ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

PROGRAMA PARA DETERMINAR PATRONES DE RADIACION DE ARREGLOS TIPICOS DE ANTENAS

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

Patricio Xavier Villacís Villafuerte

QUITO - ECUADOR

NOVIEMBRE DEL 2001

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo de tesis ha sido realizado en su totalidad por el Señor:

PATRICIO VILLACIS V.

Ing. Mario Cevallos
Director de Tesis

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con inmensa gratitud a mis padres Aníbal Villacís y Cecilia Villafuerte, por la inmensa muestra de amor y constancia que me han sabido brindar en todo momento, a quienes agradezco la mejor preparación profesional que pudieron entregarme, y la infinita paciencia mostrada hasta ver que puedo otorgarles la satisfacción de haber cumplido.

La consecución de esta meta fruto de mucho esfuerzo y tesón quiero también dedicarle a un gran amigo y compañero que lamentablemente ya partió de este mundo, el Ing. Jaime Toscano Morales y que Dios le tenga en su presencia.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primera instancia el respaldo y el apoyo constante que he recibido de parte del Ing. Mario Cevallos director de esta Tesis, lo que ha posibilitado que alcance la meta propuesta, en base al invalorable aporte de sus amplios conocimientos y experiencia.

Debo también participar este agradecimiento al amigo y compañero de trabajo Ing. Lenin Orozco, por la ayuda desinteresada que me ha sabido brindar en el desarrollo de este trabajo, y en general a todas aquellas personas allegadas que de una u otra manera me brindaron su apoyo y el respaldo incondicional.

INTRODUCCION

Las actuales exigencias en cuanto a la determinación de coberturas reales de los sistemas de radiodifusión y televisión existentes en el país, requieren el soporte de un paquete especializado que facilite la elaboración de los estudios técnicos, así como también, que permita dimensionar adecuadamente los sistemas radiantes a instalarse; de modo que se obtenga una óptima previsión de campo a partir de cada sitio de transmisión. Esta situación se hace un tanto particular para nuestro país en vista que los sistemas radiantes para FM y TV-VHF son diseñados y construidos en su gran mayoría en forma local.

Por el momento, todavía no se cuenta con este soporte computacional para la representación gráfica de lóbulos de radiación y determinación de ganancia, acorde a los sistemas radiantes de construcción nacional; por lo cual resulta conveniente estudiar las características reales a considerarse en la elaboración de proyectos, evaluando aspectos técnicos que intervienen en situaciones generales y específicas.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I : CONSIDERACIONES TECNICAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS RADIANTES DE RADIODIFUSION FM.

1.1.- Consideraciones técnicas generales
1.1.1 Antenas para FM de banda angosta
1.1.2 Antenas para FM de banda ancha
1.1.3 Inclinación mecánica para un sistema radiante FM
1.1.4 Inclinación electrónica para un sistema radiante FM
1.1.5 Aspectos complementarios y accesorios para un sistema radiante FM
1.1.6 Sistemas radiantes FM típicos para coberturas locales en la costa
1.1.7 Sistemas radiantes FM típicos para coberturas locales en la sierra

CAPITULO II : CONSIDERACIONES TECNICAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS RADIANTES DE TELEVISION VHF Y UHF.

2.1.- Consideraciones técnicas generales para sistemas radiantes de televisión VHF.
2.1.1 Antenas para TV-VHF en bandas I y III
2.1.2 Inclinación mecánica para un sistema radiante de TV-VHF
2.1.3 Inclinación electrónica para un sistema radiante de TV-VHF
2.1.4 Aspectos complementarios y accesorios para un sistema radiante de TV-VHF
2.1.5 Sistemas radiantes de TV-VHF típicos para coberturas locales a nivel nacional

2.2.- Consideraciones técnicas generales para sistemas radiantes de televisión UHF.
2.2.1 Antenas para TV-UHF
2.2.2 Inclinación mecánica para un sistema radiante de TV-UHF
2.2.3 Inclinación electrónica para un sistema radiante de TV-UHF
2.2.4 Aspectos complementarios y accesorios para un sistema radiante de TV-UHF
2.2.5 Sistemas radiantes de TV-UHF típicos para coberturas locales a nivel nacional.

CAPITULO III : DESARROLLO DEL PROGRAMA "PATRONES DE RADIACION DE ARREGLOS TIPICOS DE ANTENAS"

3.1.- La función del lóbulo de radiación horizontal primario
3.1.1.- El lóbulo de Radiación o Muestra de Radiación
3.1.2.- Diagramas de Radiación
3.1.3.- Multiplicación de Diagramas
3.1.4.- Suma de Diagramas vectoriales
3.1.5.- Campo Radiado por fuentes puntuales
3.1.6.- Directividad y Ganancia
3.1.7.- Sistema de Antenas
3.1.8.- Diagrama de Radiación del Sistema de Antenas
3.1.9.- Antenas tipo Radiador FM
3.2.10.- Antenas de TV en VHF tipo "Diedro 90º"
3.1.11.- Antenas de TV en UHF tipo "Panel de 4 dipolos"

3.2.- Lóbulo de radiación horizontal de un arreglo FM con pantalla 3.2.1.- Antenas de tipo panel en general ó dipolos con pantalla reflectora

3.3.- Simulación de dos, tres y cuatro lóbulos principales a los lados de una torre cuadrada.
3.3.1.- Sistemas Omnidireccionales con antenas de panel
3.3.2.- Sistemas Direccionales con antenas de panel

3.4.- Lóbulos de radiación vertical típicos para sistemas radiantes en FM, TV-VHF y TV-UHF
3.4.1.- Diagrama de Radiación Vertical
3.4.2.- Eliminación de nulos
3.4.3.- Inclinación de Haz

3.5.- Formulación del Programa.-
3.5.1.- Criterios para la determinación de constantes en un arreglo general sobre una torre cuadrada y cálculos de ganancia

3.6.- Representación de la torre y antenas vistas superiormente en el diagrama de radiación horizontal

3.7.- Representación de la torre y arreglo de antenas vistas lateralmente

3.8.- Desarrollo de Macros para integrar todas las hojas dentro del libro general

3.9.- Introducción de datos, presentación de datos de salida y aspectos de protección del programa

CAPITULO IV : APLICACIONES PRACTICAS DEL PROGRAMA DE PATRONES DE RADIACIÓN

4.1.- Manual de uso del programa

4.2.- Diagrama para arreglos con inclinación del lóbulo de radiación
4.2.1.- Inclinación mecánica
4.2.2.- Inclinación electrónica

4.3.- Diagramas de arreglos en torres triangulares con combinaciones de potencia y fase
4.3.1.- Igual potencia e igual fase
4.3.2.- Potencia diferente e igual fase
4.3.3.- Igual potencia y diferente fase
4.3.4.- Diferente potencia y diferente fase

4.4.- Diagramas de arreglos en torres de sección cuadrada con combinaciones de potencia y fase
4.4.1.- Igual potencia e igual fase
4.4.2.- Potencia diferente e igual fase
4.4.3.- Igual potencia y diferente fase
4.4.4.- Diferente potencia y diferente fase

CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA :

ANEXO I:

1.1.- Manual de uso del Programa

ANEXO II: DESCRIPCION DE FUNCIONES DE MICROSOFT EXCEL UTILES PARA DESARROLLAR EL PAQUETE DE REPRESENTACION DE SISTEMAS RADIANTES

2.1.- Funciones matemáticas y trigonométrica
2.2.- Funciones lógicas
2.3.- Funciones de Búsqueda y Referencia
2.4.- Funciones de texto
2.5.- Escala Angular y el gráfico de Radar
2.6.- Utilización de Macros para comodidad del usuario

CAPITULO I :

CONSIDERACIONES TECNICAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS RADIANTES DE RADIODIFUSION FM.

Se entiende por sistema radiante todo el montaje de antenas y elementos de control de fase y distribución de potencia que permiten radiar las señales RF generadas en un transmisor hacia el espacio libre.

Partiendo de esta consideración, nos ocuparemos de la descripción de antenas cuyas principales especificaciones tienen que ver con el tipo de polarización, ganancia, respuesta de frecuencia, ancho de banda, capacidad de potencia de transmisión, impedancia y características de los patrones de radiación horizontal y vertical.

En cuanto a los sistemas radiantes, las principales consideraciones son el número de antenas que forman el arreglo, separación óptima entre antenas, ganancia, diseño del distribuidor de potencia, longitudes y fases de los latiguillos de interconexión entre distribuidor y antenas para efectos de inclinación electrónica, impedancia y VSWR del arreglo.

1.1.- CONSIDERACIONES TÉCNICAS GENERALES

Un sistema radiante para FM es un arreglo de dos o más antenas alineadas verticalmente, por lo general sobre uno de los vértices de una torre. Tal disposición obedece al hecho que las antenas FM son diseñadas en su mayoría para producir un lóbulo de radiación omnidireccional. Entonces, el efecto de incrementar el número de antenas permitirá mantener dicho patrón, variando solamente el patrón de radiación vertical, y consecuentemente, la ganancia del arreglo.

No obstante, existen también antenas tipo panel, provistas de una pantalla reflectora, con la que se consigue una mayor directividad en la dirección de apuntamiento e interesa eliminar la radiación hacia atrás. Con este tipo de antenas también se pueden formar arreglos de haz sectorial y aún omnidireccional distribuyéndolas sobre los diversos frentes de una torre.

Debido a la diversidad de montajes de antenas receptoras fijas y móviles, con las cuales la audiencia capta las señales FM, las antenas de transmisión deben generar una emisión de campo eléctrico que pueda inducir energía Electromagnétrica en las antenas receptoras convencionales con cualquier sentido de polarización lineal; por consiguiente la mayoría de diseñadores confeccionan antenas para una emisión con polarización cruzada. Vale aclarar que la polarización de estas antenas no es propiamente circular, pues los componentes E y H no giran en función del tiempo; sin embargo este distintivo se lo ha adoptado como normativa internacional debido a fines comerciales.

La polarización cruzada (circular) de estas antenas se logra fácilmente mediante la combinación física de dos o más dipolos orientados en los dos sentidos de polarización lineal, con lo cual se conseguirá dos frentes mutuamente perpendiculares. En estas condiciones, existen varios diseños de antenas que cumplen tales características, tanto en banda angosta como en banda ancha.

1.1.1 ANTENAS PARA FM DE BANDA ANGOSTA

Las antenas FM de banda angosta, conocidas como "Radiadores FM" se caracterizan en que sus dipolos conservan una curvatura semi-circular; así por ejemplo las antenas cuadrapolo, cuentan con cuatro dipolos cruzados dispuestos en planos diferentes; la antena tripolo en cambio con tres dipolos semicirculares cruzados. Otro tipo de radiadores de banda angosta son aquellos que cuentan con dos dipolos elicoidales; pero los más comunes, por diseño, eficiencia y costos están formados por uno o dos anillos paralelos en cuyas terminaciones tienen dos brazos

perpendiculares a los anillos, simulando un dipolo vertical complementario; este tipo de radiadores son conocidos comercialmente como Radiadores de Alta Penetración.

A continuación, en la figura 1.1 se presentan algunos diseños de las antenas descritas en el párrafo anterior, y en la figura 1.2 sus respectivos diagramas circuitales equivalentes.

