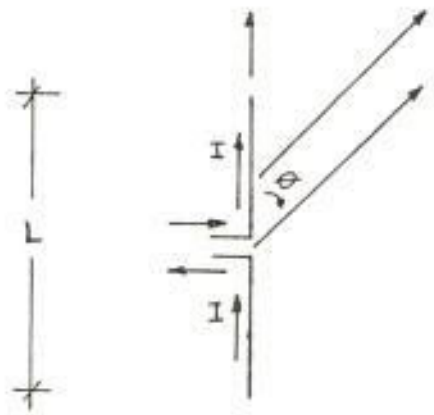


Figura 26.- Antena de Dipolo

iguales en magnitud y opuestas en dirección.- La distribución de corriente a lo largo de la antena se asume es sinusoidal y puede ser descrita como:

$$I(z) = I_m \operatorname{Sen}\left[\beta\left(\frac{L}{2} - |z|\right)\right] \qquad (3\text{-}9)$$

$$|z| < \frac{L}{2}$$

Se asume que un generador de ondas sinusoidales de frecuencia de radiación $\omega = 2\pi C/\lambda$ es conectado a la

entrada de la línea de transmisión.- El patrón de la onda estable de la corriente en cualquier instante de tiempo es obtenido multiplicando la ecuación (3-9) por cos wt.-

Para obtener el patrón de radiación del dipolo primero evaluamos el integral de radiación:

$$fun = \int_{-L/2}^{L/2} I(z)\, e^{j\beta z' \cos\theta}\, dz' \qquad (3\text{-}10)$$

Sustituyendo la expansión de la corriente (3-9)

$$fun = \int_{-L/2}^{0} Im\, Sen\left[\beta\left(\frac{L}{2} + z'\right)\right] e^{j\beta z' \cos\theta}\, dz'$$

$$+ \int_{0}^{L/2} Im\, Sen\left[\beta\left(\frac{L}{2} - z'\right)\right] e^{j\beta z' \cos\theta}\, dz'$$

Evaluando estos integrales se obtiene el denominado "patrón no normalizado"

$$fun = \frac{2\,Im}{\beta} \cdot \frac{\cos\left[(\beta L/2)\cos\theta\right] - \cos(\beta L/2)}{Sen^2\theta} \qquad (3\text{-}11)$$

Considerando la ecuación de la intensidad del campo eléctrico para la zona lejana:

$$E = j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}\, Sen\theta \int_{-L/2}^{L/2} I(z')\, e^{j\beta z' \cos\theta}\, dz'$$

Se tendrá entonces:

$$E_\theta = j\omega\mu \operatorname{Sen}\theta \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \cdot \frac{2Im}{\beta} \cdot \frac{\cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{\operatorname{Sen}^2\theta} \quad (3\text{-}12)$$

La variación de esta función determina el patrón del campo lejano .- Ordenando los factores de esta expresión se pueden identificar dos nuevos conceptos para el patrón de radiación:

$$E_\theta = \left(j\omega\mu \frac{2Im}{\beta} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}\right)\left(\operatorname{Sen}\theta\right)\left(\frac{\cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{\operatorname{Sen}^2\theta}\right)$$

de tal manera que:

$$E_\theta = E_{\theta máx}\, g(\theta)\, f(\theta) \quad (3\text{-}13)$$

donde $g(\theta)$ es el "elemento factor" que representa el patrón de un elemento de corriente infinitésimal en la distribución de corriente, y $f(\theta)$ es el "factor del patrón" que viene a ser el integral sobre la corriente y es debido estrictamente a la distribución de la corriente en el espacio.- Por tanto se tiene que:

$$g(\theta) = \operatorname{Sen}\theta \quad (3\text{-}14)$$

$$f(\theta) = \frac{\cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{\operatorname{Sen}^2\theta} \quad (3\text{-}15)$$

3.3.3.- DIPOLO DE MEDIA ONDA.-

Una antena muy utilizada es la antena de dipolo de media onda.- Es una corriente lineal cuya amplitud varía como una unidad de una onda sinusoidal con un máximo en el centro.-

Por simplicidad asumiremos que va a ser un filamento de corriente. También será asumido que fluya en un alambre infinitamente delgado, perfectamente conductivo y de longitud de media onda.- La ventaja de un dipolo de media onda es que puede ser hecho para resonar y presentar una reactancia de entrada cero, eliminando así la necesidad de alcanzar una impedancia conjugada.- Para obtener una condición resonante para un dipolo de media onda la longitud física debe ser de alguna manera más pequeña que una longitud de media onda en el espacio libre y como el alambre delgado de la antena es incrementado la longitud debe ser reducida más para conseguir resonancia.-

Generalmente la distribución de la corriente es colocada a lo largo del eje Z y para la mitad de la onda sinusoidal de corriente, la distribución será:

$$I(z) = I_m \operatorname{Sen}\left[\beta(\lambda/4 - |z|)\right] \qquad |z| \leq \frac{\lambda}{4} \qquad (3\text{-}16)$$

Siendo:

$$\beta = 2\pi/\lambda$$

Esta corriente será cero en los extremos (para $Z = \pm \lambda/4$) y su máximo valor Im ocurre en el centro ($Z = 0$), como se muestra en la figura 27.- A partir de la corriente podemos calcular el patrón de radiación. Dado que esta direccionada en el eje Z, el campo eléctrico será:

$$E_\theta = j\omega\mu \operatorname{Sen}\theta \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \int I(z')\, e^{j\beta z' \cos\theta} dz' \qquad (3\text{-}17)$$

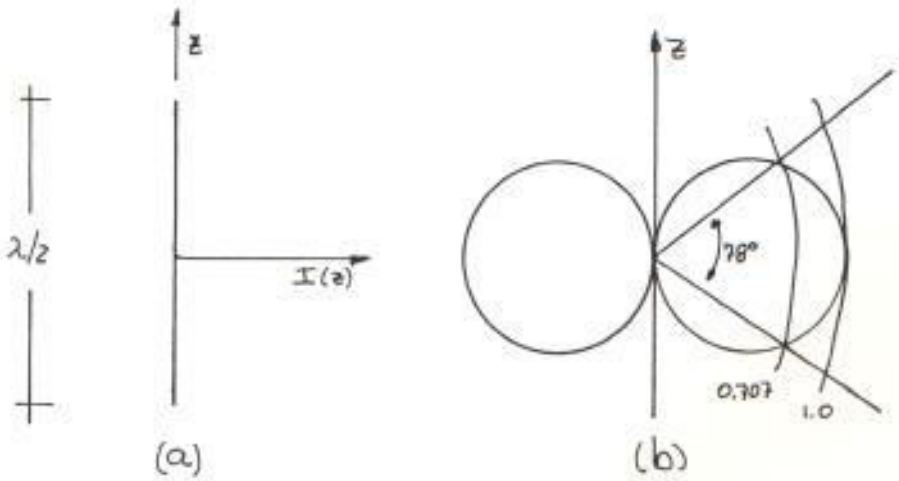


Figura 27.- Dipolo de Media Onda.

(a) Distribución de corriente I(Z).

(b) Patrón de radiación $F(\theta)$.

Sustituyendo (3-16) en (3-17) y evaluando:

$$f_{un} = \int I(z')\, e^{j\beta z' \cos\theta} dz' = \int_{-\lambda/4}^{\lambda/4} Im \operatorname{Sen}\left(\frac{\pi}{2} - \beta|z'|\right) e^{-j\beta z' \cos\theta} dz'$$

$$f_{un} = Im \int_{-\lambda/4}^{0} \operatorname{Sen}\left(\frac{\pi}{2} - \beta z'\right) e^{-j\beta z' \cos\theta} dz' + Im \int_{0}^{\lambda/4} \operatorname{Sen}\left(\frac{\pi}{2} - \beta z'\right) e^{-j\beta z' \cos\theta} dz' \qquad (3\text{-}18)$$

donde fun es el factor del patrón no normalizado.-

Utilizando el integral

$$\int Sen\,(a+bx)\,e^{-cx}\,dx = \frac{e^{cx}}{b^2+c^2}\left[c\,Sen\,(a+bx) - b\,Cos(a+bx)\right] \quad (3\text{-}19)$$

Utilizando (3-18) en (3-19) tenemos:

$$f_{un} = Im\,\frac{e^{+j\beta z'\cos\theta}}{\beta^2-\beta^2\cos^2\theta}\left[j\beta\cos\theta\,Sen\left(\frac{\pi}{2}+\beta z'\right) - \beta\cos\left(\frac{\pi}{2}+\beta z'\right)\right]_{-\lambda/4}^{0}$$

$$+\,Im\,\frac{e^{j\beta z'\cos\theta}}{\beta^2-\beta^2\cos^2\theta}\left[j\beta\cos\theta\,Sen\left(\frac{\pi}{2}+\beta z'\right) + \beta\cos\left(\frac{\pi}{2}+\beta z'\right)\right]_{0}^{\lambda/4}$$

$$f_{un} = \frac{Im}{\beta^2 Sen^2\theta}\left[j\beta\cos\theta - e^{-j(\pi/2)\cos\theta}(-\beta) + e^{j(\pi/2)\cos\theta}(\beta) - j\beta\cos\theta\right]$$

$$f_{un} = \frac{Im}{\beta^2 Sen^2\theta}\,2\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right) \quad (3\text{-}20)$$

Sustituyendo esto en (3-10) da:

$$E_\theta = j\omega\mu\,\frac{2\,Im}{\beta}\cdot\frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}\cdot Sen\,\theta\,\frac{\cos\left[(\pi/2)\cos\theta\right]}{Sen^2\theta} \quad (3\text{-}21)$$

En esta expresión identificamos el "elemento factor" $g(\theta) = \text{Sen}\,\theta$ y el "factor de patrón normalizado":

$$f(\theta) = \frac{\text{Cos}\left[(\pi/2)\,\text{Cos}\,\theta\right]}{\text{Sen}^2\theta} \qquad (3\text{-}22)$$

Ambos $g(\theta)$ y $f(\theta)$ son máximos para $\theta = \pi/2$ y tienen un valor de la unidad.- Por tanto el patrón de radiación del campo eléctrico es:

$$F(\theta) = g(\theta)\,f(\theta) = \frac{\text{Cos}\left[(\pi/2)\,\text{Cos}\,\theta\right]}{\text{Sen}\,\theta} \qquad (3\text{-}23)$$

3.4.- ARREGLOS DE ANTENAS

Varias antenas pueden ser ordenadas y arregladas en el espacio e interconectadas para producir un patrón de radiación direccional.- A esta configuración de multiples elementos radiantes es conocido como un ARREGLO DE ANTENAS ó simplemente un ARREGLO.- Muchas antenas pequeñas se pueden utilizar en un arreglo para obtener un comportamiento similar al de una sola antena grande. Los problemas mecánicos asociados con una antena grande son cambiados por los problemas eléctricos de alimentación

de varias antenas pequeñas.- Con las ventajas de la tecnología de estado sólido, la alimentación de la red requerida para la excitación del arreglo es mejorada en su calidad y reducida en su costo.- Los arreglos ofrecen la capacidad única de la búsqueda electrónica del lóbulo principal de radiación.- Cambiando la fase de las corrientes excitantes en cada elemento del anrreglo, el patrón de radiación puede ser variado a través del espacio.-

Los arreglos se pueden obtener en muchas configuraciones geométricas.- El más elemental es el ARREGLO LINEAL en el cual los elementos del arreglo están centrados a lo largo de una línea recta.- Los elementos pueden estar espaciadas igualmente ó desigualmente.- Cuando los elementos del arreglo son colocados en un plano se denomina, un ARREGLO PLANAR._- Ejemplos de arreglos planares son arreglos circulares y rectangulares, en los cuales los elementos están dispuestos en un círculo ó dentro de un área rectangular, respectivamente.- En un arreglo lineal típico, que está compuesto de elementos similares de antenas, la salida de cada elemento puede ser controlado en amplitud y fase. Por tanto el patrón del arreglo que se obtiene debido al conjunto de patrones individuales de cada arreglo es denominado el "FACTOR DEL

ARREGLO " (AF).- Si se reemplaza cada elemento del arreglo (sin perturbar las corrientes relativas o las posiciones) con una fuente puntual isotrópica, el patrón resultante es el "factor del arreglo" (AF).-

Supongamos que tenemos un arreglo lineal de varios elementos, estos están igualmente espaciados como se muestra en la figura 28.- El ángulo θ es aquel de la onda plana entrante relativa al eje del arreglo receptor.- Las fuentes de cada elemento responden igualmente en todas las direcciones pero cuando sus salidas son reunidas y agregadas (cada una valorizada de acuerdo a In) se obtiene una respuesta direccional . La fase de la onda en el origen se la asigna arbitrariamente a cero. La onda entrante en elemento 1 llega antes que aquella del origen debido a que la distancia es más corta por una longitud "d cos θ ".- La fase correspondiente de la onda en el elemento relativo 1 es "βd cos θ ".- Este proceso se continúa y se obtiene:

$$AF = I_0 + I_1 e^{j\beta d \cos\theta} + I_2 e^{j\beta 2d \cos\theta} + \ldots$$

$$AF = \sum_{n=0}^{n=1} I_n e^{j\beta n d \cos\theta} \qquad (3\text{-}24)$$

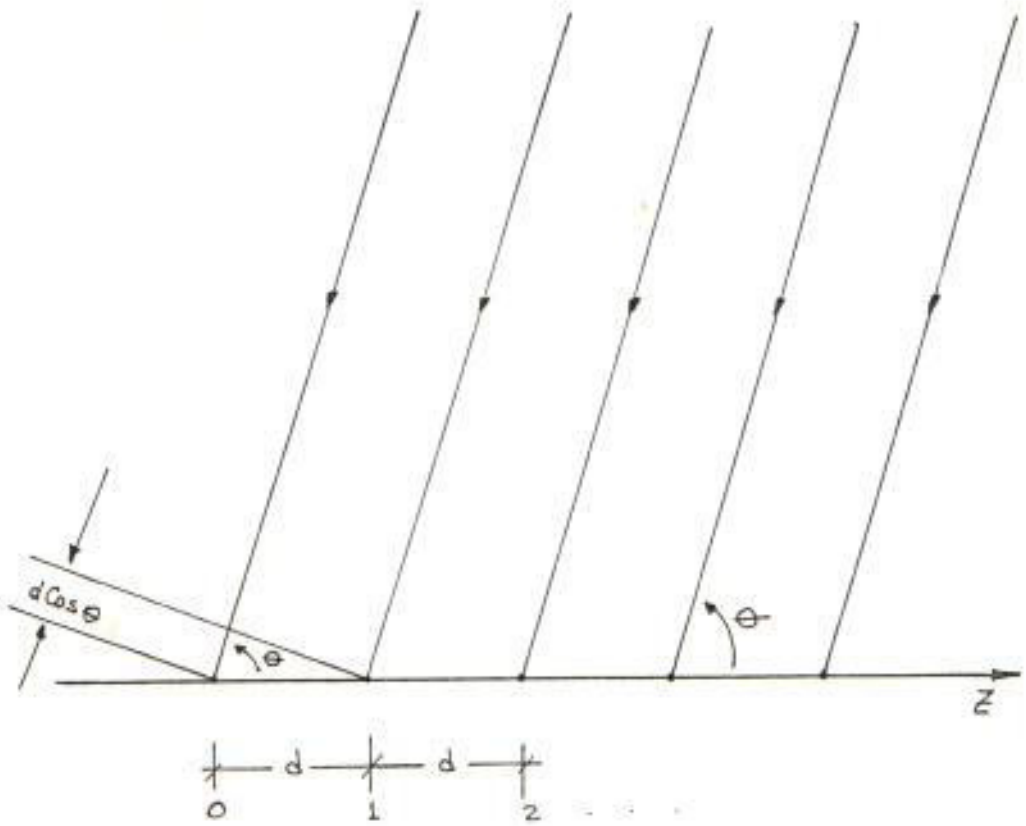


Figura 28.- Arreglo lineal igualmente espaciado de fuentes puntuales isotrópicas.

Ahora consideremos que el arreglo esta transmitiendo.- Si la corriente tiene una propagación lineal de fase (fase relativa entre elementos adyacentes es la misma), separaremos esta fase explícitamente como:

$$I_n = A_n e^{jn\alpha}$$

donde el n+1 elemento dejará al elemento n en fase por α .- Entonces la ecuación (3-24) será:

$$AF = \sum_{n=0}^{n} A_n e^{jn(\beta d \cos\theta + \alpha)} \qquad (3\text{-}25)$$

Definiendo:

$$\psi = \beta d \cos\theta + \alpha \qquad (3\text{-}26)$$

se obtiene:

$$AF = \sum_{n=0}^{n} A_n e^{jn\psi} \qquad (3\text{-}27)$$

Este "factor del arreglo" es una función de ψ y se lo puede reconocer como una serie de Fourier, lo cual es conveniente para cálculos, pero generalmente se desea graficar puntos en términos del arreglo polar θ .-

Procedamos a sumar esta serie geométrica.- Primero multipliquemos (3-27) por $e^{j\psi}$ y obtendremos:

$$AF e^{j\psi} = A_0 \left(e^{j\psi} + e^{j2\psi} + \ldots\ldots + e^{jN\psi}\right) \qquad (3\text{-}28)$$

Restando ésta de la anterior dá:

$$AF\left(1 - e^{j\psi}\right) = A_0\left(1 - e^{jn\psi}\right)$$

$$AF = \frac{1 - e^{jn\psi}}{1 - e^{j\psi}} A_0$$

Lo cual puede ser reescrito en forma más conveniente como:

$$AF = A_0 \frac{e^{jn\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} = A_0 \frac{e^{jN\psi/2}}{e^{jN\psi/2}} \cdot \frac{e^{jN\psi/2} - e^{-jN\psi/2}}{e^{j\psi/2}}$$

$$AF = A_0 e^{j(N-1)\psi/2} \cdot \frac{Sen\,(N\psi/2)}{Sen\,(\psi/2)} \qquad (3\text{-}29)$$

El factor de fase $e^{j(N-1)\psi/2}$ no es importante (a menos que se trate de combinar la señal de salida de la antena con la salida de otra antena).- En efecto, si el arreglo estuviera centrado en el origen, el factor de fase no estaría presente debido a que representa la fase trasladada de la fase central del arreglo relativo al origen.- Despreciando este factor de fase se tendrá:

$$AF = A_0 \frac{Sen\,(N\psi/2)}{Sen\,(\psi/2)} \qquad (3\text{-}30)$$

Siendo Ao la amplitud de la corriente, la cual es idéntica en cada elemento.- El factor normalizado del arreglo con N elementos, uniformemente excitado, igualmente espaciado y centrado en el origen de las coordenadas será:

$$f(\psi) = \frac{Sen(N\psi/2)}{N\,Sen(\psi/2)} \qquad (3\text{-}31)$$

Hasta aquí este estudio se refiere solamente a arreglos de fuentes puntuales isotrópicas.- Pero generalmente los arreglos de antenas están constituídos de elementos de antenas cercanamente idénticas los cuales, por supuesto, no son isotrópicas.-

El proceso de factorizar el patrón de un arreglo en un elemento patrón y un factor de arreglo se refiere como el "principio de multiplicación de patrones".- Se establece como sigue: "el patrón del campo eléctrico de un arreglo consistente de elementos similares es el producto del patrón de uno de los elementos (elemento patrón) y el patrón de un arreglo de fuentes puntuales isotrópicas con la misma localización, amplitudes relativas y fases como el arreglo original (factor del arreglo)". En punto 3.3.2 se escribió el patrón normalizado del campo eléctrico de una antena como el producto de un elemento factor "$g(\theta)$" y el factor del patrón "$f(\theta)$".- Para arreglos

de antenas se expande este concepto, al elemento se lo denomina $g_a(\theta)$ y al factor del arreglo $f(\theta)$, de tal manera que el patrón normalizado completo del arreglo será:

$$F(\theta) = g_a(\theta) f(\theta) \qquad (3\text{-}32)$$

3.5.- ANTENAS YAGI.-

Un arreglo lineal parasítico de dipolos paralelos es denominado una ANTENA YAGI-UDA.-

Un arreglo parasítico es aquel en el cual la alimentación de la red es sólo para unos pocos elementos, y los elementos que no son manejados directamente (llamados PARASITOS) reciben su excitación por acoplación con el campo cercano de los elementos alimentados directamente.- Las antenas YAGI son muy populares debido a su simplicidad y ganancia relativamente alta.-

La unidad básica de una YAGI consiste de tres elementos.- Consideremos primero un elemento manejador (ó "DRIVER") y le agregamos elementos parásitos al arreglo.- El elemento manejador es un dipolo resonante de media onda.- Si un elemento parasíto es colocado cercanamente a él, éste es excitado por el "driver" con

aproximadamente igual amplitud, de tal manera que el campo incidente en el parásito es:

$$E_{incidente} = E_{driver}$$

Una corriente es excitada en el parásito y el campo eléctrico radiado resultante, tambien tangente al alambre, es igual en amplitud y opuesto en fase a la onda incidente.- Esto es debido a que el campo eléctrico que llega al parásito desde el "driver" es tangencial a él y el campo eléctrico total tangencial a un buen conductor es cero.- Así el campo radiado por el parásito es tal que el campo tangencial total, en el parásito es cero, ó:

$$E_{incidente} + E_{parásito} = 0$$

Combinando ésto con la expresión anterior se tiene que:

$$E_{parásito} = - E_{incidente} = - E_{driver}$$

Según la teoría de arreglos para éste caso de dos elementos cercanos, de igual amplitud, y elementos opuestos en fase se tiene un patrón "endfire". Se puede demostrar que cuando el elemento parásito es más largo que el "driver" un solo lóbulo principal se obtiene en la dirección desde el parásito hacia el "driver" a lo largo

de la línea del arreglo.- A éste parásito se lo conoce como "REFLECTOR" debido a que parece reflejar radiación desde el "driver". Si el parásito es más corto que el "driver", pero colocado en el otro lado del "driver", el efecto del patrón es similar a aquel cuando se utiliza un reflector en el sentido que el lóbulo principal está en la misma dirección.- El elemento parásito es entonces referido como un DIRECTOR desde que parece dirigir radiación en la dirección del "driver" hacia el director.-

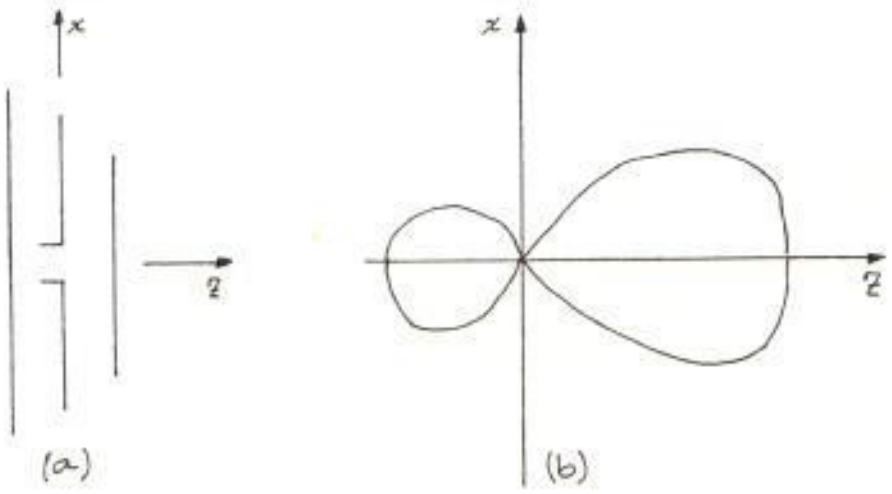


FIGURA 29.- Antena YAGI de tres elementos:

- Un "Driver" de longitud 0.4781 λ,
- Un Reflector de longitud 0.49 λ,
- Un Director de longitud 0.45λ, cada una espaciada0.04λ.