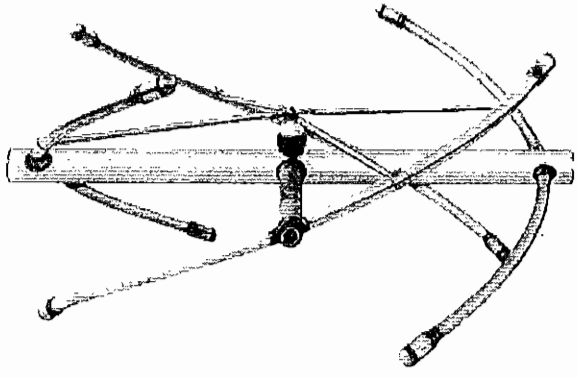


Fig. 1.1.a. Antena Cuadrapolo

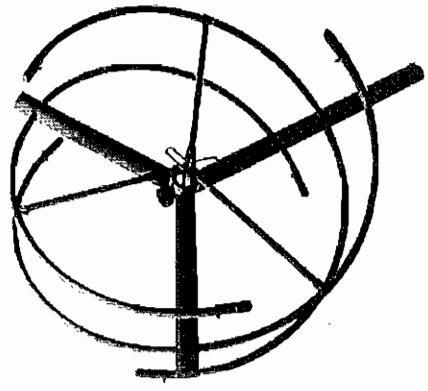


Fig. 1.1.b. Antena Tripolo

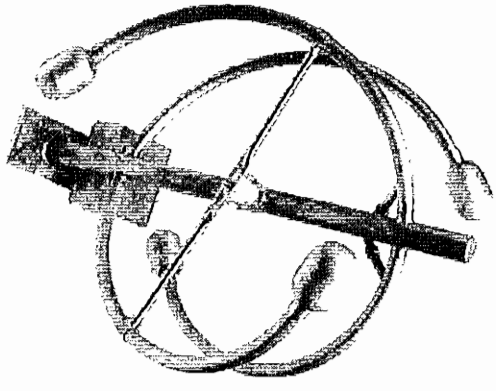


Fig. 1.1.c. Antena Dipolo Elicoidal

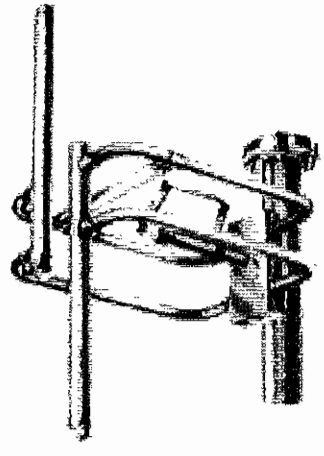
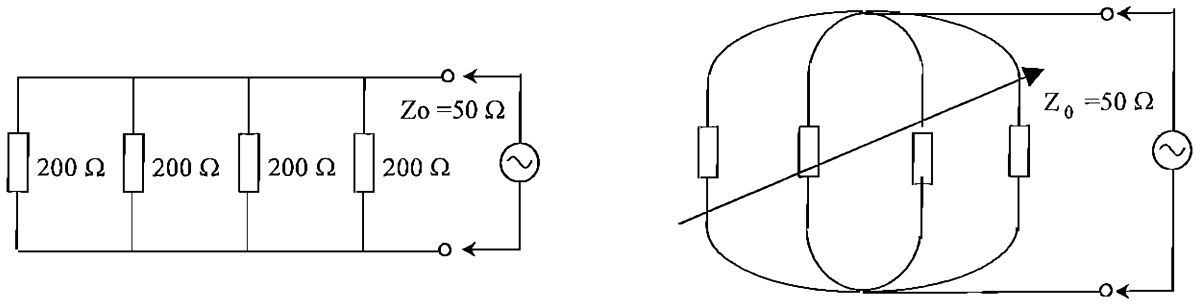


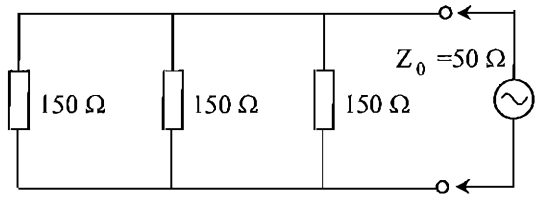
Fig. 1.1.d. Radiador de Alta Penetración

Fig. 1.1.- Varios tipos de antenas FM de fabricación extranjera y nacional

Antena Cuadrapolo :



Antena Tripolo :



Antena Dipolo :

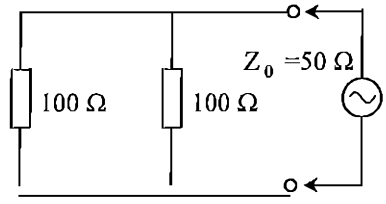


Fig. 1.2.- Diferentes modelos de antenas FM con su diagrama circuital equivalente

Los diseños presentados anteriormente, por sus dimensiones físicas implican una baja resistencia de radiación, lo cual se traduce en un alto factor de calidad, haciendo que la antena sea muy selectiva, pero con una respuesta de frecuencia lo suficientemente necesaria para mantener las características de radiación en un margen de 200 KHz. Por esta razón, cada antena debe ser sintonizada a la frecuencia de transmisión, convirtiéndose en una antena de banda angosta. No obstante, variando las dimensiones físicas de los dipolos o utilizando stubs en sus extremos terminales, estos pueden ser ajustados para cualquier frecuencia dentro de la banda de 87.5 – 108 MHz. La baja resistencia de radiación se debe a que las dimensiones de estas antenas se hallan relacionadas con $\lambda/4$.

Una ventaja de la alta selectividad de los radiadores es que se consigue un excelente acoplamiento de impedancias, obteniéndose valores de VSWR inferiores a 1.2.

Los Radiadores de Alta Penetración son los más utilizados en nuestro país, pues además del aspecto económico y facilidad de montaje, sus características limitan considerablemente cualquier radiación fuera de banda; además son el prototipo representativo de la familia de radiadores especialmente en lo que tiene que ver con los patrones de radiación vertical y horizontal. La ganancia típica de estas antenas es muy baja debido a que sus dipolos de radiación omnidireccional están constituidos por elementos en ambos sentidos de polarización, alcanzando iguales valores de ganancia de potencia tanto en horizontal como en vertical.

1.1.2 ANTENAS PARA FM DE BANDA ANCHA

Las antenas FM de banda ancha se hallan generalmente constituidas por un dipolo en polarización vertical y un reflector; por lo tanto se trata de antenas directivas con mayor ganancia que los radiadores simples. El incremento del ancho de banda de las antenas se consigue bajando el factor de calidad, es decir, incrementando la resistencia de radiación, por lo cual se utilizan elementos mecánicos de mayores dimensiones físicas, relacionados con $\lambda/2$.

El hecho de poseer un elemento reflector sin directores, le da a la antena una cierta similitud con las antenas tipo Yagi-Uda, por lo cual su análisis y descripción bien podrían acomodarse a este modelo. Lo que el diseñador considera para esta antena es reducir al máximo la directividad, eliminando todo elemento parásito y utilizar materiales altamente tratados, por lo cual estas antenas tienen un mayor costo que los radiadores simples.

La relativa alta resistencia de radiación y consecuentemente baja selectividad se mantiene estable dentro de la banda de frecuencias de transmisión,

haciendo que se tenga un mismo grado de acoplamiento sin necesidad de realizar ajustes mecánicos de sintonía; el resultado de este acoplamiento en relación a los radiadores de banda angosta se traduce en un VSWR algo superior, pero de ninguna manera considerable.

Otras variaciones de esta antena consisten en cambiar el reflector vertical por una pantalla reflectora para facilidad de montaje mecánico en la torre y para evitar las radiaciones laterales; también algunos modelos añaden un único elemento director para mayores requerimientos de ganancia, y por último, tanto al elemento alimentado como al director se les da una estructura de dipolos cruzados ó dipolos en V, para simular la polarización circular. Las ganancias típicas de estas antenas oscilan entre 2 y 7 dBd.

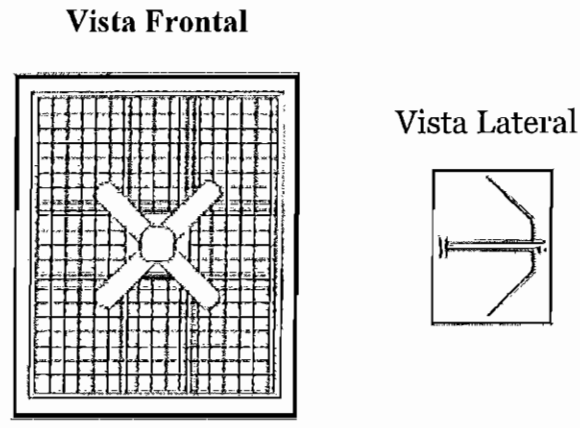


Fig. 1.3.- Antena de FM con pantalla reflectora y dipolos cruzados

1.1.3 INCLINACIÓN MECÁNICA PARA UN SISTEMA RADIANTE FM

Un sistema radiante de haz directivo puede ser diseñado para un óptimo apuntamiento del lóbulo horizontal principal desde el sitio de transmisión hacia las poblaciones que se desea cubrir; de igual manera, se puede optimizar el apuntamiento del lóbulo principal en radiación vertical desde un sitio de transmisión con altura efectiva determinada, más aún si se tiene un arreglo formado por varias

antenas alineadas verticalmente con un lóbulo de radiación muy estrecho en el plano vertical, que podría perjudicar la radiación si no se tiene un apuntamiento adecuado.

En este sentido, y ante la imposibilidad de efectuar alguna maniobra estructural en la torre que contiene el sistema radiante, este debe ser ubicado sobre un herraje mecánico que provea el ángulo de inclinación deseada a todo el conjunto; en todo caso, el sistema de antenas continuará alineado y el patrón de radiación mantendrá sus características en relación al eje soporte o herraje mecánico.

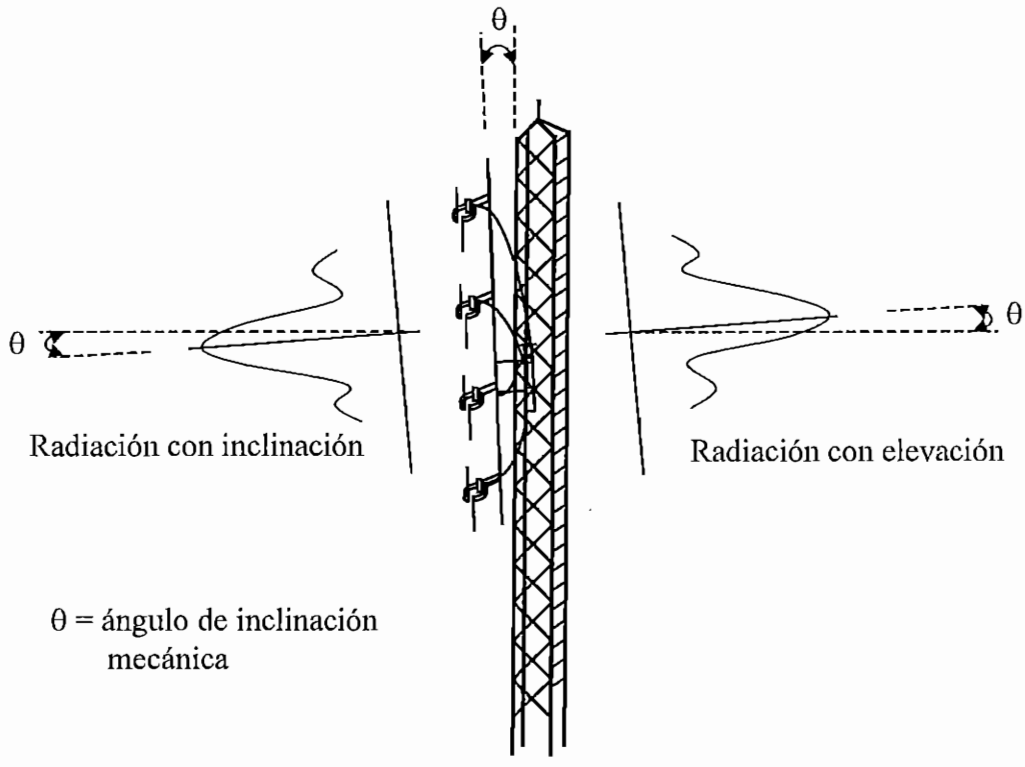


Fig. 1.4. Inclinación Mecánica de un sistema radiante para FM

Al hablar de antenas FM de radiación omnidireccional, la inclinación mecánica es inadecuada por cuanto dicha inclinación desplazará el patrón de radiación vertical en la dirección hacia la cual está orientado el eje de alineación de las antenas, mas en la dirección diametralmente opuesta se efectuará una

elevación del patrón de radiación; y como se supone que un sistema radiante se encuentra en un sitio de elevada altitud relativa respecto de las poblaciones a cubrir, se espera que la inclinación sea común a todo el patrón de radiación. Por tanto una inclinación mecánica es admisible solamente para antenas de haz directivo, provistas con elemento o pantalla reflectora y para satisfacer la cobertura de sectores de población únicos y muy bien localizados .

1.1.4 INCLINACIÓN ELECTRÓNICA PARA UN SISTEMA RADIANTE F.M.

Es una muy útil y eficaz herramienta de trabajo para dotar de inclinación homogénea al lóbulo de radiación transmitido, consiguiendo con esto generar un cono de cobertura en donde se concentrará mayormente la intensidad de señal irradiada.

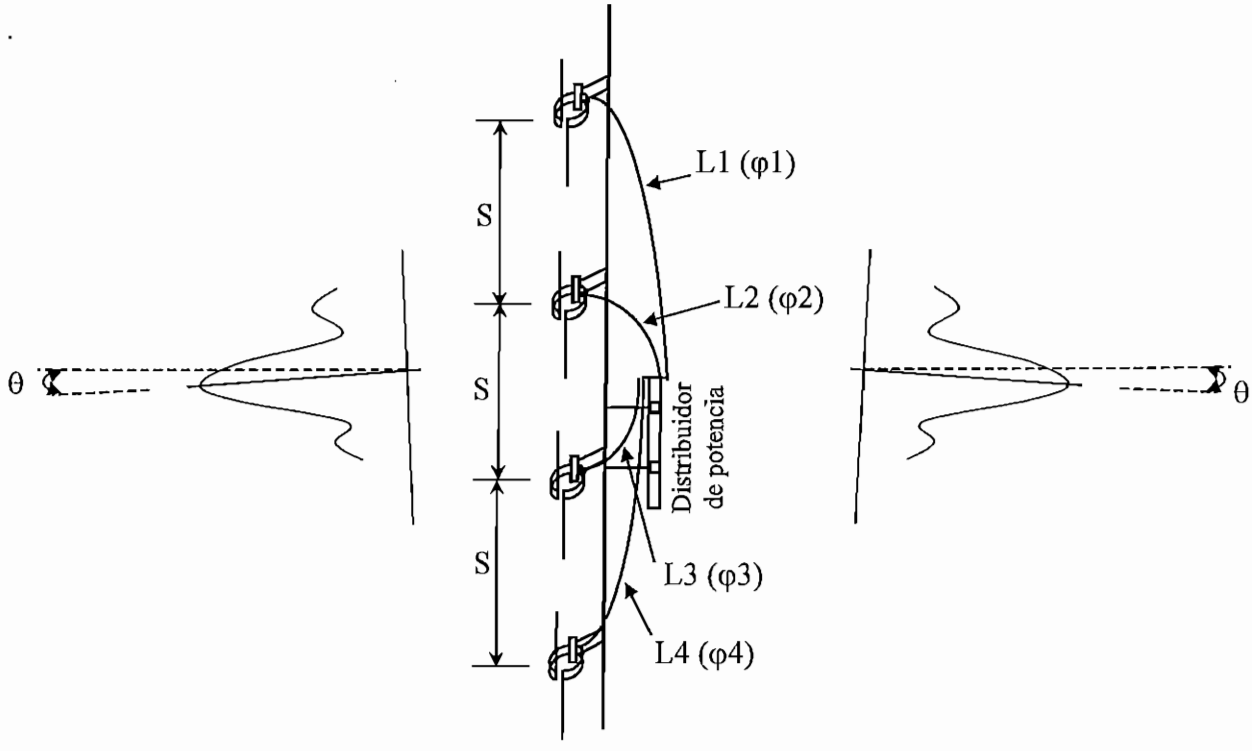


Fig. 1.5.- Inclinación Electrónica de un Sistema Radiante de FM

La inclinación electrónica (TILT) se consigue en base al manejo del valor del desfase con que se alimenta cada una de las antenas que constituyen el

arreglo. Se busca que la antena superior radie antes que la segunda y esta a su vez de su inmediata inferior, consiguiendo un frente de onda con dirección controlada en función de los grados de inclinación deseada. Una descripción de este comportamiento se muestra en la Fig. 1.5

Por lo tanto, estos grados de inclinación guardarán entonces una relación directa con los grados eléctricos de desfase, por lo que serán calculados en forma matemática en base al siguiente análisis:

Partiendo del análisis de la ecuación (1.1) podremos determinar el desfasamiento que estará expresado en grados eléctricos, entre los campos irradiados por una primera antena con respecto a una segunda de iguales características, e instaladas con una cierta separación predeterminada entre ellas.

$$\varphi = 360^{\circ} \cdot \frac{S}{\lambda} \cdot \text{Sen}\, \theta_{\nu} \qquad (1.1)$$

donde: φ = grados eléctricos de desfase

θ_{ν} = el ángulo de inclinación respecto al plano horizontal.

S = separación mecánica entre los dos centros de radiación de las antenas contiguas.

Para proceder a la elaboración de los latiguillos de interconexión, se determina primero la longitud de los cables en base a la necesidad de traducir estos grados eléctricos a longitudes físicas, donde será necesario considerar también la velocidad de propagación del coaxial a utilizar, basándose además en el hecho de que su impedancia por facilidad sea de 50 Ohms, todo esto basado en el análisis de la siguiente relación directa:

λ – 360°

X - φ (grados eléctricos de desfase)

donde: $$\lambda = \frac{300.Kv}{f(MHz)}$$

K_V = Constante de velocidad de la línea coaxial a utilizar.

Tendremos por resultado:

$$X = \frac{\lambda.\varphi}{360°}$$

Expresado en metros y es la diferencia en longitud correspondiente a los respectivos grados eléctricos.

El método más acertado para construir en forma impecable los cables de alimentación y conseguir con exactitud las fases correctas requeridas, es utilizando un equipo adecuado como lo es el analizador de redes, que marcará con precisión extrema los diferentes grados de desfase de cada uno de los cables, para lo cual uno de ellos deberá ser considerado como patrón (preferentemente el de fase 0°) y el resto serán relativos a éste.

1.1.5 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS Y ACCESORIOS PARA UN SISTEMA RADIANTE F.M.

Un Sistema Radiante a más de las antenas y los cables de alimentación ya mencionados, necesita indispensablemente un componente que permita repartir la potencia generada por el equipo transmisor y encaminarla hacia cada una de las antenas para su irradiación, éste elemento por su función misma lleva el nombre genérico de distribuidor de potencia, el que puede ser configurado de diferente naturaleza, por ejemplo, utilizando cables interconectados por derivaciones sencillas, empleando líneas de impedancia adecuada en función al número de antenas por alimentar, acopladores direccionales o por elementos pasivos de mayor complejidad.

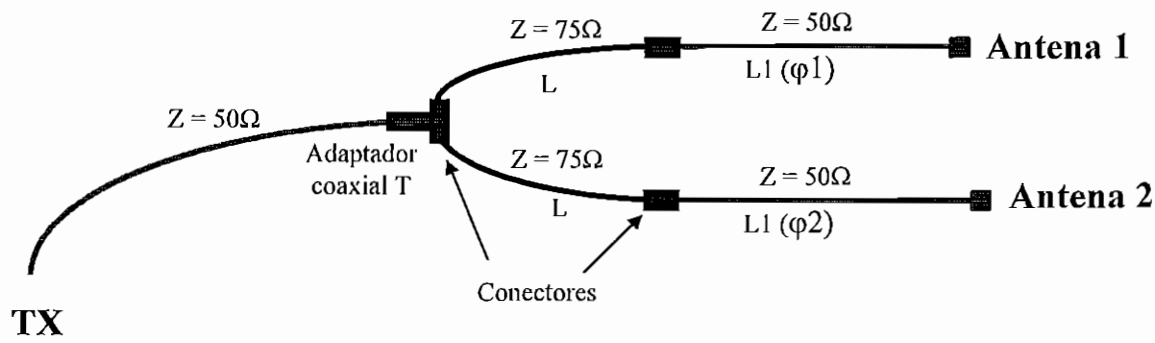


Fig. 1.6.- Distribuidor de potencia en base a cables coaxiales de longitud λ/4

En el caso de la figura 1.6 se dispone de dos antenas que deberán ser alimentadas simétricamente y para lo cual se aplica el método de transformación de impedancias en base a secciones de línea coaxial de longitud λ/4, para conseguir esta distribución se deberán acoplar las impedancias de salida de 50 Ω a 100 Ω en el punto de unión de los dos cables divisores, aplicando la siguiente relación:

$Z_0 = \sqrt{50.100}$ Z_0 : Impedancia de la línea coaxial de acoplamiento

tendremos por resultado la impedancia de esta línea y será igual a 70,71 Ω, que debido a no disponer de una cable de igual impedancia generalmente se emplea uno de 75 Ω.

Luego de aplicada esta transformación de impedancias simultanea, tenemos en el punto de unión el resultado del paralelo de dos cargas resistivas de 100 Ω y será la impedancia de entrada del sistema distribuidor igual a 50 Ω.

Al no ser el resultado de una aplicación matemática exacta, este método tiene poca aceptación en proyectos de gran envergadura, pero debido a su bajo costo de inversión se lo utiliza recurrentemente en instalaciones pequeñas, o en sistemas de comunicaciones con márgenes de confiabilidad altos.

Podrá también configurarse un distribuidor de potencia en base a la utilización de acopladores direccionales, pero mejor aún si el distribuidor de potencia es construido en base al trabajo de líneas coaxiales fabricadas de la longitud e impedancia adecuadas, en función de la frecuencia de operación y del número de antenas constitutivas del arreglo, a las cuales siempre deberán alimentarse con la fase adecuada y preferiblemente con distribución simétrica de potencia.

Acoplamiento en base al principio de transformación de impedancias con secciones de longitud $\lambda/4$.

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}.Z_{out}}$$

donde: $Z_{in} = 50\ \Omega$

$Z_{out} = 25\ \Omega$ (para dos salidas)

$Z_0 = 35{,}355\ \Omega$

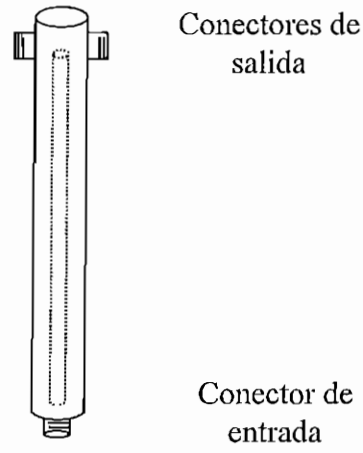


Fig. 1.7.- Distribuidor de potencia coaxial de sección $\lambda/4$.

Una vez conocida la impedancia de la línea coaxial de acoplamiento, el siguiente paso será su construcción, para lo cual se elegirá el diámetro interno (D_i) de un tubo con características comunes y tras aplicar la ecuación (1.2), se podrá determinar el diámetro externo (d_e) del conductor central, quedando totalmente diseñado el cuerpo principal de un distribuidor de potencia.

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}}.\log\frac{D_i}{d_e} \qquad (1.2)$$

donde: ε = constante dieléctrica

D_i = diámetro del conductor externo

d_e = diámetro del conductor interno

Un distribuidor de potencia deberá ser construido considerando primero la potencia de RF que recibirán proveniente del transmisor, con ello se determinará el calibre del conector de entrada, y de igual manera se evaluará la potencia repartida hasta cada una de las antenas, definiéndose el calibre de sus conectores de salida, por lo tanto, existirá una extensa gama de distribuidores de potencia para que se ajusten a cada caso particular requerido.