El radio del alambre para cada uno es 0.001λ.- (a) Configuración del arreglo. (b) Patrón del campo E calculado por métodos numéricos.-

El lóbulo creado por el uso de un reflector ó de un director solo con un "driver" sugiere el hecho de alcanzar una optimización con la utilización de un reflector y un director en lados opuestos de un "driver".- Este es el caso de la antena YAGI de tres elementos (figura 29).

La máxima directividad que se obtiene de una antena de este tipo es alrededor de 9dB, siendo los espacios óptimos del orden de 0.15 a 0.25 longitudes de onda entre el reflector y el "driver" y también entre el "driver" y el director.- Normalmente el reflector es más largo en 5% ó más y el director es más coro en 5% ó más de la longitud resonante del "driver", la cual no difiere en forma significante de su longitud resonante cuando opera sin la presencia de parásitos.-

Trabajos teóricos y prácticos han encontrado que si se aumentan los "directores" se obtiene sólo una pequeña mejora en el lóbulo de radiación, y que de otra forma, si se agregan más "directores" se incrementa la ganancia. Una antena YAGI incluye generalmente varios directores (fig.30)

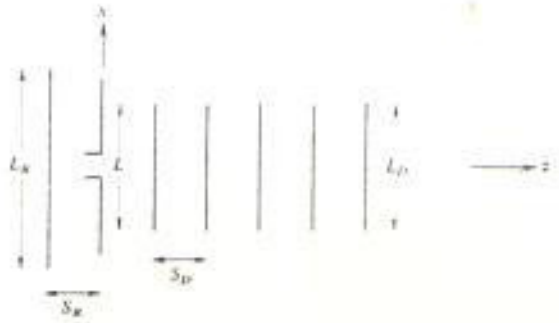


Figura 30. Configuración General para una Antena YAGI.-

Debido al decrecimiento de las amplitudes de corrientes para los directores a medida que se alejan del "driver", existe un pequeño incremento de ganancia para cada director añadido al final del arreglo YAGI.- En efecto, la adición de directores hasta 5 provee un incremento significante en la ganancia, pero el incremento adicional proporciona sólo una pequena ganancia.

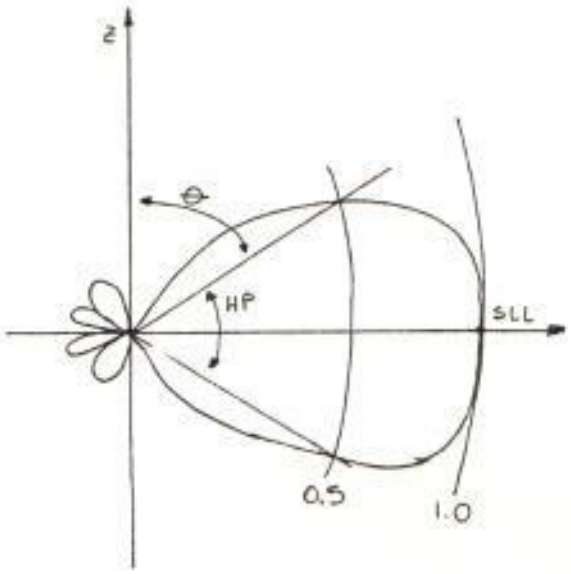
Las características de un antena YAGI son afectadas por todos los parámetros geométricos del arreglo.- Afortunadamente cambios menores en la geometría producen sólo cambios menores en la perfomance de la antena. En la

tabla T1 se presentan características de varias antenas YAGI, datos de resultados obtenidos por cálculos matemáticos complejos y comprobados con resultados experimentales y prácticos.- Todos los elementos del arreglo tienen conductores de diámetro de 0.005 λ.- En la mayoría de los casos el elemento "driver" es un dipolo, y el utilizado en los cálculos de la tabla es un dipolo resonante de media onda.-

Mediante los datos de la tabla se puede obtener por métodos de aproximación una fórmula del patrón de radiación (factor del arreglo $f(\theta)$).

$$F(\theta) = \operatorname{Sen}\theta \; \frac{\left(\operatorname{Sen}\left(N\beta\cos\theta\right)\right)}{N\operatorname{Sen}\left(\beta\cos\theta\right)}$$

La antena YAGI es una de las más populares de las antenas en uso en el rango de frecuencias HF, VHF y UHF.- Proveen alta ganancia y al mismo tiempo ofrecen baja sobrecarga y bajo costo.- Tienen relativamente un ancho de banda angosto, pero su alta ganancia a tan bajo costo la hacen disponible sobre un rango establecido de frecuencias.-



Diámetro conductor 0.005λ

Espacio entre elem. 0.30λ

Longitud de elementos :

Reflector (LR) 0.475λ

Driver (L) 0.454λ

Director (LD) 0.445λ

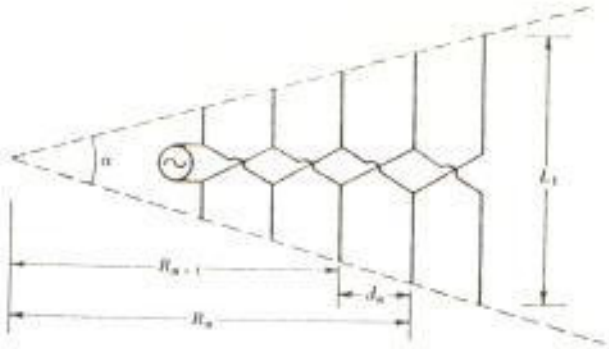
Nro. Elementos	Ganancia (dB)	HP_E	θ_{HP}	SLL_E (dB)	Sen θ	Cos θ	sen θ Sen(N Cos θ)
3	9.4	66	57	-34.5	0.589893	0.544639	0.5887182
4	10.7	58	61	-18.5	0.669049	0.48481	0.6241484
5	11.0	54	63	-16.1	0.707348	0.45399	0.5555514
6	11.6	52	64	-14.8	0.725845	0.43837	0.3552064
7	12.7	46	67	-12.6	0.779958	0.39073	0.3083876

TABLA T1.- Características de Antenas YAGI espaciadas igualmente.

3.6. ANTENAS LOG-PERIODICAS.

Una antena log-periódica es una antena que tiene una estructura geométrica tal que su impedancia y caractesticas de radiación se repiten periódicamente como el logaritmo de la frecuencia.- En la práctica las variaciones sobre la banda de frecuencia de operación son menores, y las antenas log-periódicas están generalmente consideradas a ser antenas indepedientes de la frecuencia.

Un arreglo log-periódico de dipolos (LPDA) es un arreglo alimentado en serie, de dipolos paralelos con sucesivos incrementos de longitud de cada uno de los elementos (figura 31).- Como se muestra en la figura, una cuña del ángulo encerrado α limita las longitudes de los dipolos.-



FG. 31.- Geometría de un Arreglo Log-Periódico de dipolos

El factor escalar τ para esta antena (LPDA) es:

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} < 1 \qquad (3\text{-}34)$$

El triángulo del ángulo encerrado $\alpha/2$ revela que:

$$\text{Tang}\,\frac{\alpha}{2} = \frac{L_n/2}{R_n} = \frac{L_{n+1}/2}{R_{n+1}} \qquad (3\text{-}35)$$

Así:

$$\frac{L_1}{R_1} = \ldots = \frac{L_n}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{R_{n+1}} = \ldots = \frac{L_N}{R_N} \qquad (3\text{-}36)$$

Utilizando este resultado en (3-34):

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{L_n} \qquad (3\text{-}37)$$

Así la razón de las posiciones de elementos sucesivos es igual a la razón de las longitudes de dipolos sucesivos.-

El factor de espaciado para la LPDA es definido como:

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} \qquad (3\text{-}38)$$

donde el espaciado de los elemetos está dado por:

$$d_n = R_n - R_{n+1} \tag{3-39}$$

Pero $R_{n+1} = T R_n$, así:

$$d_n = R_n - T R_n = (1 - T) R_n \tag{3-40}$$

Según (3-35) $R_n = L_n/2 \, \text{Tang}(\alpha/2)$

Utilizando esto en (3-40)

$$d_n = (-T) \frac{L_n}{2 \, \text{Tang}(\alpha/2)}$$

y sustituyendo esto en (3-38):

$$\sigma = \frac{d_n}{2 L_n} = \frac{1 - T}{4 \, \text{Tang}(\alpha/2)} \tag{3-41}$$

ó

$$\alpha = 2 \, \text{Tang}^{-1} \left(\frac{1 - T}{4\sigma} \right) \tag{3-42}$$

Combinando (3-41) con (3-37), se nota que todas las dimensiones están relacionadas por:

$$T = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} \tag{3-43}$$

Existe una región activa para la LPDA, donde los pocos dipolos cercanos a uno que tiene de largo media longitud de onda soportan mucho más corriente que los demás elementos radiantes.- Es conveniente examinar la operación de la LPDA en forma similar a aquella de una antena YAGI.- El dipolo más largo detrás del dipolo más activo (con mayor corriente) se comporta como un reflector y el dipolo adyacente más corto en el frente actúa como un director.- La radiación es entonces fuera del ápice (cima).- El eje encerrando la antena forma una flecha apuntando en la dirección del lóbulo principal máximo.-

Como la frecuencia de operación cambia, la región activa se traslada a una porción diferente de la antena.- Los límites de frecuencia de la banda operacional están aproximadamente determinadas por las frecuencias en las cuales los dipolos más cortos y más largos son resonantes de media onda, esto es:

$$L_1 \approx \frac{\lambda_L}{2} \quad y \quad L_N \approx \frac{\lambda_n}{2} \qquad (3\text{-}44)$$

donde λ_L y λ_n son las longitudes de ondas

correspondientes a los límites de frecuencia inferior y superior. Debido a que la región activa no es confinada completamente a un dipolo, a menudo los dipolos son agregados a cada final del arreglo para asegurar adecuada perfomance sobre la banda.- El número de dipolos adicionales requeridos es una función de τ y σ .- Pero para aplicaciones no criticas (3-44) es suficiente.-

El patrón de radiación, la ganancia y la impedancia de una LPDA dependen del diseño de los parámetros τ y σ .- Debido a que la LPDA es una antena muy popular de simple construcción, bajo costo, y de peso ligero, se obtiene los detalles del diseño mediante ejemplos. Algunos contornos de la ganancia se grafican en figura 32 como una función de τ y σ. Se debe notar que una alta ganancia requiere un valor alto de τ , lo cual significa una muy baja expansión, esto es, una LPDA de gran longitud.- La ganancia óptima es graficada en la figura 32 y da los valores escalares para un valor dado de ganancia.-

En la figura 33 se muestra la ganancia, el patrón y el comportamiento de la impedancia como una función de la frecuencia.-

Considerando los patrones de radiación presentados en la figura 33 y mediante métodos de aproximación se puede obtener una función que grafica el patrón mediante la siguiente relación :

$$F(\theta) = Sen^3(\theta)$$

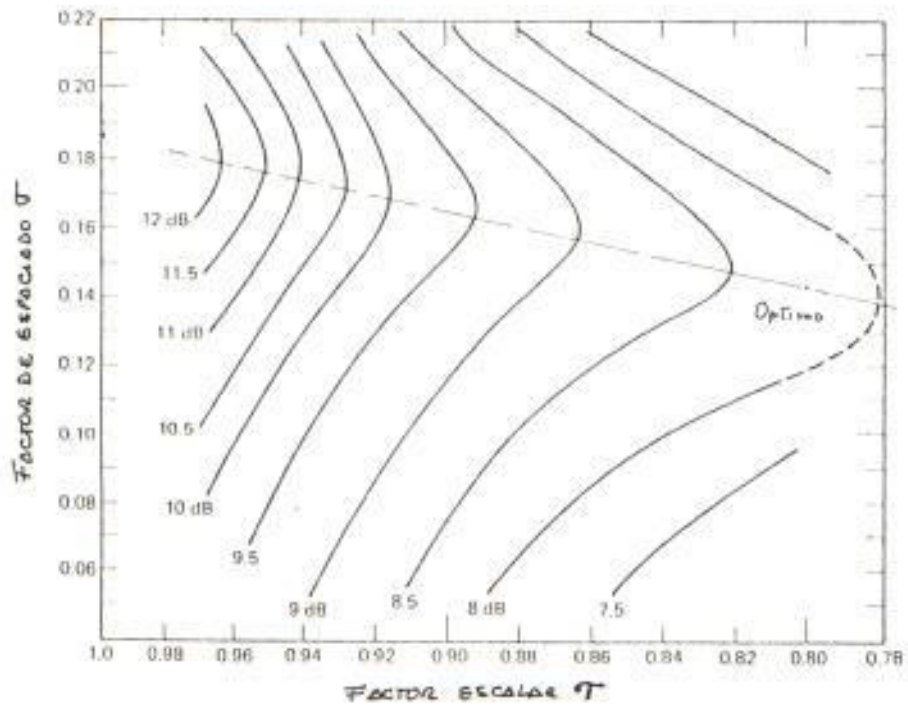


FIG. 32.- Ganancia de un arreglo Log-Periódico de dipolos.

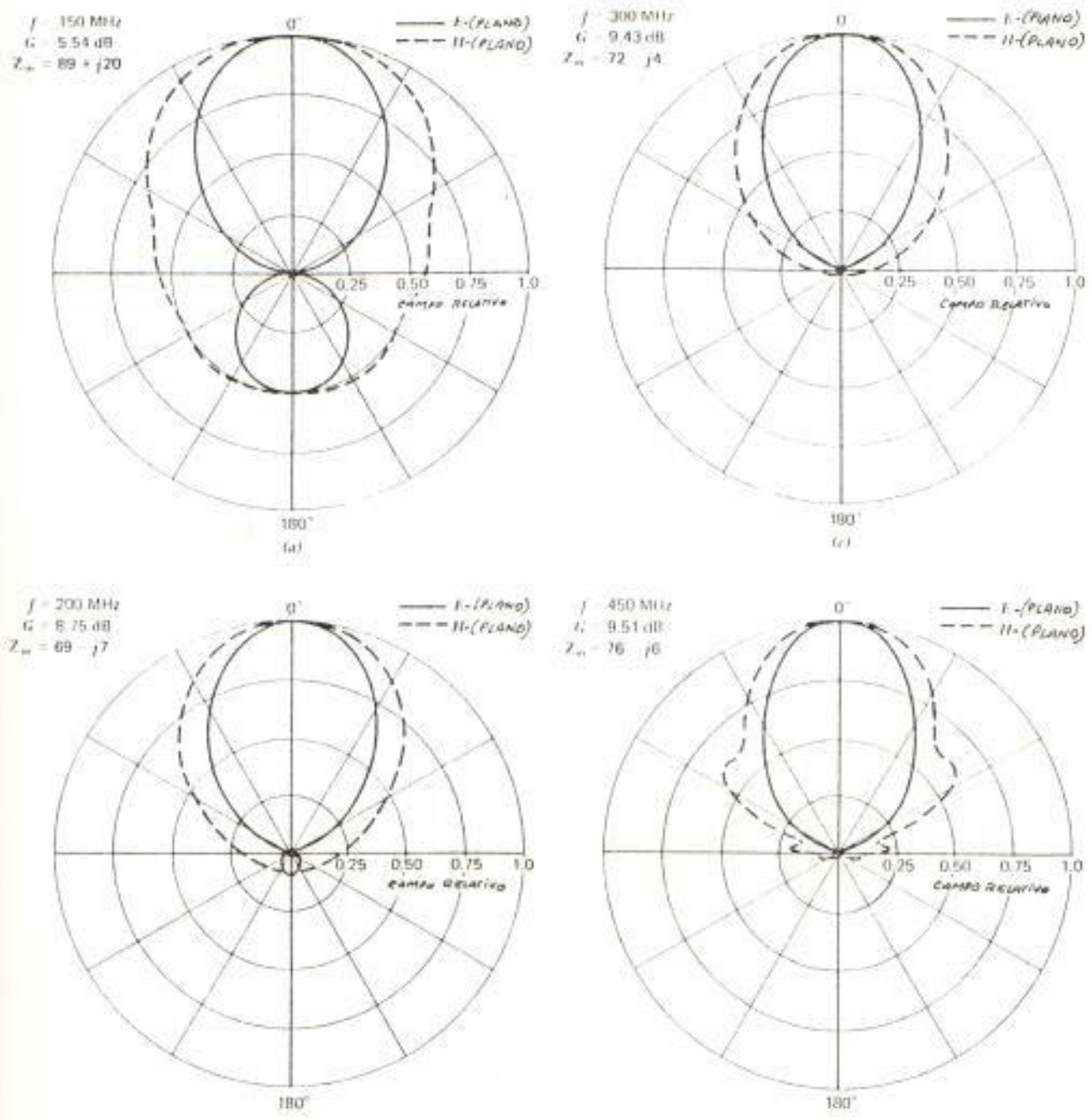


Fig. 33.- Patrones de radiación a varias frecuencias para Antena Log-Periódica de dipolos.

C A P I T U L O IV

PROGRAMA DE RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo del programa es obtener resultados sobre el patrón de radiación de diversos tipos de antenas, considerando para el cálculo la topografía del territorio ecuatoriano. Debido a la complejidad de los cálculos y a la gran cantidad de datos correspondientes a la topografía ha sido necesario utilizar el computador de CESERCOMP de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Los datos se han obtenido de las hojas topográficas emitidas y editadas por el Instituto Geográfico Militar. Estas hojas utilizan como referencia de coordenadas la "proyección transversa de Mercator", establecidas en forma provisional en 1956 para América del Sur (La Canoa - Venezuela). Las curvas de nivel, en estas hojas, tienen intervalos de 20 metros.

Según la referencia antes indicada las coordenadas de direccionamiento tiene la siguiente estructura (tanto para el eje X como para el eje Y) "MMNNSS", donde:

MM = Cuadrículas o direccionamiento cada 100 kilómetros

NN = Cuadrículas o direccionamiento cada kilómetro

SS = Direccionamiento aproximado en decenas de metros

La unidad de almacenamiento de datos es a nivel de cuadrículas de 1 Km. por lado, pero para mayor exactitud en la medición topográfica del terreno se ha subdividido la cuadrícula en 16 subcuadrículas de 250 metros de lado y

en cada una de éstas se registra la altura correspondiente (figura 34).

Para efectos de almacenamiento en un disco magnético se toma como registro unitario los datos de una cuadrícula de 1 Km. por lado, es decir referenciado por: (MMNNx, MMNNy), y en este registro unitario se graban las 16 alturas correspondientes a las subcuadrículas de 250 metros por lado (figura 34).

Para efectos de codificación, direccionamiento y de aproximación en la lectura de las hojas topográficas se ha considerado el parámetro SS a ser definido así:

Cuando SS varía de 00 - 24, aproximación: 00

Cuando SS varía de 25 - 49, aproximación: 25

Cuando SS varía de 50 - 74, aproximación: 50

Cuando SS varía de 75 - 99, aproximación: 75

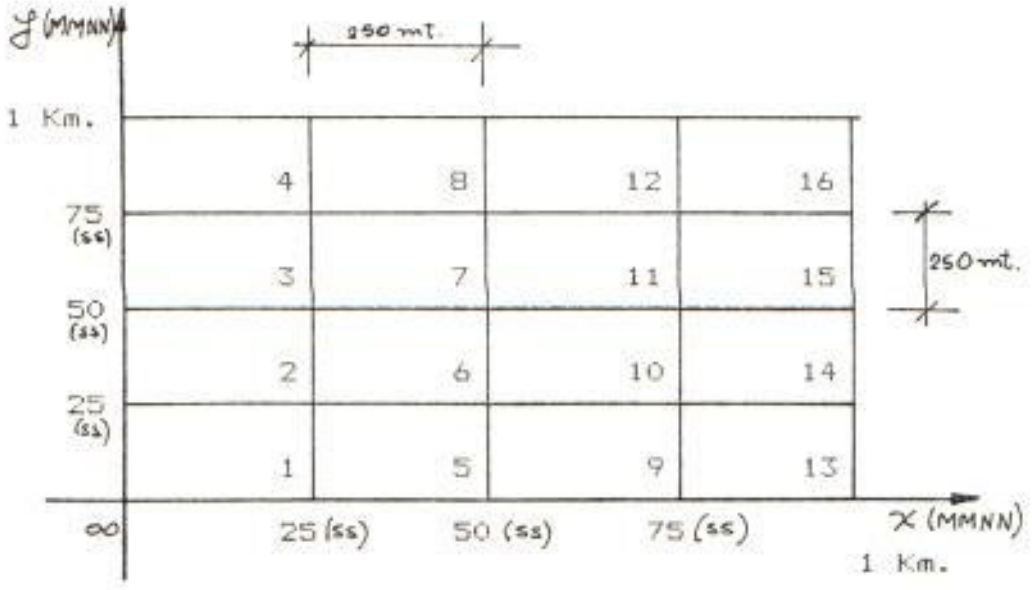


Figura 34.- Cuadrícula de almacenamiento de datos topográficos.