Una variación más elaborada de los distribuidores de potencia coaxiales son aquellos compuestos por mas de una sección de acoplamiento de impedancias de longitudes λ/4, consiguiendo con esto el denominado distribuidor de banda ancha (Fig. 1.8), debido a su capacidad gradual de acoplar en forma suave (escalonada) la impedancia de entrada con la de salida, presentando por este motivo una mas amplia respuesta de frecuencia de operación.

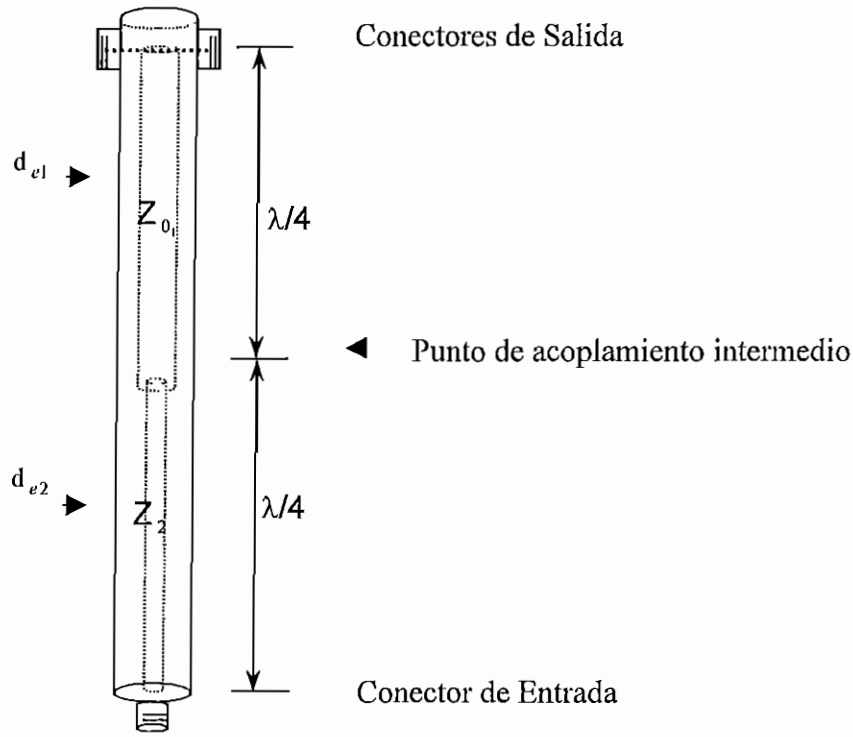


Fig. 1.8.- Distribuidor de potencia coaxial de banda ancha con dos secciones λ/4.

Para proceder con el cálculo de los diámetros de los conductores internos primeramente se determinará una impedancia intermedia (de paso), para lo cual resulta cómodo fijarla como un promedio de las impedancias de entrada y de salida, por ejemplo, para un acoplador de dos salidas se deberá acoplar la entrada de 50 Ω con la impedancia resultante a la salida de 25 Ω, por tanto la impedancia intermedia se la fijaría en 37,5 Ω y por consiguiente, la primera sección adaptaría los 50 Ω de entrada a 37,5 Ω y en la segunda este valor se adaptaría a los 25 Ω de salida del distribuidor de potencia de banda ancha.

Las expresiones matemáticas para el diseño de este distribuidor serían las mismas, conservando el mismo diámetro del conductor externo y calculando por separado los dos diámetros conductores internos, ambos de longitud λ/4.

$$Z_{01} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}}.\log\frac{D_i}{d_{e1}} \qquad Z_{02} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}}.\log\frac{D_i}{d_{e2}}$$

donde: ε = constante dieléctrica

D_i = diámetro del conductor externo

d_{e1} = diámetro del conductor interno 1

d_{e2} = diámetro del conductor interno 2

Un aspecto de menor importancia que no se había mencionado pero que es necesario considerar, es la colocación física de las antenas en la torre seleccionada, para lo cual se requiere analizar el efecto que ella representa en el patrón de radiación. En todos los casos el diseño debe contemplar el análisis de este particular y minimizar su efecto negativo hacia las zonas de interés, pudiendo mejor aún aprovechar su presencia para que en cierta forma trabaje como elemento reflector y concentre de forma conveniente la radiación hacia los sectores poblados. Este análisis se lo hace principalmente para antenas de TV en el Capítulo II.

1.1.6 SISTEMAS RADIANTES F.M. TÍPICOS PARA COBERTURAS LOCALES EN LA COSTA Y ORIENTE

Ordinariamente la cobertura en una zona del litoral corresponde a servir territorios relativamente planos con pocas irregularidades de terreno y por tanto escasas de cerros con alturas importantes que faciliten la posibilidad de servir extensas zonas, de allí la importancia de considerar la implementación de torres de gran tamaño, las que proporcionan la altura necesaria para mejorar las condiciones de transmisión, lográndose con esto ubicar los Sistemas Radiantes de forma mas favorable para conseguir una mejor radiación.

De preferencia este tipo de torres se instalarán en una de aquellas pequeñas elevaciones que por su mejor ubicación se encuentren bien localizadas en el interior de la zona a servir, lo que asegurará en gran medida el buen resultado de cobertura y la mejor calidad de señal brindada a los receptores dispersos en el sector.

Otro aspecto importante es la consideración del suministro de energía, la que de preferencia deberá estar disponible en el punto de transmisión elegido, a mas de evaluar que exista un acceso al menos medianamente transitable a lo largo de todo el año; debido principalmente al mantenimiento regular que debe estar sujeto todo Sistema de Transmisión en general.

El número de antenas para un arreglo típico de F.M. para servir a una extensa zona plana estará compuesto de más de 4 anillos y hasta un total de 8 anillos. Lo mas común en nuestro medio por razones prácticas ha sido la utilización de 5 Radiadores de F.M. y en contados casos hasta 6 de éstos, condicionado muchas veces la configuración final a situaciones netamente económicas, ya sea por no incrementar exageradamente la inversión inicial por el mayor número de ellas, o también porque la potencia de RF entregada por el transmisor no requiere ser distribuida en mas de 5 ó 6 niveles de antenas.

Como consecuencia de agregar más antenas en un arreglo obtendremos una mayor ganancia final, pero paralelamente se estrechará el lóbulo vertical principal, lo que hace necesario estudiar las particularidades geográficas de las diferentes zonas pobladas a lo largo del área de cobertura planeado, y de esta forma evaluar si alguna de ellas resulta perjudicada con el incremento en el número de antenas escogido, o por el contrario esta iniciativa resulta innecesaria y el número mínimo de ellas brindará un lóbulo de cobertura satisfactorio, llenando homogéneamente con señal la mayor parte del territorio, sin descuidar zonas de importancia sobre todo en sus contornos.

1.1.7 SISTEMAS RADIANTES F.M. TÍPICOS PARA COBERTURAS LOCALES EN LA SIERRA

Debido a nuestra topografía, la zona Andina está constituida por las denominadas "hoyas", las que se encuentran delimitadas principalmente entre las principales cordilleras y separadas por los llamados "nudos", lo cual contribuye a configurar zonas totalmente delimitadas que definen sectores independientes de cobertura para Sistemas Radiantes ubicados preferentemente en los contornos de cada una de ellas.

Bajo esta consideración, resulta bastante lógico concluir que un arreglo de antenas no requiere un gran número de ellas, por tanto tradicionalmente se han implementado agrupamientos de 4 radiadores F.M., que dan por resultado un buen compromiso entre ganancia total con un ancho del lóbulo vertical satisfactorio, además de un conveniente costo de inversión.

Al disponer de 4 anillos operando como un arreglo típico de antenas para cobertura al interior de regiones montañosas, contamos con una ganancia total algo superior a los 3 dB. que sumado al empleo de equipos transmisores relativamente pequeños (de bajas potencias), nos determinará que el requerimiento de las líneas coaxiales de transmisión y sus conectores sean de

bajo y mediano calibre, lo que representa ser de gran beneficio ante la necesidad generalizada de optimizar recursos y obtener el menor costo de inversión de una manera técnica.

Para ciertos casos muy particulares en sectores de la Sierra se requiere el empleo de pantallas reflectoras con el propósito de impedir en lo posible la posibilidad de invadir con señal no deseada a zonas colindantes, en donde no se dispone de la respectiva concesión de cobertura, pero que debido a la ubicación geográfica favorable, no se presenta otra alternativa para impedirlo.

A pesar de ser ésta una solución muy práctica y recurrente, no proporciona la eficacia deseada puesto que el elemento pasivo que es colocado físicamente para reflejar la señal transmitida, no impide que ella se filtre en un porcentaje bastante apreciable, por tanto se podrá detectar su presencia en aquellos sectores mas expuestos donde se quería evitar que llegue, por tanto lo recomendable para estos casos será recurrir a una ubicación más conveniente para el sistema de transmisión, antes que invertir en este tipo de solución que no deja de ser válida aunque no muy eficiente.

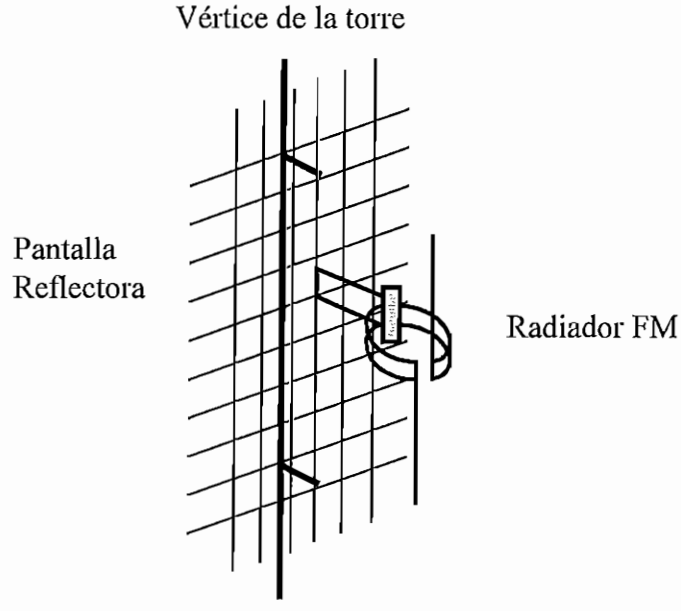


Fig. 1.9.- Radiador FM con pantalla reflectora que la convierte en antena directiva.

En la Fig. 1.9 se puede apreciar la presencia del panel reflector operando en conjunto con el radiador de FM.

Un análisis mas extenso sobre el comportamiento de este tipo de antenas operando con pantalla reflectora, se presenta en el capitulo III donde se detallan sus características de radiación y sus generalidades.

CAPITULO II :

CONSIDERACIONES TECNICAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS RADIANTES DE TELEVISIÓN VHF Y UHF.

2.1.- CONSIDERACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA SISTEMAS RADIANTES DE TELEVISIÓN VHF

Al igual que lo recomendado para la cobertura de Sistemas Radiantes de F.M., deberemos tomar en cuenta las consideraciones básicas de selección ya mencionadas, para determinar con éxito el lugar mas adecuado para la instalación de un nuevo Sistema de Transmisión de T.V.

Sin embargo de ello, existe una gran diferencia en los criterios que ahora deberán aplicarse con respecto a lo analizado anteriormente, pues es necesario tomar en cuenta que en su gran mayoría las antenas de T.V. son directivas y concentran su patrón de radiación únicamente hacia la posición de enfoque, por tal razón en el diseño de arreglos de antenas para servir coberturas con más de una dirección de interés, se deberán ubicar antenas en las distintas caras que disponga la torre, las que deberán coincidir con las diferentes direcciones de coberturas deseadas.

Bajo esta consideración no podrán utilizarse torres de sección estrecha, ya que de ser así, a su alrededor no cabrían las antenas en el caso de que deban instalarse a una misma altura. Se necesitará entonces incluir dentro de las condiciones de diseño del proyecto, el respectivo análisis para determinar el ancho mínimo de torre requerido, y complementariamente en base a otros análisis que explicaremos mas adelante, establecer el ancho máximo de ella, evitando con esto provocar irregularidades severas al contorno de radiación.

Con este análisis previo, se conseguirá que la torre no represente un limitante físico para el patrón de radiación deseado, impidiendo instalar el arreglo de antenas ó provocando mínimos de señal exagerados en la dirección de yuxtaposición de dos antenas contiguas.

Para una mejor comprensión de lo indicado, en la figura 2.1 se reproducen ejemplos demostrativos sobre la utilización de torres inadecuadas Fig. 2.1 b) y c), comparándolas con una de dimensiones adecuadas Fig. 2.1.a), la que ha sido diseñada considerando todos estos aspectos y que favorece al mejor rendimiento del Sistema Radiante.

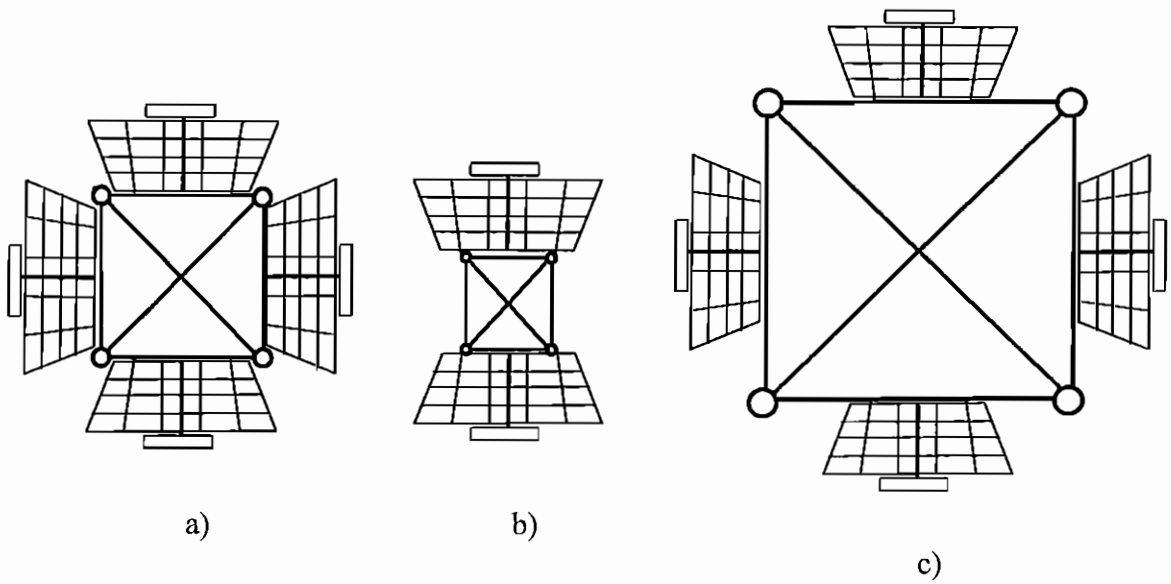


Fig. 2.1.- Importancia en la elección de una torre adecuada para la transmisión de TV
a) Torre seleccionada técnicamente
b) y c) Torres inadecuadas para la operación de Antenas de TV

2.1.1 ANTENAS PARA T.V. / VHF EN BANDAS I Y III

Como una consideración complementaria a lo ya señalado anteriormente, primeramente se deberá tomar en cuenta el tamaño físico de las antenas de T.V., las que tienen tamaños muy variados dependiendo principalmente de la frecuencia de operación.

En televisión VHF las frecuencias de los canales disponibles se encuentran encasilladas en las denominadas bandas, siendo éstas las siguientes: la Banda I (Ch 2 – Ch 6) y la Banda III (Ch 7 – Ch 13), y cada canal ocupa un ancho de 6 MHz., de acuerdo a la siguiente distribución:

Banda I: Ch 2 : 54 – 60 MHz.
Ch 3 : 60 – 66 MHz.
Ch 4 : 66 – 72 MHz.
Ch 5 : 76 – 82 MHz.
Ch 6 : 82 – 88 MHz.

Banda III: Ch 7 : 174 – 180 MHz.
Ch 8 : 180 – 186 MHz.
Ch 9 : 186 – 192 MHz.
Ch10 : 192 – 198 MHz.
Ch 11 : 198 – 204 MHz.
Ch 12 : 204 – 210 MHz.
Ch 13 : 210 – 216 MHz.

A consecuencia de la relativa baja frecuencia del rango de VHF en la Banda I, la dimensión de las antenas son considerablemente grandes y voluminosas, por consiguiente presentan un peso importante y la torre que albergará un arreglo de estas antenas, deberá ser también de gran dimensión y suficientemente reforzada para soportar el peso propio de todo el Sistema

Radiante, y la gran fuerza de viento que su presencia generará en determinadas épocas de año, por consiguiente todas estas consideraciones serán analizadas cuando se diseñe un arreglo de antenas.

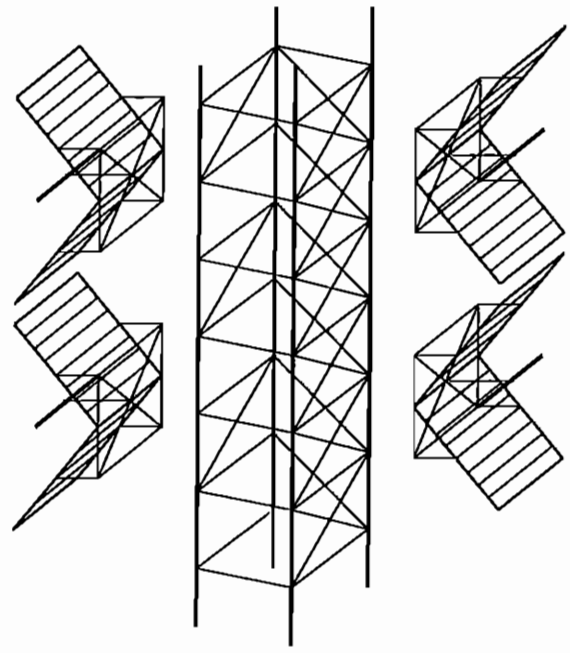


Fig. 2.2.- Antenas de Banda III sobre las caras de una torre de dimensiones apropiadas.

Consecuentemente dentro del equipo de trabajo no deberá faltar un profesional en estructuras metálicas que asegure el mejor de los resultados mecánicos en la instalación, tanto por la resistencia de los materiales empleados en las antenas como por la fijación segura de todas ellas hacia la torre.

Las consideraciones para la operación con antenas de canales altos correspondientes a la Banda III, serán algo diferentes debido a la mayor frecuencia de trabajo, el tamaño de éstas será mucho más pequeño y relativamente más cómodas de manipular, las dimensiones de la torre también serán menores y la fuerza de viento disminuirá, debido a la inferior superficie de choque presentado por el material empleado en sus estructuras, por tanto, la complejidad mecánica para una instalación de estas características disminuye

considerablemente, reduciéndose también el costo final de inversión en lo referente al equipo mecánico requerido.

En el aspecto estrictamente técnico, los arreglos de antenas de T.V. para estas dos Bandas de trabajo (Banda I y Banda III), cumplen exactamente las mismas consideraciones de diseño en cuanto al número de éstas, ya sea en lo referente a un agrupamiento vertical como en la elección de las direcciones apropiadas para conseguir la mejor radiación hacia los diferentes sectores de interés, aspecto que se lo analizará formalmente en el Capítulo III y podrá ser experimentado en el programa de computador desarrollado en esta Tesis.

2.1.2 INCLINACIÓN MECÁNICA PARA UN SISTEMA RADIANTE DE T.V./VHF

En el trabajo con las antenas de T.V. la inclinación mecánica no resulta recomendable debido a la complicación que esto representa dadas las dimensiones físicas de sus estructuras. Lo común es recurrir en la mayoría de los casos a la inclinación electrónica, lógicamente cuando se dispone de más de una antena en uno de los lados de radiación.

Es necesaria para el caso en que alguna de las direcciones de radiación contenga tan solo una antena y el área correspondiente a servir se encuentre al pie del Sistema Radiante, no habrá mas remedio que inclinar mecánicamente dicha antena y enfocarla hacia esta zona de interés próxima al punto de transmisión.

Se tomará esta resolución, siempre y cuando el caso particular lo justifique plenamente, luego de considerar inclusive, si el lóbulo radiado en el plano vertical es insuficientemente ancho como para garantizar una buena señal en aquel ángulo y dirección, por tanto, que su empleo brinde una solución práctica en busca de optimizar la cobertura.

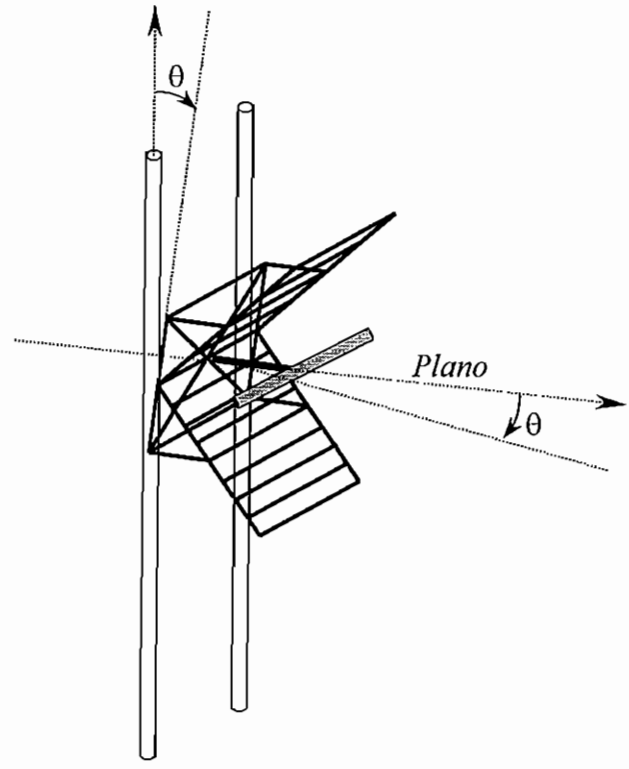


Fig. 2.3.- Inclinación mecánica para una antena de TV en la dirección requerida.

2.1.3 INCLINACIÓN ELECTRÓNICA PARA SISTEMAS RADIANTES DE T.V./VHF

Este recurso técnico como ya se lo indicó al analizar su empleo en las antenas de F.M., se basa principalmente en la combinación ordenada de fases eléctricas con las que se alimentan cada una de las antenas en un arreglo vertical, en particular de una de las caras de radiación. Se lo emplea en la generalidad de casos en lugar de la inclinación mecánica, para inclinar el lóbulo vertical del arreglo hacia la zona de interés próxima al punto de transmisión.

Existe por tanto una gran diferencia con respecto a los Sistemas de antenas para FM, puesto que para televisión las antenas en su gran mayoría son directivas y debemos considerar los diferentes lados de interés donde se colocarán los arreglos de ellas, evaluando la ganancia requerida hacia cada lado, el ancho del lóbulo vertical correspondiente, y complementariamente se analizará

en forma individual la inclinación electrónica apropiada para cada uno de los lados de interés, dependiendo siempre de la topografía y disposición geográfica de las zonas a servir.