Por efectos de direccionamiento interno dentro de cada registro para cada una de las subcuadrículas, éstas se numeran de 1 a 16; calculándose este numeral (n) mediante el siguiente algoritmo:

$$n = \frac{SSX}{25} \cdot 4 + \frac{SSY}{25} + 1$$

Para consideraciones de cálculos se ubica la situación de un punto en referencia mediante dos coordenadas (X, Y), las cuales a su vez tienen la estructura indicada anteriormente (MMNNSS), y el área de 250 mts2 será considerada como un punto de cálculo.

Las fórmulas de cálculo del patrón de radiación serán las obtenidas en el Capítulo 3 para cada tipo de antena correspondiente.

Para un dipolo en general:

$$E(\theta) = E\theta_{máx}\, g(\theta) f(\theta)$$

$$E\theta_{máx} = j\omega\mu \frac{2Im}{\beta} \cdot \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r}$$

$$g(\theta) = \operatorname{Sen}\theta$$

$$f(\theta) = \frac{\cos[(\beta L/2)\cos\theta] - \cos(\beta L/2)}{\operatorname{Sen}^2\theta}$$

donde L = longitud del dipolo.

Para un arreglo lineal de dipolos :

$$E_\theta = E_{\theta máx} \cdot F(\psi)$$

$$E_{\theta máx} = j\omega\mu \frac{2Im}{\beta} \cdot \frac{e^{j\beta r}}{4\pi r}$$

$$F(\psi) = \frac{Sen\,(N\psi/2)}{N(Sen\,\psi/2)}$$

donde $\psi = \beta d \cos\theta + \alpha$

Para una antena log periódica

$$E_\theta = E_{\theta máx} \cdot f(\theta)$$

$$f(\theta) = Sen^3\theta \qquad \text{(aproximación)}$$

Para una antena YAGI

$$E_\theta = E_{\theta máx} \cdot f(\theta)$$

$$f(\theta) = \frac{Sen\theta * (Sen(N\beta\cos\theta))}{N\,Sen(\beta\cos\theta)} \text{ (aproximacion)}$$

Referirse al Capítulo 3 para el análisis previo de obtención de estas fórmulas y al apéndice E para una descripción de la simbología y el valor de las constantes utilizadas.

4.2 DESCRIPCION GENERAL DE PROCESOS

Tanto el proceso de ingreso y actualización de datos, como el proceso mismo del cálculo del patrón de radiación, así como la impresión de datos resultantes se realiza como un conjunto mediante la utilización de un MENU que permita en forma jerárquica ir relacionando la operación que se desea realizar, y a su vez va guiando al interesado en los pasos que debe seguir para obtener el proceso y resultado deseado.

Esta estructura jerárquica de procesos es iniciada mediante la ejecución de un procedimiento denominado "PROPAG" el cual presenta un menú de operaciones que permite realizar las siguientes funciones:

1. Consulta y/o actualización de datos topográficos del territorio ecuatoriano.
2. Calcular el patrón de radiación para diversos tipos de antenas (dipolos de media onda, dipolos de un cuarto de onda, arreglos lineales de dipolos, antenas yagi y antenas log - periódicas) mediante tres opciones de cálculo:
   - En un área
   - En una dirección
   - Puntos que tienen un nivel de intensidad de campo solicitado.

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
BIBLIOTECA
Inv. No. ELEC - 44

3. Impresión de los datos de alturas almacenados en un archivo, o la impresión de los resultados obtenidos en la opción de cálculo.
4. Listar los archivos de datos que se mantienen en el sistema.
5. Concluir y finalizar con la operativa de este sistema.

Los procedimientos para cada operación se encargan de ejecutar los programas correspondientes a la operación solicitada y a su vez de ejecutar la secuencia lógica de las operaciones a seguir.

En el diagrama general (figura 35) se establece la relación lógica de los formatos de pantalla (MAXXXX) que son utilizados en este sistema, así como los programas (PRXXXX) que se ejecutan para un proceso determinado. No aparecen aquí los procedimientos utilizados para la presentación de cada formato de pantalla, ni para la ejecución de los programas. En el apéndice A se presenta una lista de todos los programas, procedimientos y formatos de pantallas utilizados. Una descripción más detallada de cada proceso se describe en este mismo capítulo en los puntos siguientes.

El procedimiento "PROPAG" es el encargado de presentar y controlar la operativa mediante el menú MANOOO (ver apéndice B).

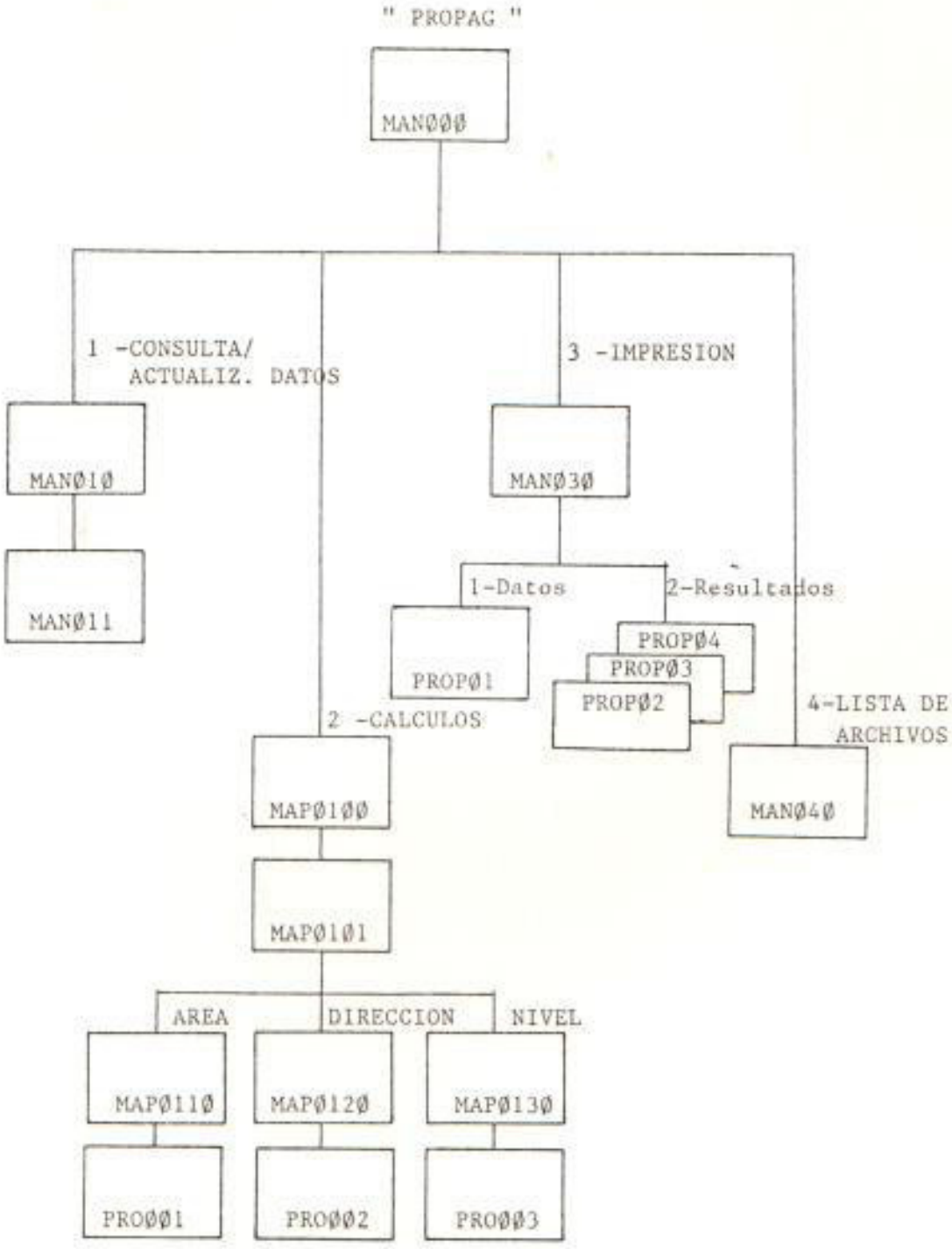


Figura 35.- Diagrama general de procesos .-

4.3 PROCESOS DE CONSULTA/ACTUALIZACION DE ARCHIVOS TOPOGRAFICOS

Estos procesos se realizan cuando se escoge la opción 1 del menú principal (MAN000), ejecutándose inmediatamente procedimiento PROX10.

Este a su vez presenta la pantalla MAN010 en la que solicita el nombre del archivo de datos que va a ser utilizado para su actualización de datos, y las coordenadas dentro de este archivo para accesarlo y obtener los datos que contiene.

Una vez que se obtienen los datos del archivo topográfico, el mismo procedimiento se encarga de presentar un nuevo formato de pantalla MAN011, que presenta los datos del registros solicitado y de los 3 siguientes registros, los cuales puedan a su vez ser modificados por la persona interesada, y el procedimiento (PROX10) se encargará finalmente de actualizar los registros correspondientes del archivo sólo en el caso de que se haya modificado algún dato, en caso contrario no regraba el archivo y considerará la operación como una consulta.

En la figura 36 se presenta un diagrama general de los pasos involucrados en estos procesos.

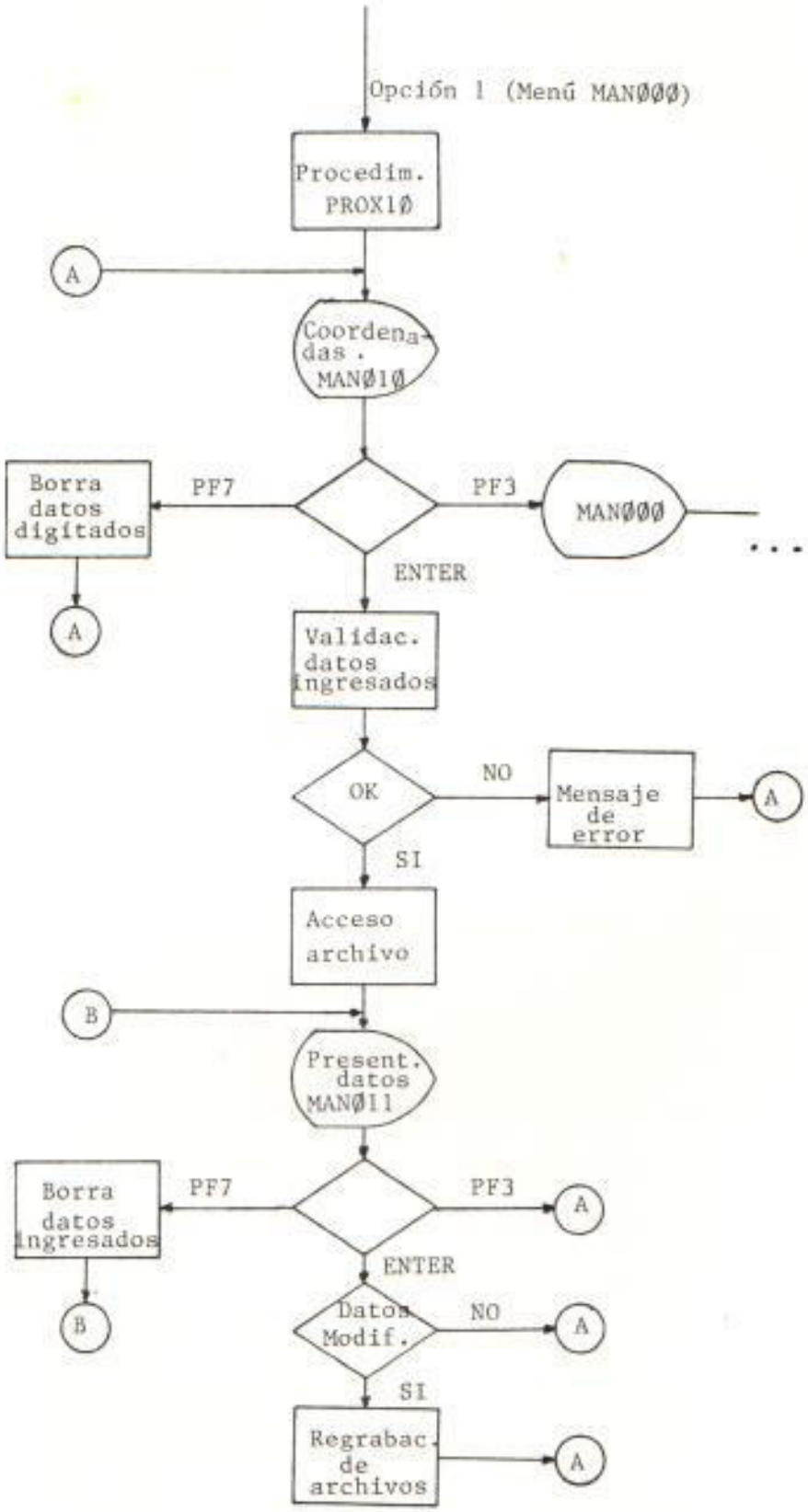


FIG.36 .- Diagrama de procesos de consulta/actualización de datos Topográficos.

4.4 PROCESOS DE CALCULOS DE PROPAGACION

Estos procesos se realizan cuando se escoge la opción 2 del menú principal MAN000, ejecutándose inmediatamente el procedimiento PROXZO.

Este procedimiento presenta la pantalla MAP0100, en la que se solicita el ingreso de los datos de la antena necesarios para realizar el cálculo del patrón de radiacion. Si el tipo de antena es un arreglo, entonces se presenta una nueva pantalla MAP0101 en la que se solicita los datos adicionales del arreglo lineal (distancia entre antenas, número de elementos y ángulo de fase entre los elementos). Todos los datos ingresados son validados como carácteres y rangos válidos según el tipo de información ingresado.

Entonces según el tipo de proceso seleccionado realiza las siguientes operaciones:

. Tipo de proceso AREA (A): presenta el mapa MAP0110, en donde se solicitan las cordenadas que limitan el área donde va a realizarse el cálculo. Si los datos son válidos se procede a cargar el programa PR0001, codificado en lenguaje FORTRAN, que es el encargado de realizar el cálculo según esta opción.

. Tipo de proceso DIRECCION (D): presenta el mapa MAP0120, en donde se solicita las coordenadas de la posición de la antena receptora que indica la dirección

a calcularse. Si los datos son válidos se carga el programa PR0002, codificado en lenguaje FORTRAN, y que a su vez es el encargado de realizar el cálculo según esta opción.

. Tipo de proceso NIVEL (D): presenta el mapa MAP0130 en donde se solicita el nivel de intensidad de campo en dB (decibelios) que servirá de parámetro para el cálculo correspondiente. Se procede a cargar el programa PR0003, codificado en lenguaje FORTRAN,que realizará los cálculos para determinar en que puntos la condición solicitada se cumple.

En la figura 37 se presenta un diagrama general de los pasos involucrados.

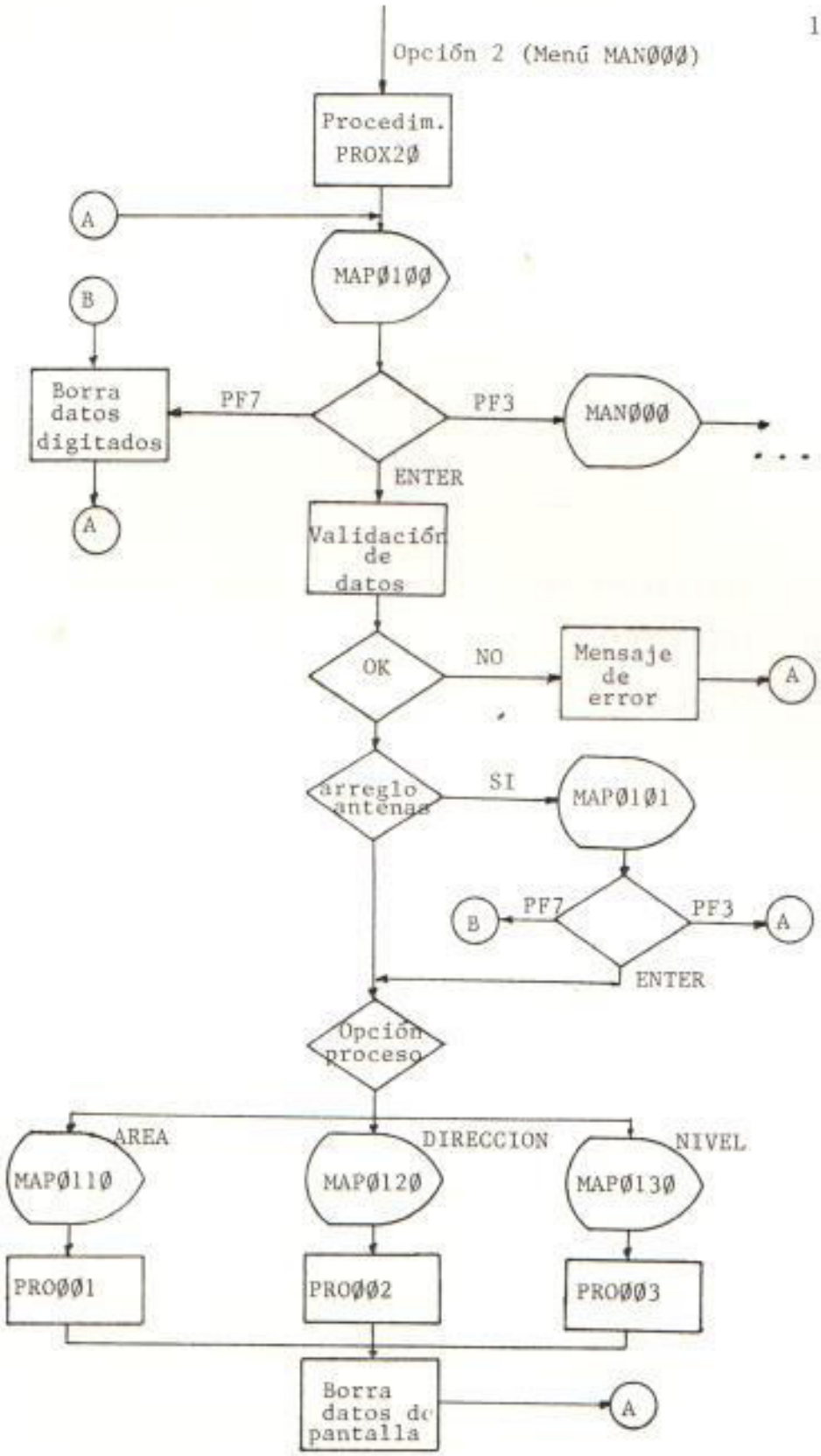


FIG.37 .- Diagrama de procesos de cálculos de propagación.

4.4.1 PROPAGACION EN UNA AREA DETERMINADA

Este cálculo se realiza mediante el programa PRO001, el cual está codificado en lenguaje FORTRAN. Toma los datos de la antena de un archivo grabado por el procedimiento PROX20 (PRODATOS GENERAL) y de otro archivo (PRODATOS AREA) los datos de las coordenadas que limitan el área, este último grabado igualmente por el procedimiento PROX20.

Se procede entonces a barrer el área solicitada variando las coordenadas de punto en punto (cuadrículas de 250 mts. de lado), accesando al archivo topográfico para obtener la altura y así calcular el valor del patrón en cada punto.

El proceso continúa hasta que se ha barrido toda el área solicitada.

Los datos obtenidos como resultados se graban en un archivo en disco (PROPAGA AREA), de donde podrán ser tomados posteriormente para su impresión (programa PROP02).

Al terminar el programa, el control pasa al procedimiento PROX20, no sin antes borrar los datos de la antena anteriormente solicitada.

En figura 38 se tiene el detalle del diagrama de proceso para el programa PRO001.

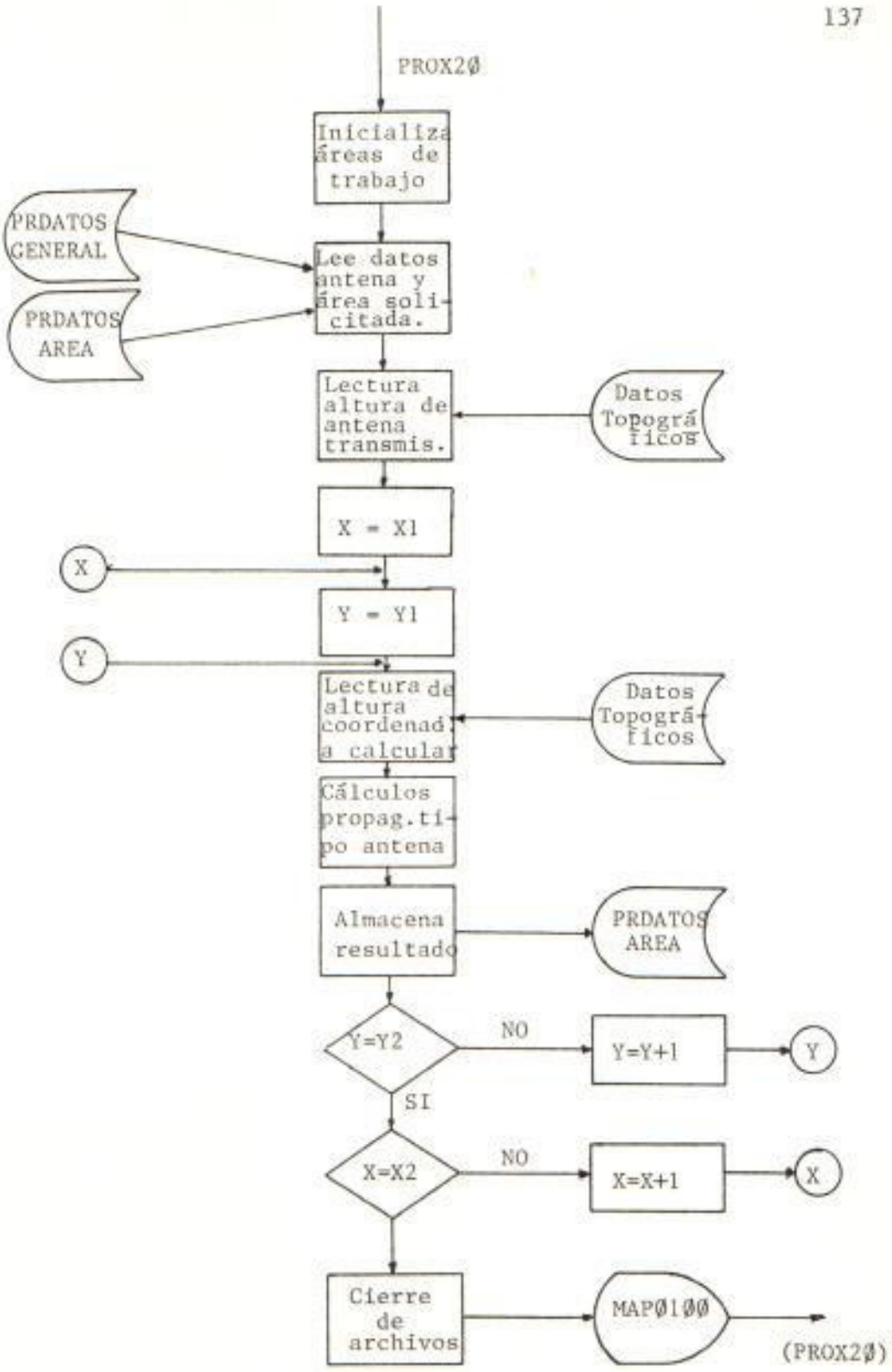


FIG.38 .- Diagrama de Flujo de Programa PROØØ1

4.4.2 PROPAGACION EN DIRECCION DE ANTENA RECEPTORA

Este cálculo se realiza mediante el programa PR0002, el cual está codificado en lenguaje FORTRAN. Este programa toma los datos de la antena transmisora desde el archivo PRDATOS GENERAL grabado por el procedimiento PROX20, y los datos de la posición de la antena receptora del archivo PRDATOS RECEPTOR, grabado igualmente por el procedimiento PROX20.

El proceso continúa mediante el cálculo de la pendiente en la dirección entre la antena transmisora y la receptora. Mediante está pendiente y variando la coordenada X se obtiene la coordenada Y en cada punto de la trayectoria.

En cada punto de la trayectoria se accesa al archivo topográfico para obtener la altura y se procede al cálculo del patrón de radiación a lo largo de la trayectoria.

Los datos obtenidos como resultado, en la dirección establecida, se graban en un archivo en disco (PROPAGA DIRECC), de donde serán tomados posteriormente para su impresión (programa PROP03). Al terminar el programa, el control pasa al procedimiento PROX20, no sin antes borrar los datos de la antena anteriormente solicitada.

En la figura 39 se tiene el detalle del diagrama de proceso para el programa PR0002.

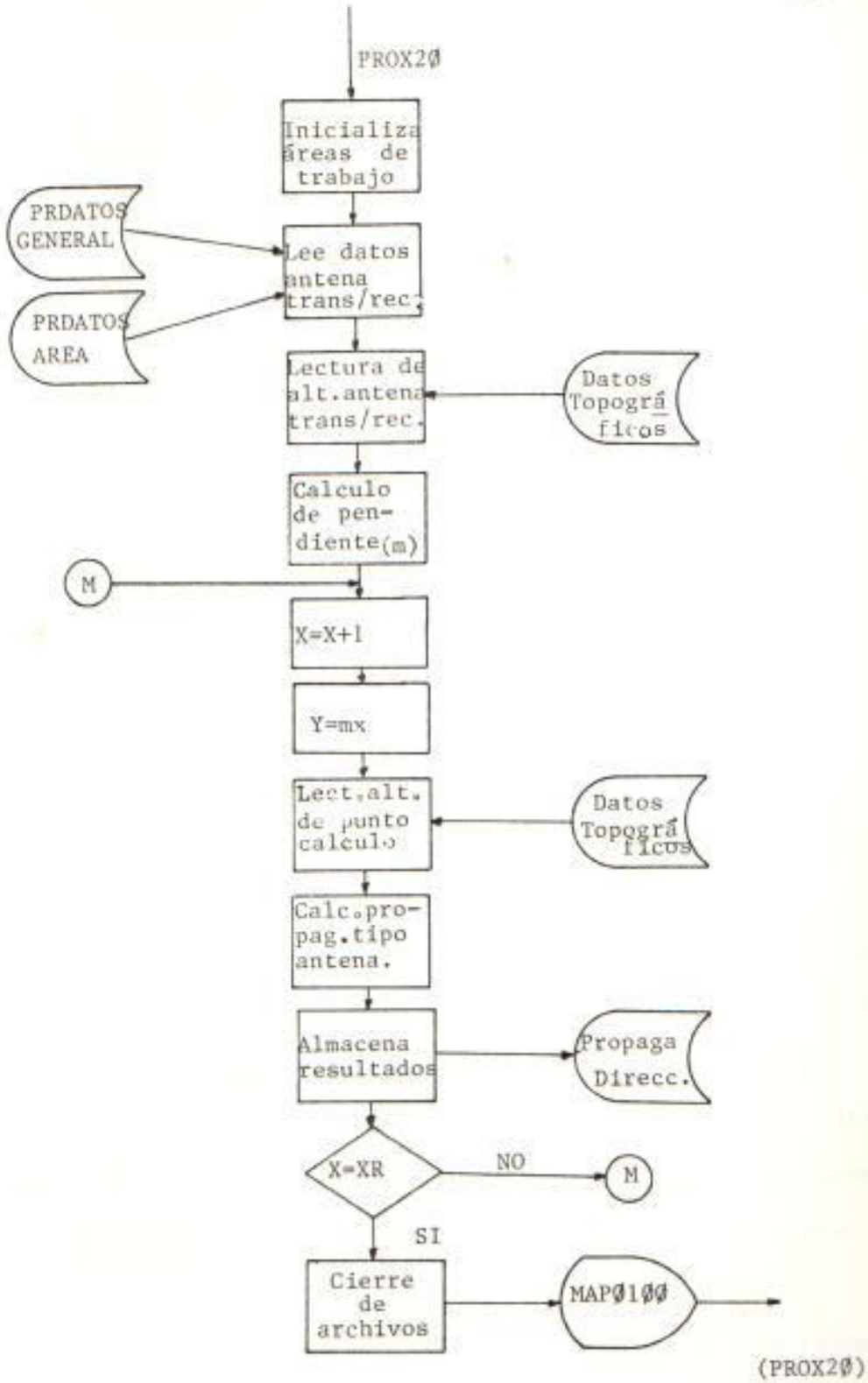


FIG.39.- Diagrama de Flujo de Programa PROØØ2

4.4.3 PUNTOS GEOGRAFICOS QUE PRESENTAN IGUAL NIVEL DE INTENSIDAD DE CAMPO

Este cálculo se realiza mediante el programa PR0003, el cual está codificado en lenguaje FORTRAN. Este programa toma los datos de la antena transmisora desde el archivo PRDATOS GENERAL y grabado por el procedimiento PROX20, y el dato correspondiente al nivel de intensidad de campo del archivo PRDATOS NIVEL, grabado igualmente por el procedimiento PROX20.

Se calcula luego el porcentaje de tolerancia (5%) sobre el valor solicitado, además de determinar el área nominal alrededor de la antena transmisora.

Se procede a barrer todo el área nominal variando las coordenadas de punto en punto, accesando al archivo topográfico para obtener la altura en cada punto y calcular el valor de intensidad de campo en el mismo. Para cada punto el valor calculado es comparado con el nivel solicitado y el rango de tolerancia (5%) y si cumple la condición los datos se graban en un archivo en disco (PROPAGA NIVEL). Estos datos de resultados serán procesados posteriormente por otro programa (PROP04) para su impresión.

Al terminar el programa, el control pasa al procedimiento PROX20, no sin antes borrar los datos de la antena anteriormente solicitada. En la figura 40 se tiene el deta-

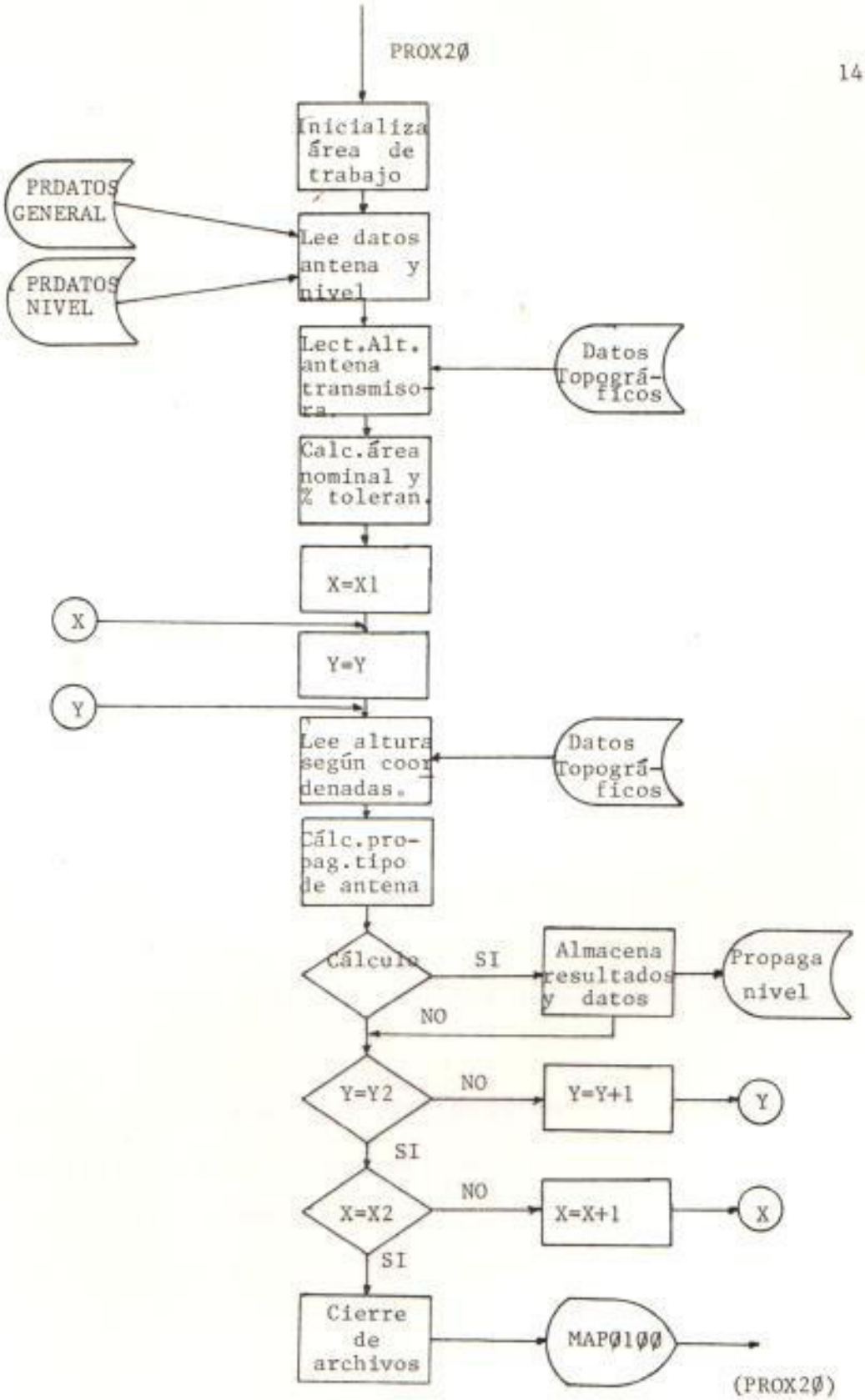


FIG.40.- Diagrama de Flujo de Programa PROØØ3

lle del diagrama de proceso para el programa PR0003.

4.5 PROCESOS DE IMPRESION

Estos procesos se realizan cuando se escoge la opción 3 del menú principal MAN000, ejecutándose mediante el procedimiento PROX30.

Este procedimiento presenta la pantalla MAN030, en la que se solicita el ingreso de una opción que va a determinar el tipo de impresión a obtenerse.

Se puede solicitar uno de dos tipos de impresión:

I Impresión de los datos topográfico existente en los archivos del sistema; para lo cual se ejecuta el programa PROP01.

II Impresión de los datos de resultado de los cálculos de propagación; para lo cual se ejecutan los programas PROP02, PROP03 o PROP04 dependiendo del tipo de cálculo solicitado.

Después de la ejecución del programa de impresión el procedimiento PROX30 toma el control y presenta nuevamente la pantalla MAN030.

En la figura 41 se describe la operación de este proceso.

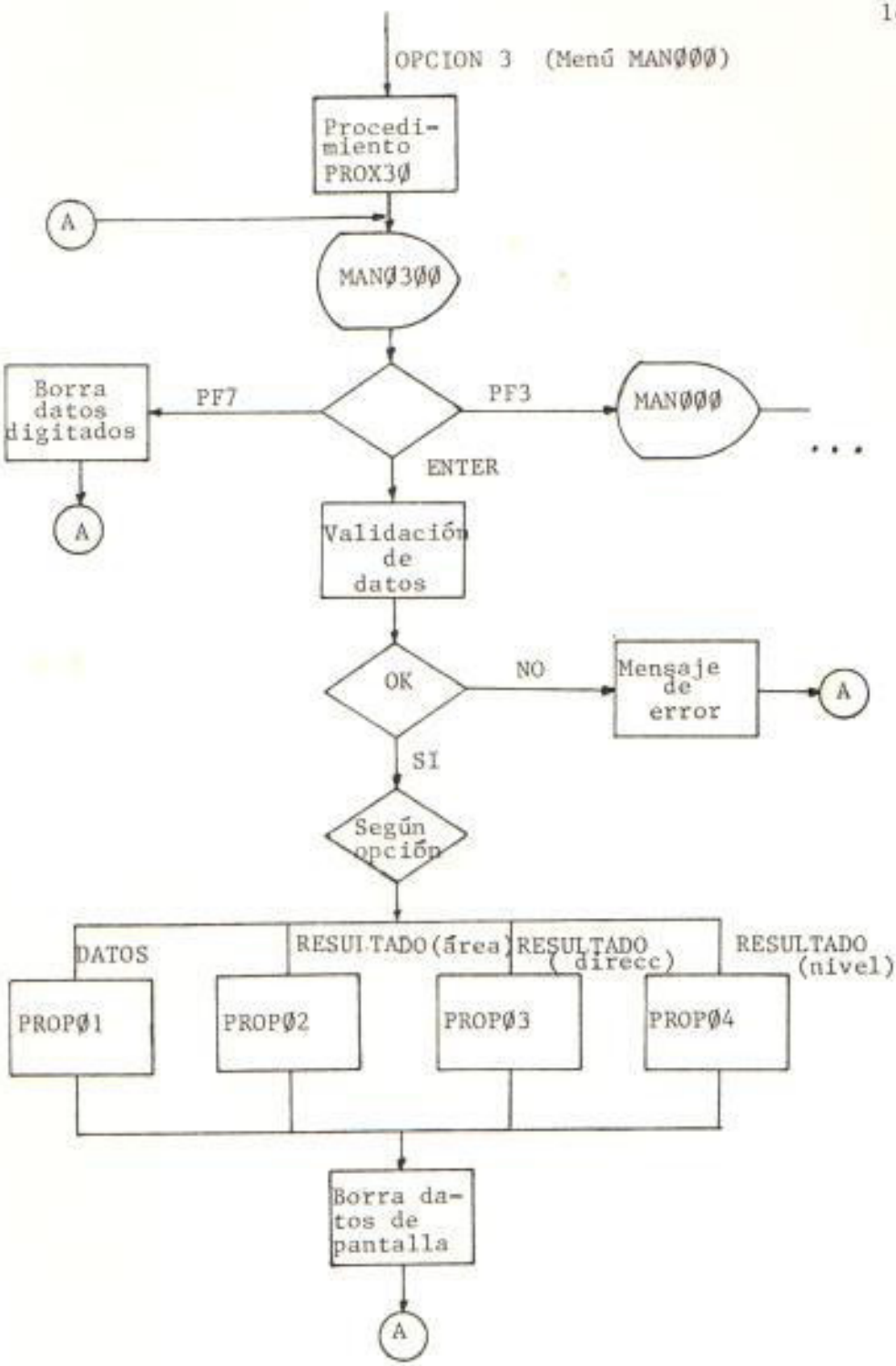


FIG.41 .- Diagrama de procesos de impresión.

4.5.1 IMPRESION DE DATOS DE ARCHIVOS TOPOGRAFICOS

Esta impresión se realiza mediante la ejecución del programa PROP01, el cual toma los datos del archivo de datos seleccionado en la pantalla MAN030 (procedimiento PROX30).

El archivo es procesado secuencialmente por el índice y conforme se lee cada registro se procede a su impresión (ver figura 42).

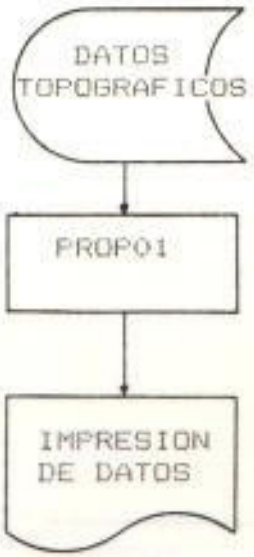


Fig. 42 - Diagrama general de programa de impresión PROP01

4.5.2 IMPRESION DE RESULTADOS DE CALCULOS DE PROPAGACION

Esta impresión se realiza mediante la ejecución de los programas PROP02, PROP03 y PROP04, respectivamente según sea la opción de resultado escogido: área, dirección o nivel.

El programa PROP02, imprime los resultados del cálculo de propagación en un área determinada tomando los datos de resultados del archivo PROPAGA AREA.

El programa PROP03, imprime los resultados del cálculo de propagación en la dirección de la antena receptora, tomando los datos de resultados del archivo PROPAGA DIRECC.

El programa PROP04, imprime los resultados del cálculo de propagación de los puntos que tienen un nivel de intensidad de campo determinado en un área alrededor de la antena, tomando los datos de resultados del archivo PROPAGA NIVEL.

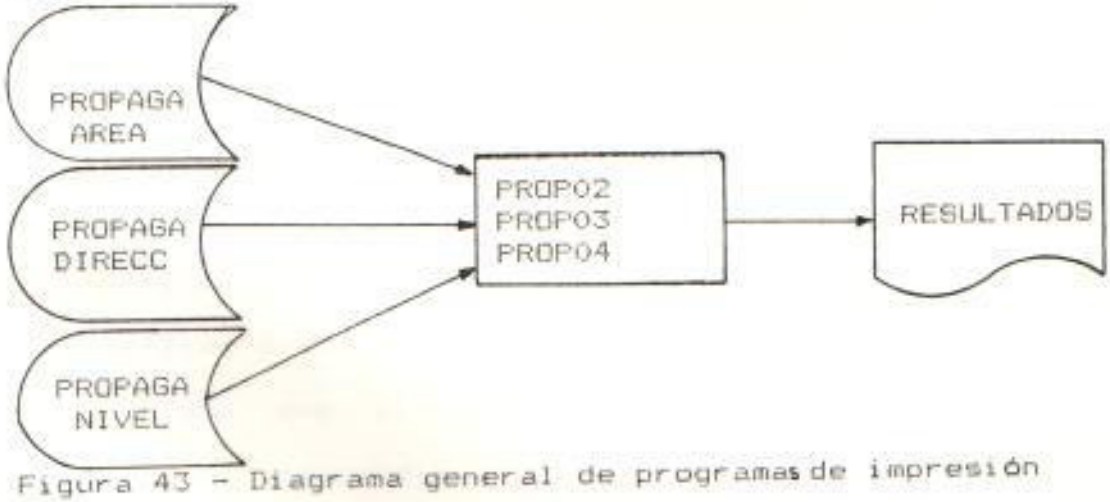


Figura 43 - Diagrama general de programas de impresión de resultados.

4.6 RUTINAS ESPECIALES

Dentro del sistema se han codificado algunas rutinas como programas separados que realizan una función específica dentro del sistema y que son utilizadas o llamadas por diversos programas o procedimientos.

RUTINA DISTXY

Tiene como objetivo calcular la distancia entre dos puntos, en base a las coordenadas de los puntos distantes y sus alturas correspondientes.

Los parámetros necesarios son pasados directamente a la rutina por el programa que lo llama, y los resultados son pasados al programa llamador en el momento en que la rutina termina de ejecutarse. Esta rutina está codificada en lenguaje FORTRAN.

RUTINA SUBXY

Tiene como objetivo obtener las coordenadas (X, Y) en base a un número N que varía de 1 a 16. Este número N es el utilizado para direccionamiento interno de las alturas topográficas dentro de un registro de datos.

El programa que llama a la rutina tiene que pasar el parámetro N corespondiente, y la rutina le devuelve los datos de las coordenadas (X, Y).

RUTINA PROU01

Esta es en realidad un programa que genera la estructura de datos (archivo) para el ingreso de los datos topográficos en una región de 100 Km. cuadrados. En realidad el territorio ecuatoriano tiene mucho más que esta superficie, pero por efecto de prueba del sistema y por la poca capacidad en disco para el sistema operativo que se está utilizando (ver Capítulo 5), se han definido estructuras de datos medianos, como en este caso. El sistema está en capacidad por tanto de tener más de un archivo, cada uno con datos topográficos de regiones diferentes o áreas del país.

La codificación del programa es en FORTRAN y es una rutina sencilla que inicializa todos los datos de todo el archivo con alturas cero.

Si el computador y el sistema operativo utilizado tuviera una mayor capacidad de almacenamiento en discos, entonces se podría definir un solo archivo grande con los datos de todo el país o el área que se desee abarcar.

RUTINA PROU02

Este es un programa, codificado en FORTRAN, que lee los datos topográficos a partir de las coordenadas dadas por PRODAT COORDN, para así pasarle los datos al procedimiento PROX20 a través del archivo PARTE HDATOS.