Para el trabajo con antenas de TV en VHF, las recomendaciones para la construcción de los cables de interconexión (latiguillos) serán idénticas a lo ya señalado en la aplicación anterior con antenas de FM, de igual forma se recomienda el uso del equipo de trabajo más exacto y adecuado para dotar de las fases de trabajo necesarias para cada una de las antenas, y así obtener el comportamiento deseado del arreglo y el mejor resultado de cobertura con la señal transmitida.

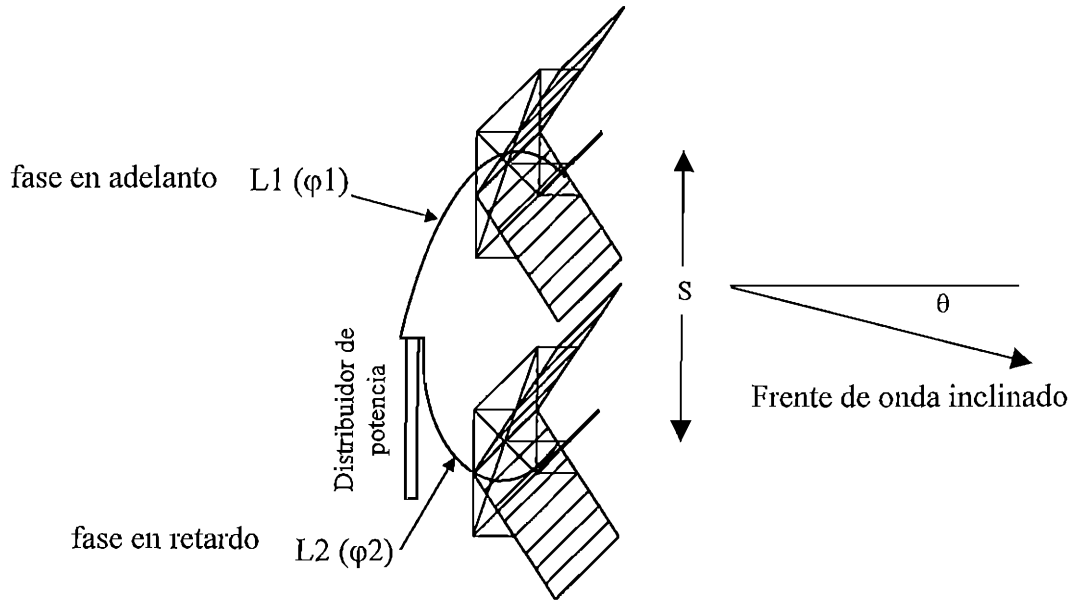


Fig. 2.4.- Inclinación electrónica del arreglo de antenas mediante fases diferentes

La base teórica para aplicar este método de solución en coberturas de interés muy próximas, será igual a la señalada en el primer capítulo(1.1.4) y sustentada en la ecuación (1.1):

$$\varphi = 360^{o} \cdot \frac{S}{\lambda} \cdot \operatorname{Sen} \theta_{r},$$

donde: θ_{γ} = el ángulo de inclinación respecto al plano horizontal.

φ = grados eléctricos de desfase.

S = separación mecánica entre los dos centros de radiación de las antenas contiguas.

2.1.4 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS Y ACCESORIOS PARA UN SISTEMA RADIANTE DE T.V. / VHF

En el funcionamiento del arreglo de antenas requeriremos de uno o varios distribuidores de potencia, los que deberán ser capaces de alimentar en forma equilibrada al total del número de antenas planificado, por este motivo se buscará preferentemente configurar una distribución simétrica en los diferentes puntos de repartición de potencia.

El empleo de distribuidores asimétricos es posible pero acarrea complicaciones en el diseño y lo que es mas grave en el resultado final del arreglo, por lo que generalmente los fabricantes de antenas sugieren evitarlos lo más posible, pero de ninguna manera se los descarta ya que proporcionarían una alternativa de solución en un determinado momento, si un caso particular lo requiere.

De igual forma a lo mencionado en el análisis del capítulo primero, los divisores de potencia pueden ser de diferente índole, siendo los más utilizados los llamados distribuidores de potencia coaxiales, sin descartarse el empleo de acopladores direccionales como lo prefieren ciertos fabricantes de antenas o en algunos casos por economía, mediante conexión de cables con las impedancias adecuadas, tal que permitan acoplarse convenientemente tanto a la entrada como en sus salidas.

2.1.4.1 Relleno de nulos :

Un aspecto muy importante y complementario para los Sistemas Radiantes de T.V. en VHF, representa la posibilidad de perfeccionar el patrón de radiación para conseguir optimizar la cobertura en todos sus puntos, se basa principalmente en lo referente al análisis del lóbulo vertical final, implementando el denominado relleno de nulos (null fill).

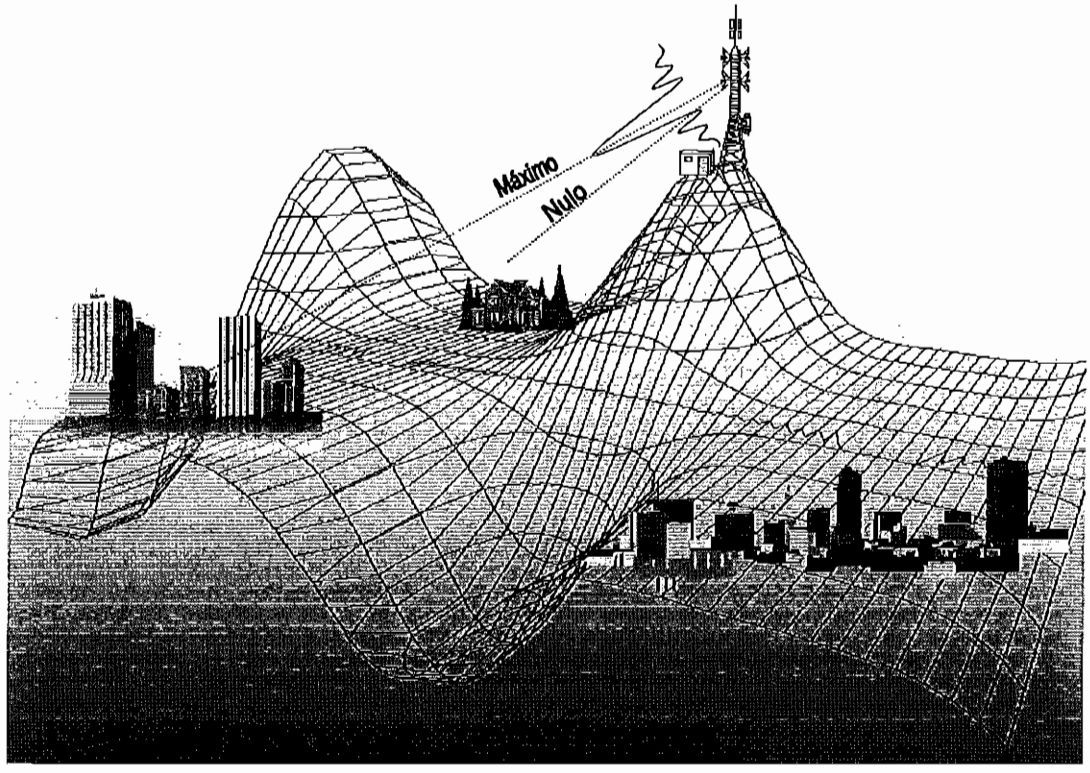


Fig. 2.5.- Importancia en la aplicación de relleno de nulos en un Sistema de Transmisión

En la figura 2.5 se aprecia un ejemplo claro de la problemática planteada y la necesidad de remediar los casos particulares que se presentan en las zonas próximas a un Sistema de Transmisión, en el caso de no hacerlo tendremos por resultado un nivel de señal muy bajo y por consecuencia un mal servicio.

Es bien conocido por teoría del apilamiento (arreglo) uniforme de dipolos (antenas), que se tendrán n-1 cantidad de nulos en el plano vertical, siendo n el número de dipolos (antenas) considerados. Al establecer matemáticamente la

posición en donde estarán situados estos nulos, y si determinamos que el primer nulo caerá sobre una zona de interés próxima, la aplicación de esta técnica evitará la posibilidad de no brindar un buen servicio en el interior de aquel sector.

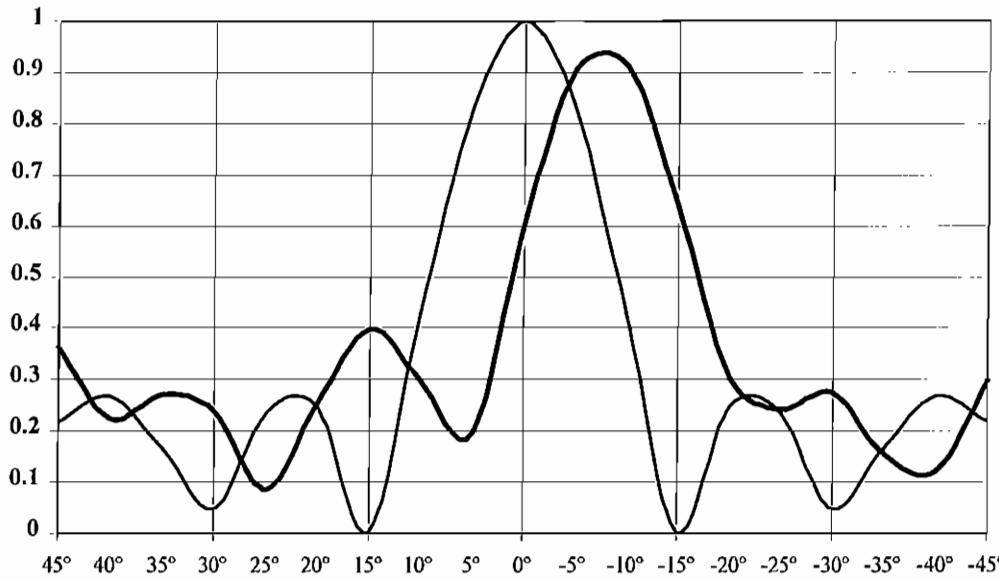


Fig. 2.6.- Representación del diagrama vertical de un arreglo uniforme de n dipolos
a) Diagrama con representación planar con inclinación y relleno

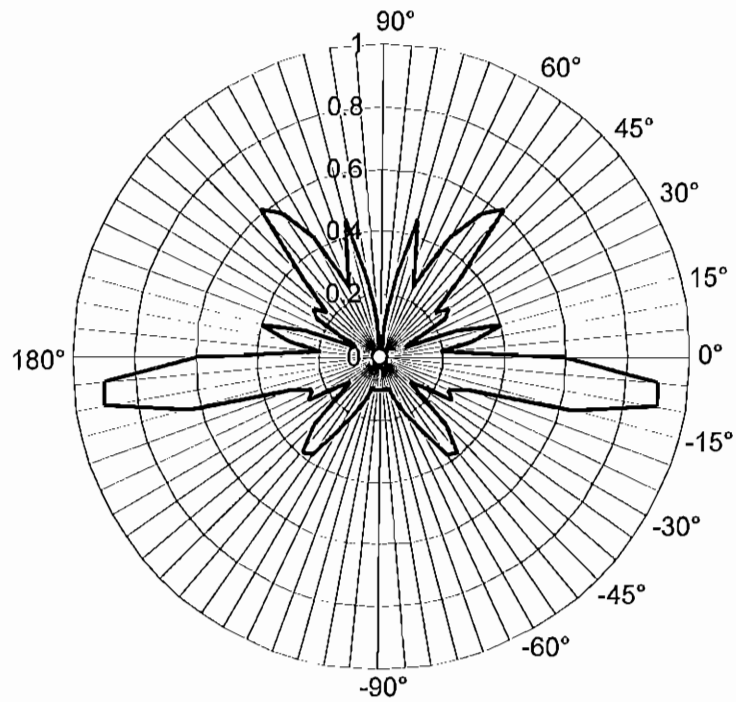


Fig. 2.6.- Representación del diagrama vertical de un arreglo uniforme de n dipolos
b) Diagrama con representación polar con inclinación y relleno