RUTINA PROU03

Este es un programa igual al PROU02, con la diferencia de que esta rutina además actualiza los datos del archivo principal de datos topográficos.

C A P I T U L O V

OPERATIVO PARA UTILIZACION

DE PROGRAMAS

5.1 AMBIENTE: HARDWARE Y SOFTWARE

La programación descrita en el capítulo anterior ha sido desarrollado e implementada en el computador central del Centro de Servicios Computacionales de la Escuela Politécnica del Litoral (CESERCOMP).

El computador central es un sistema IBM 4341.

Las terminales bajo las cuales se pueden ejecutar los programas son del tipo o familia IBM 3270, que tienen una pantalla de representación visual y un teclado alfanumérico para el ingreso de datos.

Para la impresión de datos y resultados se utiliza la impresora central del computador.

El computador tiene instalado un programa de control del sistema que maneja "máquinas virtuales" (VM), y para este trabajo se ha utilizado uno de los componentes denominado "Monitor de Sistemas Conversacionales" (CMS) en una máquina virtual configurado con 2 MB de memoria y 3MB de almacenamiento en disco.

En cuanto a lenguajes de programación se ha utilizado: el FORTRAN 77 para todos los programas; para la creación y desarrollo de los mapas, menús o pantallas se ha utilizado el lenguaje EXEC2 (exclusivo del CMS), y para los procedimiento interactivos con los usuarios de estos programas se ha utilizado también el lenguaje EXEC2.

Todos los archivos utilizados están definidos sólo en el ambiente de almacenamiento de la máquina virtual utilizada, esto por cuanto toda la ejecución del sistema se realiza solamente en el ambiente de la máquina virtual y no en el ambiente real del computador central, en donde si tendría mayor capacidad de almacenamiento de datos.

El desarrollo se lo ha hecho en este ambiente por cuanto permite una operatividad por parte del análisis y de la programación, bastante flexible tanto en la utilización de recursos como en la disponibilidad de utilización del computador sin tener que estar bloqueando o utilizando totalmente el computador central. Esto ha permitido adicionalmente que el desarrollo de los programas haya sido rápido.

El tiempo de ejecución de los programas para la aplicación descrita es bastante reducido. Los programas más demorados son los que realizan el cálculo en si de propagación (PR0001, PR0002 y PR0003); en tanto que los procedimientos y subrutinas se ejecutan en forma casi instantánea.

5.2 PROCEDIMIENTO PARA CREACION DE ARCHIVOS

Este procedimiento es independiente de la ejecución mismo del sistema, por cuanto debe realizarse antes de cualquier proceso.

Para su ejecución debe procesarse el programa PROU01, directamente desde el terminal en donde se está utilizando el CMS. Para esto el usuario debe primero ingresar al sistema, mediante procedimientos descrito en el punto 5.3., y luego ejecutar el procedimiento PROU01.

Como este programa inicializa los registros con alturas en cero, se supone que sólo debe ejecutarse una sola vez antes de ingresar datos topográficos al archivo y cada vez que se desee crear una nueva área de datos.

5.3 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR PROGRAMAS DE INGRESO Y ACTUALIZACION DE DATOS

Este procedimiento forma parte del proceso general de sistema y por lo tanto se debe primero ingresar al sistema mediante la siguiente operativa.

. Para accesar el computador 4341 y a la máquina virtual con CMS:

1. Encender un terminal que esté conectado al 4341.
2. Presionar la tecla (ENTER) luego de que aparezca el logotipo de la ESPOL.
3. Cuando en la parte inferior derecha de la pantalla aparezca "CP READ", digitar:
   L (código del usuario)
4. Digitar la palabra clave asignada (PASS-WORD) y presionar la tecla (ENTER).
5. Si todo el procedimiento fué correcto y la máquina virtual ha sido configurada correctamente, el usuario estará autorizado a trabajar en el sistema.

. Para accesar al sistema de los programas descritos, primero deberá digitar la palabra "PRODUC" y luego presionar la tecla (ENTER). Aparecerá la pantalla MANOOO (ver apéndice D), que tiene 5 opciones de procesos para seleccionar.

En este momento se debe ingresar la opción 1 de consulta y actualización de datos y aparecerá una nueva pantalla

para el efecto (MAN010).

En todas las pantallas del sistema se tendrá las siguientes opciones o comandos para seguir la lógica de los procesos:

PF3 - PREVIO: Permite siempre retornar a la pantalla anterior.

PF7 - BORRAR: Permite eliminar todos los datos ingresados en la pantalla, pero se mantiene en la misma.

ENTER-CONTINUA: Continúa con la ejecución lógica del proceso seleccionado.

Para el caso de consulta/actualización de datos topográficos se debe seleccionar la opción 1 digitando el número 1 y luego la tecla (ENTER). Aparece entonces la pantalla MAN010 (ver apéndice B), en la cual se debe ingresar:

. El nombre del archivo de datos topográfico que se va ha utilizar en este proceso. Debe ser un nombre de archivo que previamente o alguna vez haya sido inicializado mediante el programa PROU01, descrito anteriormente.

. Las coordenadas de la cuadrícula que se desea consulta/actualizar (MNX, MNY) (ver 4.1 para explicación del formato del archivo).

. Presionar la tecla (ENTER).

Aparecerá la pantalla MAN011 (ver apéndice B), en la cual

se muestra los datos de las 16 alturas correspondientes al registro seleccionado y además los datos de alturas de los 3 registros siguientes. Sobre los datos presentados en esta pantalla se puede modificar la altura de cualquiera de los registros presentados, o simplemente consultarlos sin hacer ninguna modificación.

Si se modifica algún dato de altura topográfica y se presione la tecla (ENTER), se actualizarán los registros con los datos modificados y vuelve a aparecer la pantalla inicial MAN010, en donde se puede seleccionar otro registro y repetir las operaciones de consulta/actualización o presionar la tecla PF3 y regresar a la pantalla principal del sistema (MAN000).

5.4 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZACION DE PROGRAMA DE CALCULO DE PROPAGACION

Este procedimiento forma parte del proceso general del sistema y por tanto se debe primero ingresar a él mediante procedimiento descrito en punto 5.3.

Una vez ingresado y cuando se tiene la pantalla MAN000, se debe seleccionar la opción 2 de cálculos, digitando el número 2 y presionando luego la tecla (ENTER).

Aparecerá entonces la pantalla MAP0100 (ver apéndice B), en la cual se debe ingresar los datos correspondientes a la antena sobre la cual se van a realizar los cálculos:

. Se debe digitar los datos solicitados, en caso contrario se presentará un mensaje de error en la parte inferior y no se proseguirá con la lógica del proceso de cálculo.

. Cada dato ingresado es validado en forma sintáxica y lógica.

. En el caso de que se ingrese como tipo de antena un arreglo lineal, al presionar la tecla (ENTER) se presentará la pantalla MAP0101 (ver apéndice B) en la que se solicita el ingreso de los datos correspondientes al arreglo (número de elementos, distancias entre cada elemento y ángulo de fase entre ellos) y luego se proseguirá con la lógica normal.

Según la opción de cálculo que se seleccione (A/D/N) se

ejecutarán los siguientes pasos lógicos:

. Si la opción de cálculo es A (área) se presentará la pantalla MAP0110 (ver apéndice B), en la cual se tiene que ingresar las coordenadas que limitan el área sobre la cual se va a realizar el cálculo. Una vez ingresados estos datos y presionado la tecla (ENTER) el sistema procede a realizar los cálculos y finalmente regresa a la pantalla principal del sistema MAN000.

. Si la opción de cálculo es D (digitación) se presentará la pantalla MAP0120 (ver apéndice B), en la cual se tiene que ingresar las coordenadas de posición geográfica (NNSSx, NNSSy) de la antena receptora que indicará la dirección de cálculo. Una vez ingresado este dato y presionado la tecla (ENTER) el sistema procede a realizar los cálculos y finalmente regresa a la pantalla principal del sistema MAN000.

. Si la opción de cálculo es N (nivel) se presentará la pantalla MAP0130 (ver apéndice B), en la cual se tiene que ingresar el nivel deseado de intensidad de campo (en decibelios) para el cálculo de los puntos que cumplen esta condición. Una vez ingresado este dato y presionado la tecla (ENTER) el sistema procede a realizar los cálculos correspondientes y finalmente regresa a la pantalla principal del sistema MAN000.

5.5 INTERPRETACION DE INFORMACION OBTENIDA COMO RESULTADO

Para obtener la impresión de los resultados que se obtienen se debe proceder con la opción 3 de la pantalla principal MAN000.

Aparece en esta opción la pantalla MAN030 (ver apéndice B), en la cual a su vez se escoge la opción de cálculo que se realizó para imprimir su resultado. Esto hará que la impresión sea enviada primeramente a la impresora de su máquina virtual CMS y luego a la impresión real del computador de CESERCOMP.

En el apéndice D se presentan los listados obtenidos como resultados de los cálculos de propagación en sus tres opciones posibles.

Como se muestra en los listados, estos son auto-explicativos, por cuanto en cada uno de ellos se presentan los datos de las antenas y de los parámetros ingresados para el cálculo.

La información de resultado presentada en los listados es en forma de tablas de resultados con sus correspondientes datos de coordenadas que indican la posición geográfica de cada punto según la referencia descrita en punto 4.1.

Debido a las dimensiones de los formularios los datos de cálculos en un área (A) determinada no se visualizan

fácilmente, pero la relación de puntos tiene un orden lógico fácil de entender.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis del patrón de radiación de una antena es muy importante tanto en la teoría como en la práctica. En la teoría por cuanto el análisis puede ser muy simple, pero si se desea se lo podría comenzar a detallar tanto que finalmente se tendría una relación tan compleja que en conclusión sería incomprensible, es por tanto necesario llegar a un punto crítico o medio de tal forma que sin llegar a ser complejo sea fácil de comprender y esté de acuerdo con la práctica. En la práctica igualmente no se acostumbra utilizar formulaciones demasiado complejas por cuanto existen muchas variantes o parámetros que pueden ser despreciados con respecto a aquellos que son más influyentes, entonces igualmente tiene que llegarse a un punto intermedio que este de acuerdo con la realidad y con la teoría.

En el presente trabajo se ha hecho lo indicado de tal manera que se combina la teoría y la práctica, y se obtiene resultados que se convierten en una gran ayuda en el análisis del patrón de radiación de antenas de diversos tipos.

Es verdad que aquí se han considerado algunos tipos de antenas, pero en la teoría y en la práctica existen una

gran cantidad de diferentes tipos de antenas que habría sido imposible lograr un análisis completo de todas ellas. Por tanto aquí se han considerado los tipos de antenas más populares, quedando como recomendación, en este sentido, para que este trabajo sirva como base para el análisis de otros tipos de antenas, siempre y cuando bajo un análisis teórico y/o práctico se pueda determinar la forma de calcular su patrón de radiación. Su inclusión sería muy sencilla pues solo habría que introducir una rutina adicional que resuelva la formula y parámetros de cálculo del nuevo tipo de antena.

Normalmente un patrón de radiación se visualiza mejor cuando se lo obtiene en forma gráfica. Este trabajo no ha incluido la graficación de los resultados, sino más bien la impresión simple de resultados que es tal vez más exacto por cuanto involucra todos los resultados posibles sin hacer aproximaciones. De todas maneras este trabajo permite, en el caso de que un computador tenga un dispositivo graficador, graficar los resultados ya que ellos se obtienen y quedan grabados en un archivo en disco; por tanto solo se necesitaría del software y el hardware que permita realizar una graficación óptima y sin mayores aproximaciones. En cuanto a los programas actuales no tendrían que ser modificados, sino más bien se debería codificar un nuevo programa que realice la función desea-

da de graficación.

Es muy importante para todo análisis del comportamiento del patrón de radiación el poder determinar los niveles con la mayor exactitud y en las áreas reales donde se instalarían las antenas. Es por esta razón que se ha utilizado un archivo topográfico con la información de las alturas en cada punto del territorio, de tal forma que cada punto considerado sea lo más representativo de la topografía del terreno. Es así que se ha utilizado el nivel mínimo de detalle para puntos de medición de altura de 250 metros por lado.

Por supuesto que este nivel de exactitud requiera una gran capacidad de almacenamiento de datos, pero para este trabajo solo se están considerando áreas cuadradas de dimensiones tales que se puedan almacenar en los medios físicos (discos) disponibles en el ambiente de máquinas virtuales de CESERCOMP. En este trabajo solo se han utilizado áreas de máximo 100 Km. por lado, pero ésto no lo hace ineficiente sino más bien lo hace flexible pues de esta manera considerar áreas mucho más grande solo necesitarían cambiar la definición y tener disponibles áreas de almacenamiento suficientes, sin tener que cambiar la programación presentada en este trabajo.

En conclusión este trabajo a pesar de que no cubre por el

momento, y ante las indicaciones efectuadas, todo el país, es un trabajo que sirve de base para un análisis real y exacto del comportamiento del patrón de radiación para algunos tipos de antena, con la capacidad de poder ampliarse, sin mayores cambios, para cubrir nuevas antenas, mayores extensiones de terreno y si es posible la graficación de resultados.

Por tanto se recomienda su utilización en el área académica de las materias Antenas, Propagación y Comunicaciones como una ayuda en su análisis, tanto para el personal docente como para el estudiante que le gusta investigar con resultados prácticos y reales lo que estudió teóricamente.

También es recomendable su utilización en el área práctica para profesionales especializados en áreas de Antenas y Propagación que deseen conocer el comportamiento del patrón de radiación en el área topográfica donde éstas van a ser instaladas, y para ésto solo necesitarían definir un archivo de datos para el área a instalar, ingresar la información topográfica y obtener resultados variando los parámetros de cálculo en la forma que sea más óptima y conveniente.

BIBLIOGRAFIA

1.- JORDAN Y BALMAIN, ELECTROMAGNETIC WAVES AND RADIATING SYSTEMS, PRENTICE HALL, N.J. 1968.-

2.- JOHN D. KRAUS, ANTENNAS, MC GRAW-HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1950.-

3.- W. L. WEEKS, ANTENNA ENGINEERING, MC GRAW-HILL BOOK COMPANY, NEW YORK 1950.-

4.- W. L. STUTZMAN & G. A. THIELE, ANTENNA THEORY AND DESIGN, J. WHILE & SOUS, NEW YORK 1981.-

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

A.F. 142092

A P E N D I C E S

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

APENDICE A

PROGRAMAS

PR0001 -- Calcular el nivel de radiación en todos los puntos de un área dada.

PR0002 -- Calcular el nivel de radiación en todos los puntos a lo largo de una dirección determinada.

PR0003 -- Calcular los puntos que tiene un nivel de intensidad de campo solicitado.

PROU01 -- Generación de estructura para ingreso de datos topográficos con un área de 100 Km2.

PROU02 -- Lee datos topográficos a partir de coordenadas (PRODAT COORDN), y pasa datos al PROX20 EXEC a través del archivo PARTE HDATOS.

PROU03 -- Igual que PROU02 más actualización de datos en archivo.

PROCEDIMIENTOS (EXEC)

PR0001 -- Ejecución de programa PR0001.

PR0002 -- Ejecución de programa PR0002.

PR0003 -- Ejecución de programa PR0003.

PROX10 -- Actualización de datos (pantalla MAN010).

PROX20 -- Presenta pantalla MAP0100 y MAP0101 de cálculos de intensidad de campo.

PROPAG -- Menú principal (pantalla MAN000).

PROX30 -- Presenta pantalla MAN030 para procesos de impresión.

PROX40 -- Presenta pantalla MAN040 para presentar lista de archivos de datos del sistema.

MENUS (Pantallas)

MAN000 -- Principal del sistema.

MAN010 -- Consulta/Actualización de datos topográficos.

MAN011 -- Actualización de datos topográficos.

MAP0100 -- Programa para resolución de cálculos de radiación.

MAP0101 -- Datos adicionales de arreglo lineal de antenas.

MAP0110 -- Cálculos en puntos de un área.

MAP0120 -- Cálculos en una dirección.

MAP0130 -- Cálculos de puntos que tienen un nivel de intensidad de campo.

MAN030 -- Impresión de datos y/o resultados.

MAN040 -- Lista de archivos que mantiene el sistema.

SUBRUTINAS

DISTXY -- Obtiene la distancia X en base a X1, X2, Nx, I

SUBXY -- Obtiene coordenadas X, Y en base a un número N (1 - 16).

APENDICE B

FORMATOS DE PANTALLAS UTILIZADAS

```
                ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ                                                    MANOOO

              *** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***
-------------------------------------------------------------------------
 *** SISTEMA DE PROPAGACION DE ANTENAS EN EL ECUADOR ***

       Seleccione opción:

             1.  Consulta/Actualiz. de datos
             2.  Cálculos
             3.  Impresión de datos/resultados
             4.  Lista de archivos existentes
             5.  Fin de sesión


                          OPCION     _
-------------------------------------------------------------------------
 ==>

PF-KEYS      3=PREVIO          7=BORRAR          ENTER    CONTINUA
```

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MANO10**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* CONSULTA/ACTUALIZACION DE DATOS TOPOGRAFICOS DEL ECUADOR *

Nombre de archivo de datos: bloque1_

Coordenadas de cuadrícula: 01 , 07 (X,Y)

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MANO11**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

*** ACTUALIZACION DE DATOS TOPOGRAFICOS DEL ECUADOR ***

Nombre del archivo utilizado: BLOQUE1

(1 , 7)

1	1	1	1
12	23	23	23
10	10	8	8
5	5	5	5

(2 , 7)

2	3	4	5
21	21	12	6
15	15	10	6
6	6	4	2

(3 , 7)

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

(4 , 7)

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAP0100**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION *

TIPO ANTENA	D4	(D2,D4,Y,L,A)
LONG. ONDA/FRECUENCIA	L 30_	(L,mts/F,KHz)
POTENCIA DE ANTENA	15_____	(vatios)
RESISTENCIA DE ANTENA	8_____	(ohms)
ARCHIVO DE DATOS	BLOQUE1	
POS. GEOGRAFICA (N,S)	(01 , 01) X	(02 , 01) Y
DIRECCION	30	(GRADOS)
GANANCIA MAXIMA	15_	(udb)
OPCION CALCULO	A	(A/D/N)

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAP0101**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION *

DATOS RELATIVOS A ARREGLOS LINEALES Y YAGI

Número de elementos del arreglo: 12

Distancia entre elementos : 25 (cm.)

Angulo de fase entre elementos : 0 (grados)

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAP0110**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION *

Cálculo de todos los puntos de un área dada

COORDENADAS QUE LIMITAN EL AREA (X,Y):

X1	01	Y1	00
X2	05	Y2	03

* Si no digita ningún dato, se asume un área cuadrada de *
* 50 km. por lado, centrada en la posición de la antena *

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAP0120**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION *

Cálculo en todos los puntos a lo largo de la ruta

entre la antena transmisora y la antena receptora

POSICION DE ANTENA RECEPTORA (n,s) X , (n,s) Y

X (05 , 07)

Y (07 , 01)

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAP0130**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

---

* PROGRAMA PARA RESOLUCION DE CALCULOS DE PROPAGACION *

CALCULO DE LOS PUNTOS QUE CUMPLEN CON UN

NIVEL DE INTENSIDAD DE CAMPO = 8____ (db)

Se considerará una tolerancia del +/- 5 por ciento

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MANO3O**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

*** IMPRESION DE DATOS Y/O RESULTADOS ***

DATOS:

Nombre de archivo de datos: bloque1_

Coordenadas que limitan el área:

X1	01	Y1	01
X2	05	Y2	05

RESULTADOS:

Opción de cálculo escogida: A (A/D/N)

Impresion de DATOS y/o RESULTADOS concluida.

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

I. GUTIERREZ **MAN040**

*** FACULTAD DE ING. E L E C T R I C A ***

LISTA DE ARCHIVOS EXISTENTES

Los siguientes son los NOMBRES de archivos de datos topográficos del Ecuador ingresados anteriormente.

Si desea eliminar algún nombre, posicione el cursor y presione la tecla ERASE EOF.

Nombre	Posición MNx	MNy	Nombre	Ppsición MNx	MNy
BLOQUE1	0610	9760	BLOQUE2	0520	9540
.....	....	....	.....	....	....
.....	....	....	.....	....	....
.....	....	....	.....	....	....
.....	....	....	.....	....	....