Para el análisis teórico de la posición de los nulos partiremos de la expresión del Campo Eléctrico para un arreglo de n elementos en línea:

$$E_{Total} = \frac{E_o \cdot (1 - e^{jn\varphi})}{(1 - e^{j\varphi})} \qquad (2.1)$$

$$1\text{-}e^{jn\varphi} = 1\text{-}(\text{Cos } n\varphi + j \text{ Sen } n\varphi)$$

$$\left|1 - e^{jn\varphi}\right| = 2 \text{ Sen} \frac{n\varphi}{2}$$

$$\left|1 - e^{j\varphi}\right| = 2 \text{ Sen } \frac{\varphi}{2}$$

La magnitud del Campo Eléctrico es:

$$\left|E_{Total}\right| = E_o \frac{Sen\frac{n\varphi}{2}}{Sen\frac{\varphi}{2}}$$

Donde: $\dfrac{Sen\frac{n\varphi}{2}}{Sen\frac{\varphi}{2}} \rightarrow$ factor del arreglo (lóbulo)

$E_o \rightarrow$ Contiene la amplitud y el factor de lóbulo de los elementos individuales

Si la fase en recepción $\rightarrow 0$

$\Rightarrow \varphi \rightarrow 0$

y por tanto:

$$\text{Sen}\frac{n\varphi}{2} = \frac{n\varphi}{2}$$

y : $\quad \text{Sen}\frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2}$

$$\Rightarrow \qquad E_{Total} = n.E_o$$

Para determinar la ubicación de los ángulos de mínima radiación (nulos): En la expresión (2.1) deberá cumplirse que $E_o = 0$

siempre y cuando: $e^{jn\varphi} = 1$ (pero $e^{j\varphi}$ no debe ser simultáneamente = 1)

$$n.\varphi = \pm 2\,k\,\pi, \quad \text{para } k = 1,2,3,....$$

$$\varphi = \pm \frac{2k\pi}{n} \quad \text{pero } \varphi = \beta\, d\text{Cos}\,\theta_{min} + \alpha$$

Si alimentamos con igual fase a los dipolos del arreglo: $\alpha = 0$

$$\beta\, d\text{Cos}\theta_{min} = \pm \frac{2k\pi}{n}$$

$$\text{Cos}\,\theta_{min} = \pm \frac{2k\pi}{n} \cdot \frac{1}{\beta.d} \quad \text{pero: } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\text{Cos}\,\theta_{min} = \pm \frac{k.\lambda}{n.d}$$

$$\text{Si: } d = \frac{\lambda}{2}$$

$$\theta_{min} = \text{Cos}^{-1} \pm \frac{2.k}{n}$$ para: k = 1,2,3,..... expresión que nos permite ubicar los nulos

En algunos casos se podrá solucionar la presencia de nulos en zonas de interés, variando el número de antenas para conseguir con esto que se desplacen las disposiciones geográficas de los primeros nulos, pero lo mejor será recurrir a la técnica del relleno de nulos, basada en la mezcla controlada de fases específicas para cada uno de los cables de alimentación, correspondientes a las antenas dispuestas en un arreglo vertical. Se logra de esta forma sin perjudicar la

característica de inclinación electrónica, el relleno en un porcentaje deseado principalmente del primer nulo y en menor proporción de los restantes.

Típicamente se obtienen rellenos del 5,10, 15 y 20 % , dependiendo de la intensidad de señal necesaria para satisfacer la cobertura del punto cercano con problemas.

Como consecuencia de ubicar señal en un sector donde debió estar presente un nulo, se sacrificará una similar cantidad de señal transmitida en el lóbulo principal, restándose con esto fracciones y hasta unidades de dB. respecto a la ganancia original del arreglo sin el relleno, por lo que debemos concluir que será indispensable llegar a un compromiso de sacrificio de potencia en el lóbulo principal, con respecto al relleno que quisiéramos implementar.

2.1.4.2 Relleno en el contorno:

A más de la posibilidad de mejorar el lóbulo vertical con el relleno de nulos, se requiere muchas veces conseguir una mejor homogeneidad en el contorno del lóbulo horizontal, para arreglos de dos, tres o cuatro direcciones de interés, para lo cual existe un método muy utilizado llamado de "paneles descentrados "que consiste en proporcionar a las antenas un desfase mecánico de 90 °, partiendo de la posición central de instalación en la respectiva cara de la torre, posteriormente para conseguir que las señales entregadas por las antenas colocadas en caras contiguas se sumen convenientemente en la posición de yuxtaposición, se alimenta a las antenas con un desfase eléctrico también de 90°, con lo que finalmente se consigue rellenar de mejor manera el lóbulo en la dirección mencionada.

Con la aplicación de este procedimiento se consigue un contorno mucho más homogéneo, principalmente en los casos en que estamos obligados a utilizar una torre con dimensiones superiores a las máximas recomendadas, para una

determinada frecuencia de trabajo, pues su presencia metálica provocaría una gran incidencia en el contorno del lóbulo horizontal figura 2.7. Una explicación extensa al respecto se lo hace en el capitulo III.

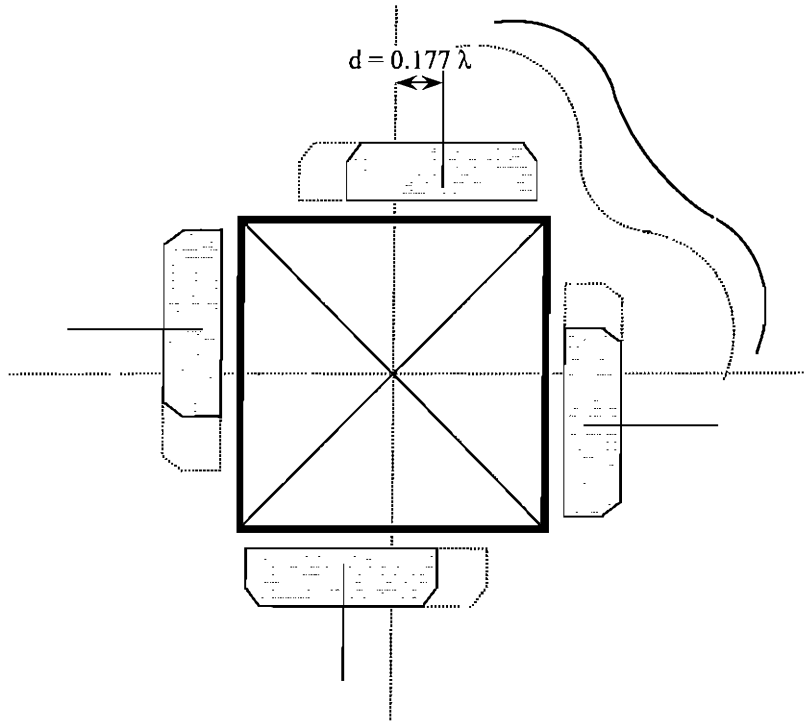


Fig. 2.7.- Sistema de antenas con paneles descentrados y alimentación en cuadratura

Por la extrema precisión con que deben ser realizados estos trabajos y la consecuente experiencia técnica requerida para encarar estas técnicas en el diseño de Sistemas Radiantes, se deberá desarrollar un análisis muy detenido y profundo, además de necesitarse el control de cada uno de los aspectos mecánicos y eléctricos, tanto en las antenas como en los cables así como los distribuidores de potencia, motivo por el cual no son muy utilizadas en nuestro medio, pero se ha presentado la posibilidad de emplearlas con mucho éxito en ciudades como Quito y Guayaquil, que contemplan casos especiales que han podido ser optimizados con la aplicación de estos métodos complementarios, además de que la importancia de éstas dos ciudades ha obligado a una mayor inversión en investigación con el objetivo de obtener los mejores resultados.

2.1.5 SISTEMAS RADIANTES DE T.V. / VHF TÍPICOS PARA COBERTURAS LOCALES A NIVEL NACIONAL

Como es común en todo lugar que se requiera brindar una cobertura eficiente y adecuada, es necesario primeramente el reconocimiento de la zona a servir. Este trabajo preliminar determinará la ubicación física del Sistema de Transmisión y el número de antenas necesarias para cumplir con el objetivo impuesto.

De la experiencia acumulada, se ha podido determinar que lo recomendable para T.V. en VHF es el empleo de torres de sección cuadrada, para así poder disponer de 4 direcciones principales para la transmisión, sin justificarse por tanto la colocación de antenas en direcciones intermedias, puesto que su presencia distorsionarían la radiación homogénea que se pretende dar a cualquier arreglo, y lo que es peor, provocaría el aparecimiento de nulos no previstos.

Con la disponibilidad de las 4 caras que nos proporciona este tipo de torre, que dicho sea de paso, deberá ser lo suficientemente olgada en sus dimensiones laterales, como para contener fácilmente uno de los diferentes modelos de antenas de T.V. en VHF que se disponen, pudiéndose configurar desde arreglos direccionales con una única concentración de antenas en la misma dirección, o multi-direccionales en las cuales se puede abarcar coberturas con una apertura en grados adecuada a las necesidades, con ganancias muy equilibradas tanto en la dirección de apuntamiento de las antenas, como en el espacio intermedio de entre ellas o también llamado dirección de yuxtaposición.

Bajo las mismas consideraciones se puede obtener coberturas más extensas que nos permiten configurar arreglos de antenas omnidireccionales, en base a ocupar los 4 lados disponibles de la torre de sección cuadrada. Se obtendrán consecuentemente lóbulos de radiación con un contorno en lo posible

muy parejo, y sobre todo satisfactorio para la mayoría de los requerimientos presentes en nuestro territorio.

Se puede sustentar un criterio de relativa conformidad con el resultado y la eficiencia del arreglo en los contornos de coberturas, por el hecho de que nuestra realidad topográfica no ha permitido en la gran mayoría de los casos una densidad urbana demasiado complicada, y generalmente se puede observar desde el punto de transmisión los contornos de cobertura a alcanzar, por tanto debemos ser bastante prácticos y reconocer que no justifica llegar a consideraciones y análisis extremadamente profundos, que básicamente elevarán el costo del proyecto y cuyo resultado no será suficientemente valorado.

Por lo general en nuestro medio se ha empleado para la transmisión de señales de T.V. en VHF la antena tipo diédrica (corner reflector) que se fabrica localmente y que representa una opción muy práctica para nuestro medio, debido a que su alta ganancia la convierte en una inmejorable solución para complementar el trabajo de transmisores de baja potencia, los que han podido ser instalados en una gran cantidad de poblaciones a lo largo de nuestro territorio, por gestiones propias de sus moradores antes que por intención de las cadenas de televisión locales.

Con el funcionamiento de las antenas diédricas se ha logrado servir una gran cantidad de territorio, contando con una inversión baja en potencia activa y una inversión razonable en ganancia de potencia pasiva, lo que ha impulsado la utilización de las denominadas repetidoras de T.V., las que tomando señal del aire la retransmiten con potencias de entre 5 y 10 W. en cualquier otro canal disponible, con equipos que desde hace mucho tiempo brindan servicio y seguirán haciéndolo a nivel nacional, pero que al momento sus licencias de operación no son concedidas pues se impulsa el empleo de enlaces de microondas, con costos mucho mas altos.