==>

PF-KEYS 3=PREVIO 7=BORRAR ENTER CONTINUA

CESERCOMP - ESPOL

APENDICE C

LISTADO DE CONTENIDO DE PROCEDIMIENTOS

```
*************************************************************************
***************** PROCEDIMIENTO  - PROPAG EXEC - ******************
*************************************************************************

&TRACE OFF
* ESTE EXEC MUESTRA EL MENU PRINCIPAL Y PIDE UNA OPCION DEL
* 1 AL 5, EJECUTANDO LOS RESPECTIVOS EXEC
SET DOS OFF
GLOBAL TXTLIB IFXOTRCE CMSLIB TSOLIB VALTLIB VFORTLIB EREPLIB
DTRSERV INITIAL
&'AUTOOK = YES
&GOTO -DISP2
-DISP1
DTRSERV SETMSG DTR 12 &RESP
-DISP2
* MUESTRO MENU PRINCIPAL
DTRSERV DISPLAY ENTRY MANOO1
&IF &RETCODE NE  0 &GOTO -FIN
&RESP =
&IF .&OPOO = . &GOTO -DISP1
&IF  &OPOO = 5 &EXIT
* SE PERMITEN SOLO 5 OPCIONES
&IF &OPOO LT 1 &RESP = &OPOO
&IF &OPOO GT 5 &RESP = &OPOO
&IF .&RESP NE . &GOTO -DISP1
-ASIGNA2
&IF &OPOO EQ 1 &EXE = PROX10
&IF &OPOO EQ 2 &EXE = PROX20
&IF &OPOO EQ 3 &EXE = PROX30
&IF &OPOO EQ 4 &EXE = PROX40
-EJECUTA
EXEC &EXE &TIPO
&IF &RETCODE = 0 &GOTO -DISP2
DTRSERV SETMSG DTR 17 &RESP
&GOTO -DISP2
-FIN
DTRSERV TERMIN
&EXIT
```

BIBLIOTECA

CESERCOMP - ESPOL

```
*************************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROPC1 EXEC - ******************
*************************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROPO1
FI 1 DISK PRODAT CODRON
FI DATOS DISK BLOQUE1 HDATOS A (XTENT 15000
FI 3 DISK PRDATOS LISTING
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT



*************************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROPC2 EXEC - ******************
*************************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROPO2
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS AREA    A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI AREA DISK PROPAGA AREA A (XTENT 10000
FI 5 DISK PRAREA  LISTING A
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT



*************************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROPC3 EXEC - ******************
*************************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROPO3
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS RECEPTOR A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI 4 DISK PROPAGA DIRECC  A
FI 5 DISK PRDIREC LISTING A
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT
```

CESERCOMP - ESPOL

```
*********************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROPC4 EXEC - ******************
*********************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROP04
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS NIVEL    A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI 4 DISK PROPAGA NIVEL   A
FI 5 DISK PRNIVEL LISTING A
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT




*********************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROCC1 EXEC - ******************
*********************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROCC01
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL
FI 2 DISK PRDATOS AREA
FI DATOS DISK BLOQUE1 HDATOS A ( LRECL 95 XTENT 10000
FI 4 DISK PROPAGA AREA
FI 5 DISK PRDATOS ARREGLO
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT




*********************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROCC2 EXEC - ******************
*********************************************************************

&TRACE OFF
LOAD PROCC02
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL
FI 2 DISK PRDATOS RECEPTOR
FI DATOS DISK BLOQUE1 HDATOS A ( LRECL 95 XTENT 10000
FI 4 DISK PROPAGA DIRECC
FI 5 DISK PRDATOS ARREGLO
START
ERASE LOAD MAP
&EXIT
```

CESERCOMP - ESPOL

```
*************************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROX1C EXEC - ******************
*************************************************************************


&TRACE OFF
&*AUTOCK = YES
&NX = 00
&NY = CC
* ACTUALIZACION DE DATOS
* ESTE EXEC MUESTRA LA PANTALLA MANO10
&GOTO -DISP3
-DISP2
DTRSERV SETMSG DTR 13 &NBDAT
-DISP3
* MUESTRO PANTALLA INICIAL
DTRSERV DISPLAY ENTRY MANO10
&IF &RETCODE NE  0 &GOTO -FIN
&IF .&NBDAT EQ .          &NBDAT =
&IF .&NBDAT NE . &GOTO -QSTATE
&NBDAT =
&GOTO -DISP2
-QSTATE
STATE BLOQUES ACTUALES A
&IF &RETCODE NE 0 &GOTO -NOFILE
FINDSTAK BLOQUES ACTUALES A ALL
&READ VAR &MX0 &MY0 &COD0
&READ VAR &MX1 &MY1 &COD1
&READ VAR &MX2 &MY2 &COD2
&READ VAR &MX3 &MY3 &COD3
&READ VAR &MX4 &MY4 &COD4
&READ VAR &MX5 &MY5 &COD5
&READ VAR &MX6 &MY6 &COD6
&READ VAR &MX7 &MY7 &COD7
&READ VAR &MX8 &MY8 &COD8
&READ VAR &MX9 &MY9 &COD9
&IF &NBDAT = &COD0 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD1 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD2 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD3 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD4 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD5 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD6 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD7 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD8 &GOTO -QNBDAT
&IF &NBDAT = &COD9 &GOTO -QNBDAT
&IF &COD0 NE ........ &GOTO -LAB1
&COD0 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB1
&IF &COD1 NE ........ &GOTO -LAB2
&COD1 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
```

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

```
-LAB2
&IF &COD2 NE ........ &GOTO -LAB3
&COD2 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB3
&IF &COD3 NE ........ &GOTO -LAB4
&COD3 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB4
&IF &COD4 NE ........ &GOTO -LAB5
&COD4 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB5
&IF &COD5 NE ........ &GOTO -LAB6
&COD5 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB6
&IF &COD6 NE ........ &GOTO -LAB7
&COD6 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB7
&IF &COD7 NE ........ &GOTO -LAB8
&COD7 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB8
&IF &COD8 NE ........ &GOTO -LAB9
&COD8 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB9
&IF &COD9 NE ........ &GOTO -LAB0
&COD9 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-LAB0
&COD0 = &NBDAT
&GOTO -GRABA
-NOFILE
&MX0 = ....
&MY0 = ....
&MX1 = ....
&MY1 = ....
&MX2 = ....
&MY2 = ....
&MX3 = ....
&MY3 = ....
&MX4 = ....
&MY4 = ....
&MX5 = ....
&MY5 = ....
&MX6 = ....
&MY6 = ....
&MX7 = ....
&MY7 = ....
&MX8 = ....
```

```
&MY8 = ....
&MX9 = ....
&MY9 = ....
&CODO = &NBDAT
&COD1 = ........
&COD2 = ........
&COD3 = ........
&COD4 = ........
&COD5 = ........
&COD6 = ........
&COD7 = ........
&COD8 = ........
&COD9 = ........
-GRABA
DESBUF
&STACK &MXO &MYO &CODO
&STACK &MX1 &MY1 &COD1
&STACK &MX2 &MY2 &COD2
&STACK &MX3 &MY3 &COD3
&STACK &MX4 &MY4 &COD4
&STACK &MX5 &MY5 &COD5
&STACK &MX6 &MY6 &COD6
&STACK &MX7 &MY7 &COD7
&STACK &MX8 &MY8 &COD8
&STACK &MX9 &MY9 &COD9
&STACK
ERASE BLOQUES ACTUALES A
FILESTCK BLOQUES ACTUALES A  F 80 * *
-GNBDAT
STATE &NBDAT HDATOS A
&IF &RETCODE EQ 0 &GOTO -EDITA
* SI NO EXISTE LO CREAMOS
FI 1 DISK &NBDAT HDATOS A
PROGO1
COPY &NBDAT HDATOS A &NBDAT HDATOS A (REP RECF F LRECL 95
-EDITA
&IF .&NX EQ . &NX = 00
&IF .&NY EQ . &NY = 00
* LE SUMAMOS 101 PARA QUE QUEDE EN EL RANGO DE 1 - 100
&X = &NX + 101
&Y = &NY + 101
* Z = NUMERO DE REJILLAS
&Z = 104
DESBUF
&STACK &X
&STACK &Y
&STACK &Z
&STACK
ERASE PRODAT COORDN A
FILESTCK PRODAT  COORDN  A  F 80 * *
* DESPUES DE GRABAR LAS COORDENADAS RECUPERAMOS LOS RESPECTIVOS DATOS
ERASE PARTE  HDATOS A
* LOAD PROGO2
```

CESERCOMP - ESPOL

```
FI 1      DISK PRODAT CODRON A
FI DATOS DISK &NBDAT HDATOS A1 (LRECL 95 XTENT 10000
FI 3      DISK PARTE  HDATOS A
FI 4      DISK NUEVAS CODRON A
PRC002
* ERASE LOAD MAP
* LEEMOS EL ARCHIVO PARTE HDATOS A
FINDSTAK PARTE HDATOS A ALL
&READ VAR &X1 &X2 &X3 &X4 &X5 &X6 &X7 &X8 &X9 &XA &XB &XC &XD &XE &XF &XG
&READ VAR &Y1 &Y2 &Y3 &Y4 &Y5 &Y6 &Y7 &Y8 &Y9 &YA &YB &YC &YD &YE &YF &YG
&READ VAR &Z1 &Z2 &Z3 &Z4 &Z5 &Z6 &Z7 &Z8 &Z9 &ZA &ZB &ZC &ZD &ZE &ZF &ZG
&READ VAR &w1 &w2 &w3 &w4 &w5 &w6 &w7 &w8 &w9 &wA &wB &wC &wD &wE &wF &wG
* LEEMOS EL ARCHIVO NUEVAS CODRON A
FINDSTAK NUEVAS CODRON A ALL
&READ VAR &C1 &C2 &C3 &C4 &C5 &C6 &C7 &C8
&MAX = 10
&IF &C4 LT &MAX &GOTO -GC6
&C3 =
&C4 =
-GC6
&IF &C6 LT &MAX &GOTO -GC8
&C5 =
&C6 =
-GC8
&IF &C8 LT &MAX &GOTO -GK
&C7 =
&C8 =
-GK
* MUESTRO PANTALLA CON DATOS (INPUT/OUTPUT)
&'AUTOOK = YES
DTRSERV DISPLAY ENTRY MANC11
&IF &'AUTOOK = YES &IF &RETCODE = 999 &GOTO -DISP3
&IF &'AUTOOK = YES &IF &RETCODE = 998 &GOTO -DISP3
* DTRSERV SAVE INPUT &X1 &X2 &X3 &X4 &X5 &X6 &X7 &X8
* DTRSERV SAVE INPUT &X9 &XA &XB &XC &XD &XE &XF &XG
* DTRSERV SAVE INPUT &Y1 &Y2 &Y3 &Y4 &Y5 &Y6 &Y7 &Y8
* DTRSERV SAVE INPUT &Y9 &YA &YB &YC &YD &YE &YF &YG
* DTRSERV SAVE INPUT &Z1 &Z2 &Z3 &Z4 &Z5 &Z6 &Z7 &Z8
* DTRSERV SAVE INPUT &Z9 &ZA &ZB &ZC &ZD &ZE &ZF &ZG
* DTRSERV SAVE INPUT &w1 &w2 &w3 &w4 &w5 &w6 &w7 &w8
* DTRSERV SAVE INPUT &w9 &wA &wB &wC &wD &wE &wF &wG
&X1 = &X1 + 10000
&X2 = &X2 + 10000
&X3 = &X3 + 10000
&X4 = &X4 + 10000
&X5 = &X5 + 10000
&X6 = &X6 + 10000
&X7 = &X7 + 10000
&X8 = &X8 + 10000
&X9 = &X9 + 10000
&XA = &XA + 10000
&XB = &XB + 10000
&XC = &XC + 10000
```

```
&XD = &XD + 10000
&XE = &XE + 10000
&XF = &XF + 10000
&XG = &XG + 10000
* Y
&Y1 = &Y1 + 10000
&Y2 = &Y2 + 10000
&Y3 = &Y3 + 10000
&Y4 = &Y4 + 10000
&Y5 = &Y5 + 10000
&Y6 = &Y6 + 10000
&Y7 = &Y7 + 10000
&Y8 = &Y8 + 10000
&Y9 = &Y9 + 10000
&YA = &YA + 10000
&YB = &YB + 10000
&YC = &YC + 10000
&YD = &YD + 10000
&YE = &YE + 10000
&YF = &YF + 10000
&YG = &YG + 10000
* Z
&Z1 = &Z1 + 10000
&Z2 = &Z2 + 10000
&Z3 = &Z3 + 10000
&Z4 = &Z4 + 10000
&Z5 = &Z5 + 10000
&Z6 = &Z6 + 10000
&Z7 = &Z7 + 10000
&Z8 = &Z8 + 10000
&Z9 = &Z9 + 10000
&ZA = &ZA + 10000
&ZB = &ZB + 10000
&ZC = &ZC + 10000
&ZD = &ZD + 10000
&ZE = &ZE + 10000
&ZF = &ZF + 10000
&ZG = &ZG + 10000
* W
&W1 = &W1 + 10000
&W2 = &W2 + 10000
&W3 = &W3 + 10000
&W4 = &W4 + 10000
&W5 = &W5 + 10000
&W6 = &W6 + 10000
&W7 = &W7 + 10000
&W8 = &W8 + 10000
&W9 = &W9 + 10000
&WA = &WA + 10000
&WB = &WB + 10000
&WC = &WC + 10000
&WD = &WD + 10000
&WE = &WE + 10000
```

```
&WF = &WF + 10000
&WG = &WG + 10000
DESBUF
&STACK &X1 &X2 &X3 &X4 &X5 &X6 &X7 &X8 &X9 &XA &XB &XC &XD &XE &XF &XG
&STACK &Y1 &Y2 &Y3 &Y4 &Y5 &Y6 &Y7 &Y8 &Y9 &YA &YB &YC &YD &YE &YF &YG
&STACK &Z1 &Z2 &Z3 &Z4 &Z5 &Z6 &Z7 &Z8 &Z9 &ZA &ZB &ZC &ZD &ZE &ZF &ZG
&STACK &W1 &W2 &W3 &W4 &W5 &W6 &W7 &W8 &W9 &WA &WB &WC &WD &WE &WF &WG
&STACK
ERASE PARTE HDATOS A
FILESTCK PARTE HDATOS  A  F 95 * *
* COPY PARTE HDATOS A PARTE HDATOS A (REP RECF F LRECL 95
* LEEMOS LAS ACTULIZACIONES Y LAS GRABAMOS EN EL &NBDAT HDATOS A
* LOAD PROU03
FI 1      DISK PRODAT COORDN A
FI 2      DISK PARTE  HDATOS A
FI DATOS DISK &NBDAT HDATOS A1 (LRECL 95 XTENT 10000
PROU03
* ERASE LOAD MAP
&GOTO -DISP3
&RESP =
-FIN
&EXIT


*****************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROX20 EXEC - ****************
*****************************************************************


&TRACE OFF
&'AUTOCK = YES
&RNX = 101
&RSX = 101
&RNY = 101
&RSY = 101
&NEL = 100
&DEL = 100000
&AEL = 1000
&NX = 00
&NY = 00
&SX = 00
&SY = 00
&X1 = 101
&Y1 = 101
&X2 = 101
&Y2 = 101
&DUMMY = .
* ESTE EXEC MUESTRA LA PANTALLA MAP0100
&GOTO -DISP4
-DISP1
DTRSERV SETMSG DTR 12 &RESP
&GOTO -DISP4
```

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

CESERCOMP - ESPOL

```
-DISP2
DTRSERV SETMSG DTR 13 &NBDAT
&GOTO -DISP4
-DISP3
DTRSERV SETMSG DTR 18 &RESP
-DISP4
* MUESTRO PANTALLA GENERAL
DTRSERV DISPLAY ENTRY MAPC100
&IF &RETCODE NE  0 &GOTO -FIN
* DTRSERV SAVE INPUT &TA &LF &VLF &PA &NBDAT &NX &SX &NY &SY &DUMMY
&RESP = TIPO.ANT
&IF .&TA EQ .D2 &GOTO -QLF
&IF .&TA EQ .D4 &GOTO -QLF
&IF .&TA EQ .Y  &GOTO -QLF
&IF .&TA EQ .L  &GOTO -QLF
&IF .&TA EQ .A  &GOTO -QLF
&GOTO -DISP3
-QLF
&RESP = LONG/FRE
&IF .&LF EQ .L  &GOTO -QVLF
&IF .&LF EQ .F  &GOTO -QVLF
&GOTO -DISP3
-QVLF
&RESP = VALOR/LF
&IF .&VLF EQ . &VLF = 00
&IF  &VLF GT  00000000  &GOTO -QNBDAT
&GOTO -DISP3
-QNBDAT
&IF .&NBDAT EQ .          &NBDAT =
&IF .&NBDAT NE . &GOTO -QSTATE
&NBDAT =
&GOTO -DISP2
-QSTATE
STATE &NBDAT HDATOS A
&IF &RETCODE NE 0 &GOTO -DISP2
-QOPCION
&RESP = &OPC
&IF .&OPC EQ .  &GOTO -DISP1
&IF .&OPC EQ .A &GOTO -QRESIS
&IF .&OPC EQ .D &GOTO -QRESIS
&IF .&OPC EQ .N &GOTO -QRESIS
&GOTO -DISP1
-QRESIS
&RESP = TIPO.ANT
&IF .&RES EQ . &RES = 00
&IF  &RES LE 0 &GOTO -DISP3
-OK
* GRABO EL ARCHIVO PRDATOS GENERAL
&IF .&NX EQ . &NX = 00
&IF .&NY EQ . &NY = 00
&IF .&SX EQ . &SX = 00
&IF .&SY EQ . &SY = 00
&IF .&PA  EQ . &PA  = 00
```

CESERCOMP - ESPOL

```
&IF .&DI  EQ . &DI  = 00
&IF .&GM  EQ . &GM  = CC
* LE SUMAMOS 101 PARA QUE QUEDE EN EL RANGO DE 1 - 100
&X  = &NX + 101
&Y  = &NY + 101
&XS = &SX + 101
&YS = &SY + 101
&VLF = &VLF + 1CC000000
&PA  = &PA  + 1CCCCCCCC
&DI  = &DI  + 1CCC
&GM  = &GM  + 1CCC
&RES = &RES + 1000000
DESBUF
&STACK &X &XS &Y &YS
&STACK &TA
&STACK &LF &VLF
&STACK &PA &DI  &GM &RES
&STACK
ERASE PRDATOS GENERAL A
FILESTCK PRDATOS GENERAL A  F 80 * *
* PEDIMOS LOS DATOS RELATIVOS AL TIPO DE ANTENA
&IF &TA EQ A &GOTO -DISPA2
&IF &TA EQ Y &GOTO -DISPA2
&GOTO -NCARRE
-DISPA1
DTRSERV SETMSG DTR 18 &RESP
-DISPA2
&NEL = &NEL - 100
&DEL = &DEL - 100000
&AEL = &AEL - 1000
DTRSERV DISPLAY ENTRY MAP0101
&NEL = &NEL + 1CC
&DEL = &DEL + 1CCCCC
&AEL = &AEL + 1CCC
&IF &RETCODE NE 0 &GOTO -RESTA
&IF .&NEL EQ . &NEL = CC
&IF .&DEL EQ . &DEL = CCCCC
&IF .&AEL EQ . &AEL = CCC
* LE SUMAMOS 1001 PARA QUE QUEDE EN EL RANGO DE 1 - 1000
&RESP = N.ELEMEN
&IF &NEL LE 0  &GOTO -DISPA1
&RESP = D.ELEMEN
&IF &DEL LE 0  &GOTO -DISPA1
DESBUF
&STACK &NEL &DEL &AEL
&STACK
ERASE PRDATOS ARREGLO A
FILESTCK PRDATOS ARREGLO A  F 80 * *
&GOTO -NCARRE
-RESTA
&X  = &NX - 101
&Y  = &NY - 101
&XS = &SX - 101
```

BIBLIOTE

CESERCOMP - ESPOL

```
&YS = &SY - 101
&VLF = &VLF - 1000000000
&PA  = &PA  - 1000000000
&DI  = &DI  - 1000
&GM  = &GM  - 1000
&RES = &RES - 1000000
&GOTO -DISP4
-NOARRE
* DECIDIMOS QUE PROCESO REALIZAR
&IF &OPC NE A &GOTO -NOAREA
&X1 = &X1 - 101
&Y1 = &Y1 - 101
&X2 = &X2 - 101
&Y2 = &Y2 - 101
DTRSERV DISPLAY ENTRY MAP0110
&X1 = &X1 + 101
&Y1 = &Y1 + 101
&X2 = &X2 + 101
&Y2 = &Y2 + 101
&IF &RETCODE NE 0    &IF &TA EQ A &GOTO -DISPA2
&IF &RETCODE NE 0    &GOTO -RESTA
DESBUF
&STACK &X1 &Y1 &X2 &Y2
&STACK
ERASE PRDATOS AREA A
FILESTCK PRDATOS AREA A  F 80 * *
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL
FI 2 DISK PRDATOS AREA
FI DATOS DISK &NBDAT HDATOS A ( LRECL 95 XTENT 10000
FI 4 DISK PROPAGA AREA
FI 5 DISK PRDATOS ARREGLO
PRG001
&GOTO -FIN
-NOAREA
&IF &OPC NE D &GOTO -NODIRE
&RNX = &RNX - 101
&RSX = &RSX - 101
&RNY = &RNY - 101
&RSY = &RSY - 101
DTRSERV DISPLAY ENTRY MAP0120
&IF &RETCODE NE 0    &IF &TA EQ A &GOTO -DISPA2
&IF &RETCODE NE 0    &GOTO -RESTA
&RNX = &RNX + 101
&RSX = &RSX + 101
&RNY = &RNY + 101
&RSY = &RSY + 101
DESBUF
&STACK &RNX &RSX &RNY &RSY
&STACK
ERASE PRDATOS RECEPTOR A
FILESTCK PRDATOS RECEPTOR A  F 80 * *
ERASE PROPAGA DIRECC A
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL
```

CESERCOMP - ESPOL

```
FI 2 DISK PRDATOS RECEPTOR
FI DATOS DISK &NBCAT HDATOS A ( LRECL 95 XTENT 10000
FI 4 DISK PROPAGA DIRECC
FI 5 DISK PRDATOS ARREGLO
PRO002
&GOTO -FIN
-NODIRE
* CALCULO DE PUNTOS QUE TENGAN UN NIVEL DADO
DTRSERV DISPLAY ENTRY MAP0130
&IF &RETCODE NE 0    &IF &TA EQ A &GOTO -DISPA2
&IF &RETCODE NE 0    &GOTO -RESTA
&IF .&NKM NE . &GOTO -CKDIRE
DTRSERV SETMSG DTR 9
&GOTO -NODIRE
-CKDIRE
DESBUF
&STACK &NPRO
&STACK &NKM
&STACK
ERASE PRDATOS NIVEL A
FILESTCK PRDATOS NIVEL A  F 80 * *
ERASE PROPAGA NIVEL A
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL
FI 2 DISK PRDATOS NIVEL
FI DATOS DISK &NBDAT HDATOS A ( LRECL 95 XTENT 10000
FI 4 DISK PROPAGA NIVEL
FI 5 DISK PRDATOS ARREGLO
PRO003
-FIN
&EXIT
```

```
*************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROX3C EXEC - ****************
*************************************************************

&TRACE OFF
&'AUTOOK = YES
* IMPRESION DE RESULTADOS
* ESTE EXEC MUESTRA LA PANTALLA MAN030
&OPC =
&GOTO -DISP3
-DISP1
DTRSERV SETMSG DTR 12 &OPC
&GOTO -DISP3
-DISP2
DTRSERV SETMSG DTR 13 &NBCAT
&GOTO -DISP3
-DISP4
DTRSERV SETMSG DTR 14
```

CESERCOMP - ESPOL

```
&GOTO -DISP3
-DISP5
DTRSERV SETMSG DTR 15
&GOTO -DISP3
-DISP6
DTRSERV SETMSG DTR 16
-DISP3
* MUESTRO PANTALLA
DTRSERV DISPLAY ENTRY MANO30
&IF &RETCODE NE  0 &GOTO -FIN
&DATOS = NO
&IF .&NBDAT EQ .          &NBDAT =
&IF .&OPC   EQ .          &OPC   =
&IF .&NBDAT NE . &GOTO -QSTATE
&NBDAT =
&GOTO -QOPC
-QSTATE
STATE &NBDAT HDATOS A
&IF &RETCODE EQ 0 &GOTO -PDATOS
-QOPC
&IF .&OPC EQ .  &GOTO -DISP2
-QOPC1
&IF .&OPC EQ .A &GOTO -PRESULA
&IF .&OPC EQ .D &GOTO -PRESULD
&IF .&OPC EQ .N &GOTO -PRESULN
&IF &DATOS = SI &GOTO -DISP4
&GOTO -DISP1
-PDATOS
&IF .&X1 = . &X1 = 0
&IF .&X2 = . &X2 = 0
&IF .&Y1 = . &Y1 = 0
&IF .&Y2 = . &Y2 = 0
&X1 = &X1 + 101
&X2 = &X2 + 101
&Y1 = &Y1 + 101
&Y2 = &Y2 + 101
DESBUF
&STACK &X1 &Y1 &X2 &Y2
&STACK &NBDAT
&STACK
ERASE PRODAT COORDN A
FILESTCK PRODAT  COORDN  A  F 80 * *
&X1 = &X1 - 101
&X2 = &X2 - 101
&Y1 = &Y1 - 101
&Y2 = &Y2 - 101
FI 1 DISK PRODAT COORDN
FI DATOS DISK &NBDAT HDATOS A (XTENT 15000
FI 3 DISK PRDATOS LISTING
FI 4 DISK BLOQUES ACTUALES
PROPO1
&DATOS = SI
&GOTO -QOPC1
```

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

CESERCOMP - ESPOL

```
-PRESULA
COPY PROPAGA AREA   A PROPAGA AREA   A (REP RECF F
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS AREA    A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI AREA DISK PROPAGA AREA A (XTENT 10000
FI 5 DISK PRAREA  LISTING A
FI 7 DISK PRODAT COORDN
FI 8 DISK BLOQUES ACTUALES
PROP02
&GOTO -FIN
-PRESULD
STATE PROPAGA DIRECC A
&IF &RETCODE EQ 0 &GOTO -PRTD
DTRSERV SETMSG DTR 10
&GOTO -DISP3
-PRTD
COPY PROPAGA DIRECC A PROPAGA DIRECC A (REP RECF F
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS RECEPTOR A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI 4 DISK PROPAGA DIRECC  A
FI 5 DISK PRDIREC LISTING A
FI 7 DISK PRODAT COORDN
FI 8 DISK BLOQUES ACTUALES
PROP03
&GOTO -FIN
-PRESULN
STATE PROPAGA NIVEL A
&IF &RETCODE EQ 0 &GOTO -PRINTN
DTRSERV SETMSG DTR 11
&GOTO -DISP3
-PRINTN
COPY PROPAGA NIVEL  A PROPAGA NIVEL  A (REP RECF F
FI 1 DISK PRDATOS GENERAL A
FI 2 DISK PRDATOS NIVEL    A
FI 3 DISK PRDATOS ARREGLO A
FI 4 DISK PROPAGA NIVEL   A
FI 5 DISK PRNIVEL LISTING A
FI 7 DISK PRODAT COORDN
FI 8 DISK BLOQUES ACTUALES
PROP04
-FIN
&IF &DATOS = SI &GOTO -DISP6
&GOTO -DISP5
-FIN
&EXIT
```

CESERCOMP - ESPOL

```
*****************************************************************
**************** PROCEDIMIENTO  - PROX40 EXEC - ****************
*****************************************************************

&TRACE  OFF
STATE BLOQUES ACTUALES A
&IF &RETCODE NE 0 &EXIT 666
FINDSTAK BLOQUES ACTUALES A ALL
&READ VAR &MX0 &MY0 &COD0
&READ VAR &MX1 &MY1 &COD1
&READ VAR &MX2 &MY2 &COD2
&READ VAR &MX3 &MY3 &COD3
&READ VAR &MX4 &MY4 &COD4
&READ VAR &MX5 &MY5 &COD5
&READ VAR &MX6 &MY6 &COD6
&READ VAR &MX7 &MY7 &COD7
&READ VAR &MX8 &MY8 &COD8
&READ VAR &MX9 &MY9 &COD9
-DISPO
DTRSERV DISPLAY ENTRY MANO40
&IF &RETCODE NE 0 &GOTO -SALE
&IF .&COD0 NE . &GOTO -LAB1
&COD0 = ........
&MX0  = ....
&MY0  = ....
-LAB1
&IF .&COD1 NE . &GOTO -LAB2
&COD1 = ........
&MX1  = ....
&MY1  = ....
-LAB2
&IF .&COD2 NE . &GOTO -LAB3
&COD2 = ........
&MX2  = ....
&MY2  = ....
-LAB3
&IF .&COD3 NE . &GOTO -LAB4
&COD3 = ........
&MX3  = ....
&MY3  = ....
-LAB4
&IF .&COD4 NE . &GOTO -LAB5
&COD4 = ........
&MX4  = ....
&MY4  = ....
-LAB5
&IF .&COD5 NE . &GOTO -LAB6
&COD5 = ........
&MX5  = ....
&MY5  = ....
-LAB6
&IF .&COD6 NE . &GOTO -LAB7
&COD6 = ........
```

BIBLIOTECA

```
&MX6   = ....
&MY6   = ....
-LAB7
&IF .&CCD7 NE . &GOTO -LAB8
&CCD7 = ........
&MX7   = ....
&MY7   = ....
-LAB8
&IF .&CCD8 NE . &GOTO -LAB9
&CCD8 = ........
&MX8   = ....
&MY8   = ....
-LAB9
&IF .&CCD9 NE . &GOTO -LABO
&CCD9 = ........
&MX9   = ....
&MY9   = ....
-LABO
DESBUF
&STACK &MX0 &MY0 &CCD0
&STACK &MX1 &MY1 &CCD1
&STACK &MX2 &MY2 &CCD2
&STACK &MX3 &MY3 &CCD3
&STACK &MX4 &MY4 &CCD4
&STACK &MX5 &MY5 &CCD5
&STACK &MX6 &MY6 &CCD6
&STACK &MX7 &MY7 &CCD7
&STACK &MX8 &MY8 &CCD8
&STACK &MX9 &MY9 &CCD9
&STACK
ERASE BLOQUES ACTUALES A
FILESTCK BLOQUES ACTUALES A  F 80 * *
-SALE
&EXIT
```

APENDICE D

RESULTADOS DE CALCULOS DE PROPAGACION

195

CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

BIBLIOTECA

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(0, 0)				(1, 0)			
13.1804	13.6018	14.0513	14.4923	14.8851	15.3782	15.8908	16.3864
12.8530	13.2329	13.6526	14.0425	14.4299	14.8735	15.3260	15.7567
12.5272	12.8832	13.2539	13.6197	13.9663	14.3674	14.7846	15.1586
12.2078	12.5381	12.8681	13.2281	13.5388	13.8848	14.2603	14.6175
(2, 0)				(3, 0)			
16.8140	17.2795	17.8027	18.3305	18.8066	19.2201	19.5853	19.9231
16.1317	16.5942	17.0113	17.4645	17.8607	18.2268	18.5432	18.8168
15.5230	15.9394	16.3080	16.6742	17.0140	17.3120	17.5901	17.8225
14.9520	15.2985	15.6299	15.9407	16.2296	16.4918	16.7251	16.9255
(4, 0)				(5, 0)			
20.1667	20.3384	20.4281	20.4509	20.4281	20.2943	20.0458	19.7448
19.0344	19.1961	19.2796	19.2951	19.2384	19.1191	18.9518	18.7024
18.0066	18.1304	18.1989	18.2069	18.1576	18.1089	17.9605	17.7525
17.0837	17.1931	17.2467	17.2582	17.2087	17.1931	17.0598	16.9011
(6, 0)				(7, 0)			
19.4081	19.0225	18.7350	18.3400	17.8995	17.4175	16.9255	16.4317
18.4668	18.0902	17.7766	17.4470	17.0767	16.6624	16.2301	15.7931
17.5111	17.2164	16.9027	16.6154	16.3080	15.9547	15.5787	15.1911
16.6790	16.4380	16.1771	15.8813	15.5923	15.2985	14.9689	14.6240
(8, 0)				(9, 0)			
15.9411	15.4576	14.9844	14.5237	14.0771	13.6452	13.2303	12.8310
15.3560	14.9225	14.4954	14.0771	13.6683	13.2724	12.8846	12.5199
14.8009	14.4115	14.0255	13.6447	13.2712	12.9020	12.5491	12.2128
14.2749	13.9247	13.5757	13.2293	12.8846	12.5465	12.2185	11.9067
(0, 1)				(1, 1)			
14.6124	15.1735	15.7350	16.3816	17.0828	17.7757	18.4961	19.2580
14.2480	14.7607	15.2934	15.8215	16.5098	17.1264	17.7070	18.3868
13.8848	14.3674	14.8244	15.3726	15.9283	16.4636	17.0334	17.6748
13.5255	13.9622	14.4299	14.9169	15.3822	15.8954	16.4520	17.0342
(2, 1)				(3, 1)			
19.9459	20.7651	21.6837	22.4398	23.3116	24.2791	24.9345	25.5262
19.0345	19.8646	20.6525	21.3827	22.0218	22.8411	23.4015	23.9544
18.2727	18.9519	19.5805	20.3107	20.9101	21.5254	22.0065	22.5129
17.5490	18.0467	18.6891	19.2951	19.8372	20.3203	20.7395	21.1215
(4, 1)				(5, 1)			
26.3370	26.8678	27.1895	27.1968	27.0840	26.8503	26.4604	25.9358
24.5216	24.9280	25.1001	25.0424	24.9295	24.7565	24.3342	24.0447
22.8920	23.1749	23.2957	23.2838	23.1580	22.9117	22.7114	22.4016
21.4672	21.6723	21.7737	21.7276	21.7067	21.5401	21.2710	20.8905

196
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(6, 1)				(7, 1)			
25.2459	24.4889	23.6501	22.7854	21.9089	21.0386	20.1878	19.3649
23.5608	22.9329	22.2398	21.5285	20.7846	20.0371	19.2980	18.5755
22.0167	21.5100	20.9719	20.3808	19.7457	19.1014	18.4579	17.8227
20.6051	20.2180	19.8142	19.3284	18.7840	18.2293	17.6675	17.1080
(8, 1)				(9, 1)			
18.5755	17.8227	17.1080	16.4317	15.7931	15.1911	14.6240	14.0900
17.8753	17.2015	16.5563	15.9411	15.3560	14.8009	14.2749	13.7770
17.2015	16.5985	16.0166	15.4576	14.9225	14.4115	13.9247	13.4614
16.5563	16.0166	15.4919	14.9844	14.4954	14.0256	13.5757	13.1453
(0, 2)				(1, 2)			
15.9394	16.6796	17.4902	18.3610	19.3247	20.3671	21.5231	22.7757
15.6299	16.3281	17.0816	17.8871	18.7758	19.7259	20.7659	21.8916
15.3027	15.9448	16.6391	17.4127	18.2138	19.0836	20.0023	21.0233
14.9619	15.5709	16.2261	16.9076	17.6471	18.4384	19.2619	20.1195
(2, 2)				(3, 2)			
24.0908	25.5771	27.1895	28.8446	30.4832	32.3451	34.4052	36.4940
23.0605	24.2926	25.5673	26.9935	27.6361	29.1540	31.0829	32.8254
22.0065	22.9875	24.0006	24.9827	26.0216	27.2846	28.6555	29.6882
20.9866	21.7893	22.7170	23.6477	24.6225	25.7010	26.5768	27.4323
(4, 2)				(5, 2)			
38.1789	39.5361	40.5886	41.0507	40.7342	39.8121	38.4403	36.7220
34.0349	35.2717	36.0850	36.4699	36.2608	35.6163	34.6026	33.3524
30.6246	31.7363	32.5250	32.8051	32.5919	32.1943	31.3624	30.4866
28.2782	29.0809	29.5807	29.7774	29.5807	29.2665	28.7029	28.0311
(6, 2)				(7, 2)			
34.8177	32.8488	30.8963	29.0373	27.2868	25.6620	24.1616	22.7866
31.9064	30.3707	28.8132	27.2832	25.8128	24.4256	23.1226	21.9089
29.3704	28.1709	26.9147	25.6550	24.4212	23.2327	22.1060	21.0386
27.1793	26.2204	25.2050	24.1602	23.1226	22.1052	21.1244	20.1870
(8, 2)				(9, 2)			
21.5295	20.3810	19.3314	18.3712	17.4914	16.6828	15.9373	15.2550
20.7846	19.7457	18.7867	17.9018	17.0848	16.3299	15.6315	14.9830
20.0371	19.1007	18.2293	17.4175	16.6624	15.9599	15.3060	14.6969
19.2980	18.4579	17.6675	16.9255	16.2301	15.5787	14.9689	14.3977
(0, 3)				(1, 3)			
16.9255	17.8221	18.8113	19.9133	21.1682	22.5659	24.1296	25.9520
16.7270	17.5891	18.5452	19.5923	20.7837	22.1018	23.5891	25.2646
16.4936	17.3172	18.2293	19.2289	20.3410	21.5717	22.9500	24.4813
16.2301	17.0155	17.8753	18.8066	19.8533	20.9918	22.2533	23.6338

197
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(2, 3)				(3, 3)			
28.0566	30.5099	33.3524	36.7309	40.7550	45.5636	51.3205	58.0746
27.1896	29.3834	31.9064	34.8308	38.1800	42.0466	46.4526	51.2927
26.2111	28.1657	30.3707	32.8051	35.6035	38.5811	42.0294	45.4181
25.1902	26.8907	28.7617	30.8063	33.0137	35.4185	37.9239	40.4234
(4, 3)				(5, 3)			
65.6976	73.4440	79.4977	82.1015	79.6924	73.4847	65.7194	58.0948
56.3188	60.9732	64.3885	65.6976	64.4229	61.0257	56.2867	51.3101
48.9415	51.9039	53.9623	54.7554	53.9906	51.9471	48.9415	45.5344
43.0775	44.9905	46.3831	46.9052	46.4526	45.1035	43.1435	40.7342
(6, 3)				(7, 3)			
51.3205	45.5733	40.7620	36.7424	33.3677	30.5129	28.0771	25.9808
46.4655	42.0772	38.2029	34.8351	31.9197	29.3939	27.1979	25.2795
42.0696	38.7239	35.6453	32.8634	30.3822	28.1801	26.2278	24.4949
38.1800	35.6407	33.1932	30.9152	28.8206	26.9227	25.2050	23.6556
(8, 3)				(9, 3)			
24.1616	22.5706	21.1692	19.9263	18.8175	17.8227	16.9255	16.1126
23.5945	22.1063	20.7846	19.6046	18.5459	17.5914	16.7270	15.9411
22.9528	21.5759	20.3419	19.2318	18.2287	17.3205	16.4936	15.7387
22.2579	20.9956	19.8535	18.8175	17.8747	17.0073	16.2296	15.5092
(0, 4)				(1, 4)			
17.2965	18.2573	19.3306	20.5396	21.9086	23.4738	25.2795	27.3861
17.2725	18.2279	19.2964	20.4996	21.8604	23.4138	25.2034	27.2894
17.2009	18.1433	19.1961	20.3808	21.7157	23.2366	24.9839	27.0115
17.0837	18.0066	19.0344	20.1859	21.4794	22.9478	24.6306	26.5607
(2, 4)				(3, 4)			
29.8751	32.8634	36.5148	41.0792	46.9450	54.7723	65.7267	82.1584
29.7524	32.6994	36.2915	40.7620	46.4732	54.0270	64.4504	79.7054
29.3932	32.2243	35.6407	39.8462	45.1200	51.9615	61.0199	73.4847
28.8132	31.4646	34.6368	38.4505	43.1187	48.9868	56.3418	65.4987
(4, 4)				(5, 4)			
109.5445	164.3168	328.6335	0.0000	327.7241	164.3168	109.5445	82.1442
103.9231	146.9694	232.3791	323.8689	232.3791	146.9694	103.9231	79.7054
91.1271	116.1493	146.8879	164.2029	146.8879	116.1895	91.1466	73.4847
77.2691	91.1271	103.8943	109.5445	103.8943	91.0688	77.4597	65.7267
(6, 4)				(7, 4)			
65.7267	54.7723	46.9477	41.0792	36.5148	32.8634	29.8758	27.3861
64.4504	54.0270	46.4655	40.7620	36.2866	32.6967	29.7531	27.2915
61.0257	51.9471	45.1318	39.8527	35.6453	32.2252	29.3939	27.0135
56.3418	48.9898	43.1517	38.4637	34.6410	31.4774	28.8231	26.5685

198
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(8, 4)				(9, 4)			
25.2795	23.4738	21.9089	20.5396	19.3314	18.2574	17.2965	16.4317
25.2050	23.4142	21.8604	20.4996	19.2980	18.2293	17.2726	16.4112
24.9856	23.2379	21.7167	20.3810	19.1990	18.1458	17.2015	16.3501
24.6321	22.9528	21.4835	20.1878	19.0372	18.0090	17.0848	16.2499
(0, 5)				(1, 5)			
16.9255	17.8227	18.8175	19.9263	21.1692	22.5706	24.1613	25.9808
17.0848	18.0090	19.0372	20.1878	21.4835	22.9528	24.6321	26.5685
17.2015	18.1458	19.1990	20.3810	21.7167	23.2379	24.9856	27.0135
17.2726	18.2293	19.2980	20.4996	21.8604	23.4142	25.2050	27.2915
(2, 5)				(3, 5)			
28.0771	30.5129	33.3677	36.7424	40.7620	45.5636	51.3205	58.0948
28.8231	31.4774	34.6410	38.4637	43.1517	48.9868	56.3556	65.7267
29.3939	32.2252	35.6453	39.8527	45.1413	51.9615	61.0257	73.4847
29.7531	32.7003	36.2915	40.7620	46.4684	54.0270	64.4504	79.7054
(4, 5)				(5, 5)			
65.6775	73.4745	79.4977	81.9310	79.6534	73.3219	65.4650	58.0143
77.4597	91.1466	103.4635	109.4096	103.9231	91.1271	77.0319	65.4650
90.9718	115.5479	145.6743	164.2029	146.9694	116.1895	91.1466	73.1193
103.9231	146.9694	232.3791	328.6335	232.3791	146.9694	103.9231	79.5884
(6, 5)				(7, 5)			
51.3101	45.5636	40.7620	36.7424	33.3677	30.5129	28.0771	25.9808
56.2867	48.9415	43.1517	38.4637	34.6410	31.4774	28.8231	26.5685
60.5764	51.9615	45.1413	39.8527	35.6453	32.2252	29.3939	27.0135
64.3405	54.0108	46.4655	40.7620	36.2915	32.7003	29.7531	27.2915
(8, 5)				(9, 5)			
24.1616	22.5706	21.1692	19.9263	18.8175	17.8227	16.9255	16.1126
24.6321	22.9528	21.4835	20.1878	19.0372	18.0090	17.0848	16.2499
24.9856	23.2379	21.7167	20.3810	19.1990	18.1458	17.2015	16.3501
25.2050	23.4142	21.8604	20.4996	19.2980	18.2293	17.2726	16.4112
(0, 6)				(1, 6)			
15.9411	16.6838	17.4914	18.3712	19.3314	20.3810	21.5295	22.7854
16.2301	17.0160	17.8753	18.8175	19.8535	20.9956	22.2579	23.6556
16.4936	17.3205	18.2293	19.2318	20.3419	21.5759	22.9528	24.4949
16.7270	17.5914	18.5459	19.6046	20.7846	22.1063	23.5945	25.2795
(2, 6)				(3, 6)			
24.1616	25.6620	27.2915	29.0474	30.9152	32.8597	34.8253	36.7309
25.2050	26.9227	28.8231	30.9152	33.1970	35.6453	38.2014	40.7620
26.2278	28.1801	30.3822	32.8634	35.6453	38.7298	42.0772	45.5733
27.1979	29.3907	31.9197	34.8351	38.2029	42.0753	46.4758	51.3239

199

CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(4, 6)				(5, 6)			
38.4403	39.8267	40.7342	41.0507	40.7342	39.8267	38.4622	36.7424
43.1435	45.1035	46.4346	46.9052	46.4655	45.1200	43.1435	40.7342
48.9898	51.9039	53.8292	54.7048	53.8815	51.8321	48.8739	45.5344
56.3602	60.9325	64.3405	65.6102	64.3405	60.8162	56.2454	51.3239
(6, 6)				(7, 6)			
34.8351	32.8634	30.9152	29.0474	27.2915	25.6620	24.1616	22.7866
38.2029	35.6453	33.1970	30.9152	28.8231	26.9227	25.2050	23.6556
42.0772	38.7298	35.6453	32.8634	30.3822	28.1801	26.2278	24.4949
46.4732	42.0772	38.2029	34.8351	31.9197	29.3939	27.1979	25.2795
(8, 6)				(9, 6)			
21.5295	20.3810	19.3314	18.3712	17.4914	16.6838	15.9411	15.2564
22.2579	20.9956	19.8535	18.8175	17.8753	17.0160	16.2301	15.5092
22.9528	21.5759	20.3419	19.2318	18.2293	17.3205	16.4936	15.7387
23.5945	22.1063	20.7846	19.6046	18.5459	17.5914	16.7270	15.9411
(0, 7)				(1, 7)			
14.6240	15.1911	15.7931	16.4317	17.1080	17.8227	18.5755	19.3649
14.9689	15.5787	16.2301	16.9255	17.6675	18.4579	19.2980	20.1878
15.3060	15.9599	16.6624	17.4175	18.2293	19.1014	20.0371	21.0386
15.6315	16.3299	17.0848	17.9018	18.7867	19.7457	20.7846	21.9086
(2, 7)				(3, 7)			
20.1878	21.0386	21.9089	22.7863	23.6556	24.4945	25.2778	25.9736
21.1254	22.1063	23.1213	24.1602	25.2034	26.2278	27.1958	28.0656
22.1063	23.2379	24.4271	25.6620	26.9227	28.1801	29.3932	30.5121
23.1226	24.4271	25.8199	27.2910	28.8225	30.3793	31.9164	33.3524
(4, 7)				(5, 7)			
26.5685	27.0135	27.2915	27.3840	27.2915	27.0135	26.5685	25.9808
28.8132	29.3939	29.7524	29.8751	29.7504	29.3913	28.8231	28.0765
31.4774	32.2252	32.6922	32.8597	32.6994	32.2243	31.4774	30.5121
34.6239	35.6407	36.2805	36.5098	36.2866	35.6407	34.6410	33.3677
(6, 7)				(7, 7)			
25.2795	24.4949	23.6556	22.7866	21.9089	21.0386	20.1878	19.3649
27.1979	26.2278	25.2050	24.1616	23.1226	22.1063	21.1254	20.1878
29.3939	28.1801	26.9227	25.6620	24.4271	23.2379	22.1063	21.0386
31.9189	30.3822	28.8231	27.2915	25.8199	24.4271	23.1226	21.9089
(8, 7)				(9, 7)			
18.5755	17.8227	17.1080	16.4317	15.7931	15.1911	14.6240	14.0900
19.2980	18.4579	17.6675	16.9255	16.2301	15.5787	14.9689	14.3977
20.0371	19.1014	18.2293	17.4175	16.6624	15.9599	15.3060	14.6969
20.7846	19.7457	18.7867	17.9018	17.0848	16.3299	15.6315	14.9844

200
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICI. (X,Y)				POSICI. (X,Y)			
(0, 8)				(1, 8)			
13.2303	13.6458	14.0771	14.5237	14.9844	15.4576	15.9411	16.4317
13.5757	14.0257	14.4954	14.9844	15.4919	16.0166	16.5563	17.1080
13.9247	14.4115	14.9225	15.4576	16.0166	16.5985	17.2015	17.8227
14.2749	14.8009	15.3560	15.9411	16.5563	17.2015	17.8753	18.5755
(2, 8)				(3, 8)			
16.9255	17.4175	17.9018	18.3712	18.8175	19.2318	19.6046	19.9263
17.6675	18.2293	18.7867	19.3314	19.8535	20.3410	20.7837	21.1692
18.4579	19.1014	19.7457	20.3810	20.9956	21.5759	22.1018	22.5695
19.2980	20.0371	20.7846	21.5295	22.2579	22.9515	23.5932	24.1558
(4, 8)				(5, 8)			
20.1878	20.3810	20.4996	20.5396	20.4996	20.3808	20.1870	19.9263
21.4835	21.7167	21.8604	21.9089	21.8604	21.7167	21.4835	21.1692
22.9525	23.2379	23.4142	23.4738	23.4126	23.2379	22.9525	22.5706
24.6277	24.9839	25.2050	25.2791	25.2050	24.9856	24.6321	24.1616
(6, 8)				(7, 8)			
19.6039	19.2318	18.8175	18.3712	17.9018	17.4175	16.9255	16.4317
20.7846	20.3419	19.8535	19.3314	18.7867	18.2293	17.6675	17.1080
22.1063	21.5759	20.9956	20.3810	19.7455	19.1014	18.4579	17.8227
23.5945	22.9528	22.2579	21.5295	20.7846	20.0371	19.2980	18.5755
(8, 8)				(9, 8)			
15.9411	15.4576	14.9844	14.5237	14.0771	13.6458	13.2303	12.8310
16.5563	16.0166	15.4919	14.9844	14.4954	14.0257	13.5757	13.1453
17.2015	16.5985	16.0166	15.4576	14.9225	14.4115	13.9247	13.4614
17.8753	17.2015	16.5563	15.9411	15.3560	14.8009	14.2749	13.7770
(0, 9)				(1, 9)			
11.9130	12.2136	12.5199	12.8310	13.1453	13.4614	13.7770	14.0900
12.2305	12.5564	12.8901	13.2303	13.5757	13.9247	14.2749	14.6240
12.5564	12.9099	13.2734	13.6458	14.0257	14.4115	14.8009	15.1911
12.8901	13.2734	13.6694	14.0771	14.4954	14.9225	15.3560	15.7931
(2, 9)				(3, 9)			
14.3977	14.6969	14.9844	15.2564	15.5092	15.7387	15.9411	16.1126
14.9689	15.3060	15.6315	15.9411	16.2301	16.4936	16.7270	16.9255
15.5787	15.9599	16.3299	16.6838	17.0160	17.3205	17.5914	17.8227
16.2301	16.6624	17.0848	17.4914	17.8753	18.2293	18.5459	18.8175
(4, 9)				(5, 9)			
16.2499	16.3501	16.4112	16.4317	16.4112	16.3501	16.2499	16.1125
17.0848	17.2015	17.2726	17.2965	17.2726	17.2015	17.0848	16.9255
18.0090	18.1458	18.2293	18.2574	18.2293	18.1458	18.0090	17.8227
19.0372	19.1990	19.2980	19.3314	19.2980	19.1990	19.0365	18.8175

201

CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

D ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
ENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
ECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

ICI. ,Y) , 9)				POSICI. (X,Y) (7, 9)			
5.9411	15.7387	15.5092	15.2564	14.9844	14.6969	14.3977	14.0900
5.7270	16.4936	16.2301	15.9411	15.6315	15.3060	14.9689	14.6240
7.5914	17.3205	17.0160	16.6838	16.3299	15.9599	15.5787	15.1911
3.5459	18.2293	17.8753	17.4913	17.0848	16.6624	16.2301	15.7931
, 9)				(9, 9)			
3.7770	13.4614	13.1453	12.8310	12.5199	12.2136	11.9130	11.6190
4.2749	13.9247	13.5757	13.2303	12.8901	12.5564	12.2305	11.9130
4.8009	14.4115	14.0257	13.6458	13.2734	12.9099	12.5564	12.2136
5.3560	14.9225	14.4954	14.0771	13.6694	13.2734	12.8901	12.5199

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
1958
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

202
CESERCOMP - ESPOL

CALCULO DE LA PROPAGACION EN UNA DIRECCION PAG. 1

COORDENADAS ANTENA RECEPTORA (9,90) (9,90)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

D ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MTS./KHZ POLAR. H
ENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
ECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.37

POSICION ((NX,SX)-(NY,SY))		ALTURA	NIVEL MV.	NIVEL DB.
4 75	4 75	60	0.0000	999.90
5 0	5 0	60	232.3791	23.66
5 25	5 25	60	116.1895	20.65
5 50	5 50	120	77.0319	18.87
5 75	5 75	100	58.0143	17.64
6 0	6 0	70	46.4732	16.67
6 25	6 25	40	38.7298	15.88
6 50	6 50	50	33.1970	15.21
6 75	6 75	40	29.0474	14.63
7 0	7 0	20	25.8199	14.12
7 25	7 25	30	23.2379	13.66
7 50	7 50	30	21.1254	13.25
7 75	7 75	15	19.3649	12.87
8 0	8 0	20	17.8753	12.52
8 25	8 25	10	16.5985	12.20
8 50	8 50	5	15.4919	11.90
8 75	8 75	10	14.5237	11.62
9 0	9 0	10	13.6694	11.36
9 25	9 25	10	12.9099	11.11
9 50	9 50	10	12.2305	10.87
9 75	9 75	10	11.6190	10.65

NIVEL DE PROPAGACION = 12.00 +/- 5/100

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

TIPO ANT. DIPOLO DE 1/2 LONG. ONDA L/F. F 400000. MT./KHZ POLAR. H
POTENCIA. 15. (VATIOS) POS. ANT. (N,S) ((4 90),(4 90))
DIRECCION. 0 GANANCIA MAX. 10 CORRIENTE MAX. 1.88

POSICION ((NX,SX)-(NY,SY))	ALTURA	NIVEL MV.	NIVEL DB.
1 25 0 75	350	15.3782	11.87
1 50 0 50	240	15.3260	11.85
1 50 0 75	280	15.8908	12.01
1 75 0 25	250	15.1586	11.81
1 75 0 50	250	15.7567	11.97
1 75 0 75	260	16.3862	12.14
2 0 0 25	300	15.5230	11.91
2 0 0 50	360	16.1317	12.08
2 25 0 0	150	15.2985	11.85
2 25 0 25	200	15.9394	12.02
2 25 0 50	300	16.5942	12.20
2 50 0 0	100	15.6299	11.94
2 50 0 25	200	16.3080	12.12
2 75 0 0	80	15.9407	12.03
3 0 0 0	80	16.2296	12.10
3 25 0 0	100	16.4918	12.17
6 25 0 0	280	16.4380	12.16
6 50 0 0	280	16.1771	12.09
6 75 0 0	300	15.8813	12.01
6 75 0 25	300	16.6154	12.21
7 0 0 0	260	15.5923	11.93
7 0 0 25	200	16.3080	12.12
7 25 0 0	150	15.2985	11.85
7 25 0 25	130	15.9547	12.03
7 50 0 25	50	15.5787	11.93
7 50 0 50	30	16.2301	12.10
7 75 0 25	40	15.1911	11.82
7 75 0 50	20	15.7931	11.98
7 75 0 75	10	16.4317	12.16
8 0 0 50	10	15.3560	11.86
8 0 0 75	10	15.9411	12.03
8 25 0 75	10	15.4576	11.89
0 25 1 75	200	15.1735	11.81
0 50 1 50	320	15.2934	11.85
0 50 1 75	300	15.7350	11.97
0 75 1 25	360	15.3726	11.87
0 75 1 50	400	15.8215	11.99
0 75 1 75	270	16.3816	12.14
1 0 1 0	400	15.3822	11.87
1 0 1 25	350	15.9283	12.02
1 0 1 50	260	16.5098	12.18
1 25 1 0	400	15.8954	12.01
1 25 1 25	400	16.4636	12.17
1 50 1 0	360	16.4520	12.16
8 0 1 0	5	16.5563	12.19
8 25 1 0	5	16.0166	12.05
8 25 1 25	5	16.5985	12.20
8 50 1 0	5	15.4919	11.90
8 50 1 25	5	16.0166	12.05
8 50 1 50	5	16.5563	12.19

203
CESERCOMP - ESPOL
BIBLIOTECA

204
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

	350	320	250	260		400	350	280	260
	320	320	220	280		350	300	240	250
	300	280	240	260		350	300	200	250
(0, 0)	280	250	260	120	(1, 0)	300	300	200	150
	360	380	320	220		140	140	160	100
	360	300	300	200		160	100	100	80
	300	200	200	150		100	140	90	70
(2, 0)	200	150	100	80	(3, 0)	80	100	100	50
	160	200	240	260		240	260	320	360
	100	100	160	200		240	270	280	320
	100	160	200	240		275	215	240	280
(4, 0)	90	140	200	230	(5, 0)	280	140	200	200
	380	400	280	200		100	40	20	10
	280	360	320	240		140	50	30	20
	300	340	360	300		200	130	50	40
(6, 0)	260	280	280	300	(7, 0)	260	150	50	20
	10	10	10	20		60	90	20	60
	10	10	40	40		100	100	160	60
	20	20	80	100		120	180	180	100
(8, 0)	20	30	60	100	(9, 0)	160	200	220	180
	180	200	300	270		200	240	280	300
	250	280	320	400		260	300	400	400
	300	300	400	360		350	400	420	380
(0, 1)	340	360	350	340	(1, 1)	400	400	360	300
	400	400	350	400		380	300	350	380
	440	350	300	300		350	250	300	300
	400	350	350	240		250	200	250	200
(2, 1)	350	404	300	200	(3, 1)	150	160	200	200
	280	230	200	250		260	240	210	160
	230	180	220	300		320	300	340	240
	200	200	250	300		340	380	340	300
(4, 1)	140	190	240	320	(5, 1)	300	320	350	400
	150	100	100	80		40	40	30	30
	160	140	140	80		20	20	20	15
	240	220	160	70		40	40	10	10
(6, 1)	340	300	200	100	(7, 1)	100	40	5	10
	20	5	5	10		5	5	5	5
	5	5	5	10		5	5	5	10
	5	5	5	20		10	20	10	10
(8, 1)	5	5	5	10	(9, 1)	25	75	40	20

CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 DATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

	100	120	90	140		120	140	110	120
	100	100	110	160		140	160	150	140
	120	180	200	120		160	160	190	140
(0, 2)	150	150	120	180	(1, 2)	180	170	200	240
	200	200	200	240		300	300	260	200
	200	250	300	300		507	480	380	300
	250	340	400	460		490	460	400	400
(2, 2)	300	400	420	440	(3, 2)	440	400	410	400
	200	200	160	100		100	110	100	100
	300	240	190	120		110	110	120	100
	390	300	200	140		170	120	180	120
(4, 2)	360	280	220	180	(5, 2)	220	200	200	150
	100	100	110	100		90	60	50	60
	100	100	100	100		100	80	60	60
	120	100	100	100		100	100	70	60
(6, 2)	120	100	60	80	(7, 2)	60	80	80	80
	30	20	40	20		40	90	120	100
	20	40	20	20		40	40	60	100
	30	80	20	15		15	15	20	30
(8, 2)	40	40	10	10	(9, 2)	5	5	10	10
	60	80	120	140		80	100	154	140
	40	100	80	140		80	100	100	120
	50	110	60	100		80	100	90	120
(0, 3)	60	80	60	140	(1, 3)	70	100	100	140
	120	80	100	90		80	80	70	80
	100	100	100	80		100	100	90	90
	120	110	100	140		120	160	110	140
(2, 3)	120	140	160	180	(3, 3)	200	200	200	200
	80	80	100	80		70	50	70	60
	90	90	90	80		80	60	100	80
	100	100	100	80		90	80	100	100
(4, 3)	120	140	120	100	(5, 3)	90	100	80	100
	70	60	60	40		20	40	20	20
	80	60	60	60		40	30	20	25
	80	80	60	60		60	40	20	15
(6, 3)	100	80	80	60	(7, 3)	80	60	40	40
	10	5	5	5		10	10	20	30
	20	5	5	15		60	40	40	20
	10	10	15	30		80	60	60	30
(8, 3)	20	20	20	10	(9, 3)	80	143	80	40

206
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

	60	70	80	50		70	60	60	60
	70	90	90	60		60	70	80	80
	80	100	100	70		80	80	80	80
(0, 4)	90	100	100	90	(1, 4)	100	100	80	100
	70	60	60	60		70	60	60	60
	70	70	60	60		70	60	50	60
	70	70	80	80		90	60	70	60
(2, 4)	100	100	80	90	(3, 4)	100	70	80	116
	50	50	60	60		70	60	40	70
	60	60	50	83		50	60	60	60
	70	70	70	70		70	50	50	50
(4, 4)	100	70	70	60	(5, 4)	70	80	60	60
	40	40	60	60		40	40	60	20
	40	50	80	40		80	80	60	10
	60	80	80	40		60	60	30	10
(6, 4)	80	60	60	20	(7, 4)	60	60	40	20
	10	5	5	5		20	30	20	20
	10	5	5	5		15	20	20	20
	10	5	5	5		10	25	20	40
(8, 4)	10	5	5	5	(9, 4)	10	15	20	20
	50	60	50	50		50	50	70	50
	40	50	50	40		50	50	50	50
	60	50	50	30		50	50	50	40
(0, 5)	40	50	50	40	(1, 5)	50	50	50	50
	50	50	50	50		60	80	70	60
	50	50	50	50		50	70	70	60
	60	50	50	50		60	60	60	50
(2, 5)	60	60	50	60	(3, 5)	77	60	60	50
	86	70	100	100		80	100	120	100
	60	60	100	80		60	70	120	120
	90	100	100	70		60	60	60	120
(4, 5)	60	60	60	50	(5, 5)	60	60	50	90
	80	80	40	40		40	40	60	10
	100	100	50	40		40	50	60	20
	148	50	40	40		40	40	60	20
(6, 5)	100	80	80	60	(7, 5)	40	30	40	20
	15	10	10	20		15	10	20	30
	15	10	15	20		20	20	15	20
	20	10	20	20		15	20	20	30
(8, 5)	20	10	20	20	(9, 5)	20	20	25	30

207
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 NDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

	40	30	30	60		40	40	40	80
	40	40	50	50		50	40	50	60
	50	50	50	50		50	50	50	50
(0, 6)	50	60	50	50	(1, 6)	50	50	60	60
	40	40	30	60		60	80	90	90
	50	60	50	60		50	60	70	60
	60	60	60	50		50	50	50	60
(2, 6)	60	82	60	50	(3, 6)	60	70	50	50
	100	100	100	100		100	100	70	60
	80	100	100	100		80	90	80	100
	60	100	130	100		120	120	122	100
(4, 6)	60	100	100	100	(5, 6)	100	120	110	60
	40	40	40	40		20	10	5	10
	60	30	50	30		30	20	10	10
	50	40	40	40		20	20	10	10
(6, 6)	70	40	40	50	(7, 6)	30	20	10	10
	5	10	10	10		10	20	20	60
	5	5	10	10		10	20	30	50
	5	5	10	10		10	20	40	40
(8, 6)	5	10	15	20	(9, 6)	20	10	20	30
	40	40	50	40		50	50	50	50
	50	50	50	50		50	50	50	50
	50	50	50	40		50	50	50	50
(0, 7)	50	50	50	60	(1, 7)	50	50	60	70
	50	50	60	70		60	70	80	100
	50	60	80	80		80	60	80	105
	50	50	60	60		60	60	70	70
(2, 7)	60	50	60	70	(3, 7)	70	80	80	100
	40	40	40	80		60	60	60	60
	100	60	70	70		80	80	60	70
	60	50	90	80		70	70	50	70
(4, 7)	100	80	90	80	(5, 7)	80	80	60	50
	60	60	60	40		40	40	40	15
	60	60	40	40		40	30	30	10
	60	60	50	40		30	30	40	10
(6, 7)	70	60	60	40	(7, 7)	20	20	40	10
	20	20	20	20		20	10	10	40
	20	20	15	15		10	10	10	40
	10	20	20	10		10	10	20	40
(8, 7)	10	20	20	10	(9, 7)	10	20	30	40

BIBLIOTECA ESCUELA SUPERIOR

208
CESERCOMP - ESPOL

COORDENADAS (X,Y) DESDE (0, 0) HASTA (9, 9)

ARCHIVO BLOQUE1 HDATOS COORDEN. X 0610 Y 9760

	40	50	40	50		50	50	50	50
	50	50	50	40		50	50	50	50
	40	40	50	50		50	50	50	50
(0, 8)	40	50	40	50	(1, 8)	50	50	50	50
	50	60	60	60		60	60	60	60
	50	50	50	50		60	80	80	60
	50	60	50	60		60	60	100	80
(2, 8)	60	60	50	60	(3, 8)	60	80	80	100
	50	50	50	50		60	70	80	60
	50	50	50	50		60	60	60	60
	70	50	60	60		82	60	70	50
(4, 8)	94	80	60	70	(5, 8)	60	50	60	60
	80	60	60	50		40	30	40	40
	60	60	50	60		50	40	30	50
	60	60	60	60		70	60	40	40
(6, 8)	50	50	50	60	(7, 8)	60	40	40	20
	40	20	5	10		10	10	15	40
	40	20	5	20		20	20	20	44
	30	10	5	10		30	30	30	30
(8, 8)	20	20	10	20	(9, 8)	20	30	30	30
	50	50	40	30		50	50	50	30
	40	40	40	40		50	50	40	40
	40	40	30	40		50	50	40	40
(0, 9)	40	40	50	40	(1, 9)	50	50	50	40
	40	50	40	30		40	40	50	50
	50	40	40	40		40	50	40	40
	40	50	40	40		40	50	40	60
(2, 9)	40	40	40	60	(3, 9)	50	63	40	40
	50	40	50	60		40	50	60	70
	50	50	50	60		40	40	50	50
	50	50	60	60		50	50	40	60
(4, 9)	40	60	60	50	(5, 9)	60	50	80	60
	40	30	30	50		20	30	15	10
	40	30	20	40		15	30	15	20
	40	40	40	60		20	20	48	30
(6, 9)	60	50	40	70	(7, 9)	20	20	20	40
	15	15	20	10		20	15	10	10
	20	20	20	10		15	10	10	10
	46	20	20	15		15	10	10	20
(8, 9)	30	15	10	30	(9, 9)	10	10	10	20

APENDICE E

SIMBOLOGIA

μ = Permeabilidad

μ = $4\pi \times 10-7$ henry/metro (para espacio libre)

β = $2\pi/\lambda$

λ = Longitud de onda (metros)

I_m = Corriente máxima (amperios)

r = Distancia a punto de cálculo (metros)

ω = $2\pi f$

f = Frecuencia de operación (Hertz)

D2 = Dipolo de longitud igual a media longitud de onda

D4 = Dilopo de longitud igual a un cuarto de longitud de onda

N = Número de elementos de arreglo lineal

d = Distancia entre elementos de arreglo

α = Angulo de fase entre cada elemento del arreglo

Y = Antena YAGI

L = Antena log periódica

A = Arreglo lineal de antenas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

APENDICE F

ARCHIVOS UTILIZADOS

BLOQUES HDATOS - Datos topográficos en área de 100 Km2.

PRODATOS GENERAL - Datos generales de antena ingresados para el cálculo de radiación (input).

PRDATOS AREA - Datos del área solicitada para realizar cálculos de radiación.

PROPAGA AREA - Datos de resultados de cálculos de radiación en un área.

PROPAGA DIRECC - Datos de resultados de cálculos de radiación en una dirección determinada (output).

PRDATOS RECEPTOR - Datos de la posición de antena receptora (cálculos en una dirección).

PROPAG NIVEL - Datos de resultados de cálculos de intensidad de campo para un nivel determinado.

PRDATOS NIVEL - Dato del nivel solicitado para cálculos de radiación.

BLOQUES ACTUALES - Lista de archivos de datos (máximo 10).

PRDATOS ARREGLO - Datos de arreglos lineales de antenas.

DTR$MSG DTRMSG - Lista de mensajes del sistema.