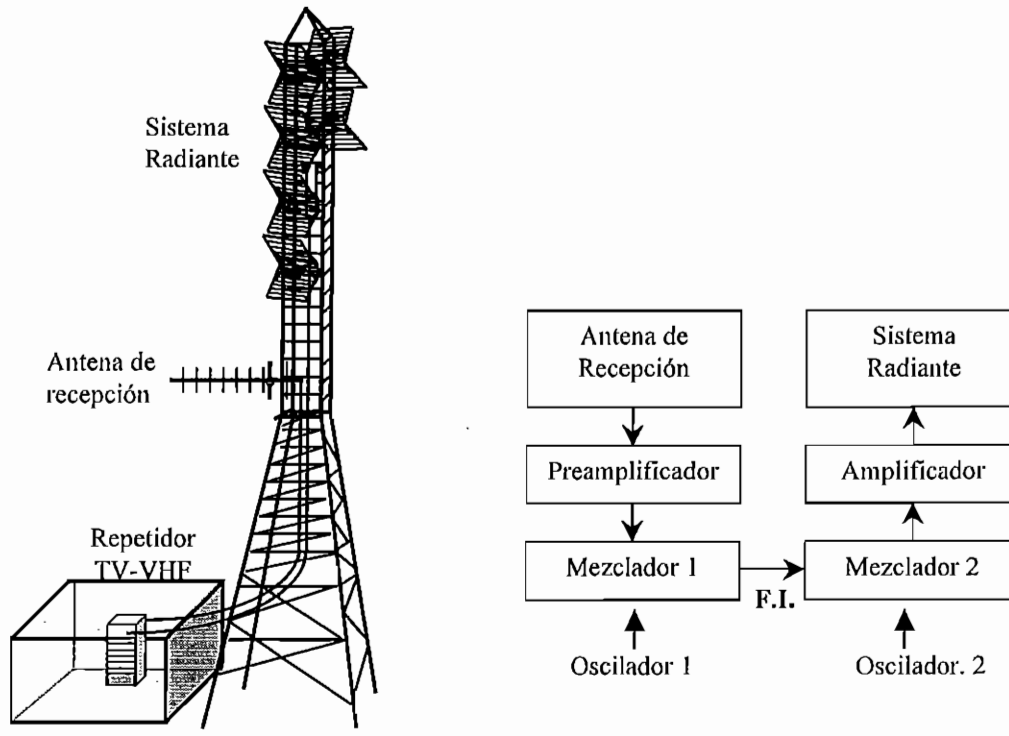


Fig. 2.8.- Esquema básico del funcionamiento de un equipo repetidor de TV en VHF

2.2 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO PARA SISTEMAS RADIANTES DE TELEVISIÓN UHF

En nuestro medio hace apenas muy pocos años ha podido desarrollarse la implementación de estaciones de televisión utilizando el rango de UHF, en este lapso de tiempo se ha tenido la oportunidad de trabajar con varios fabricantes de antenas, los que han recomendado independientemente el uso de paneles compuestos por arreglos de 4 dipolos con polarización horizontal, existiendo también disponibles en catálogos de varios fabricantes con polarización vertical. La experiencia nos ha hecho preferir el uso de la polarización horizontal, por lo que nuestro estudio se basará únicamente en la aplicación de ésta.

Al igual que en el rango de VHF, deberán tomarse las mismas consideraciones de diseño ya mencionadas tanto en lo referente a ubicación del

Sistema de Transmisión, como en la orientación y determinación del número de antenas tipo panel que habrá de utilizarse.

Es muy práctico y eficaz también considerar las 4 posibles direcciones de transmisión que brinda la utilización de una torre de sección cuadrada, claro que también ésta deberá tener las dimensiones mínimas y máximas adecuadas para permitir el adecuado montaje de las antenas, y para no ocasionar trastornos al lóbulo de radiación con sus medidas, por lo que generalmente no deberá tener mas de 0.70 m. por lado en la sección destinada para la instalación de los paneles de UHF.

2.2.1 ANTENAS DE T.V. / UHF

Los paneles UHF utilizados como ya se lo dijo son de polarización horizontal y cubren todo el rango de operación denominado Banda IV. Por su dimensión se prefiere utilizar los arreglos de 4 dipolos internos con panel reflector, existiendo paneles de 2 dipolos y hasta de 8 dipolos, pero a pesar de ser muy útiles para simplificar un arreglo de gran ganancia, éstos no han tenido acogida en nuestro medio.

En cualquiera de las marcas de los fabricantes de este tipo de antenas, el panel de TV en UHF es de banda ancha, lo que brindará facilidad para que se combinen las programaciones de varias estaciones de T.V. en UHF en un único Sistema Radiante, con tan solo tener muy en cuenta la capacidad de potencia total que va a soportar este arreglo, y dimensionar convenientemente la línea coaxial que transportará la suma de las potencias transmitidas, que por razones de combinación deberán ser homogéneas, esto es: operando con transmisores de igual potencia.

A pesar de ser esta opción una lógica y económica forma de optimizar los recursos de las estaciones interesadas en compartirlo, en nuestro medio ya

sea por desconfianza técnica o por egoísmo en compartir la inversión con un potencial competidor, esto no ha sido posible generalizarlo, siendo utilizado tan solo por estaciones de baja potencia, a pesar de ser un recurso técnico empleado internacionalmente en muchos países, en especial en las naciones europeas.

Las antenas tipo panel de UHF mecánicamente están diseñadas para ser colocadas en la sección recta de una torre de dimensión adecuada o en un mástil de tubo rígido, pero debido a su condición de direccionalidad, para el caso en que el área a servir requiera dos o más direcciones de transmisión, se hace obligado el empleo de una torre y con ello disponer de sus diferentes caras para su uso.

En una torre triangular, mediante el empleo de este tipo de paneles UHF montados convenientemente en sus lados, se podrá concebir también la posibilidad de configurar un arreglo omnidireccional, para esto se podrán utilizar los paneles standard pero preferentemente deberán elegirse aquellos paneles que abarcan un ángulo de cobertura superior a 90º en puntos de – 6 dB, ya que conjuntamente con el trabajo de los restantes lados complementan la radiación a 360º.

Debemos comprender que esta configuración omnidireccional no será tan conveniente, en especial si empleamos panes standard (ancho del lóbulo principal de 90º para puntos de – 6 dB), por la notoria diferencia entre los máximos y mínimos obtenidos en el patrón de radiación horizontal resultante, de allí que de preferencia este tipo de arreglo se lo efectúa en base a la utilización de paneles ubicados en cuatro direcciones, es decir mediante el empleo de una torre de sección cuadrada y lógicamente de dimensiones adecuadas.

Para justificar el lóbulo de radiación horizontal resultante de la suma de dos paneles contiguos, basta con analizar la suma vectorial de sus diagramas en la dirección de yuxtaposición, tal como se muestra el la figura 2.9 .

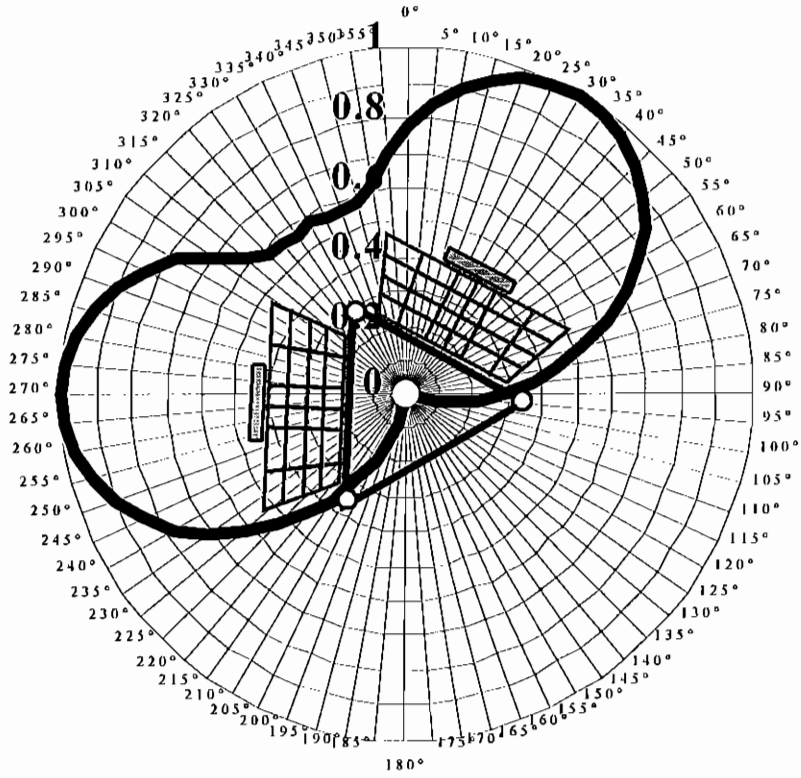


Fig. 2.9.- Análisis de la suma de lóbulos horizontales en una torre de sección triangular

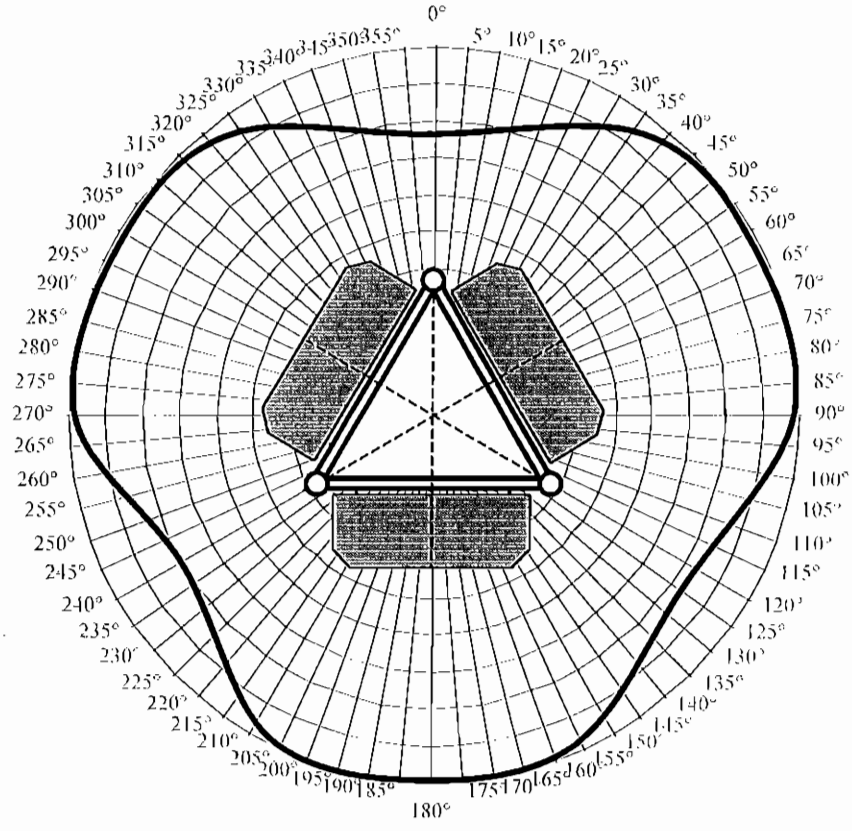


Fig. 2.10.- Arreglo omnidireccional utilizando panes UHF en una torre triangular.

Para una torre de sección cuadrada como ya se lo mencionó anteriormente, será suficiente utilizar paneles con un ancho del lóbulo horizontal principal de 90º para puntos de – 6 dB. Su suma vectorial también tendrá especial importancia en la dirección de yuxtaposición entre los paneles contiguos, lo que se describen en forma gráfica en la figura 2.11.

Apreciando los resultados del comportamiento en los dos tipos de torres estudiados, se obtendrá un contorno mas homogéneo en el caso de utilizar la torre cuadrada, por lo que en adelante consideraremos siempre el uso de este tipo de torre para el trabajo con antenas de T.V., generalizándolo tanto para UHF como para VHF.

En el programa computacional motivo de esta tesis se ha preestablecido que por definición, toda aplicación de antenas de TV esté basada en la instalación sobre una torre de sección cuadrada, y por tanto en el ingreso de datos así como en la entrega de resultados se cumplirá esta consideración.

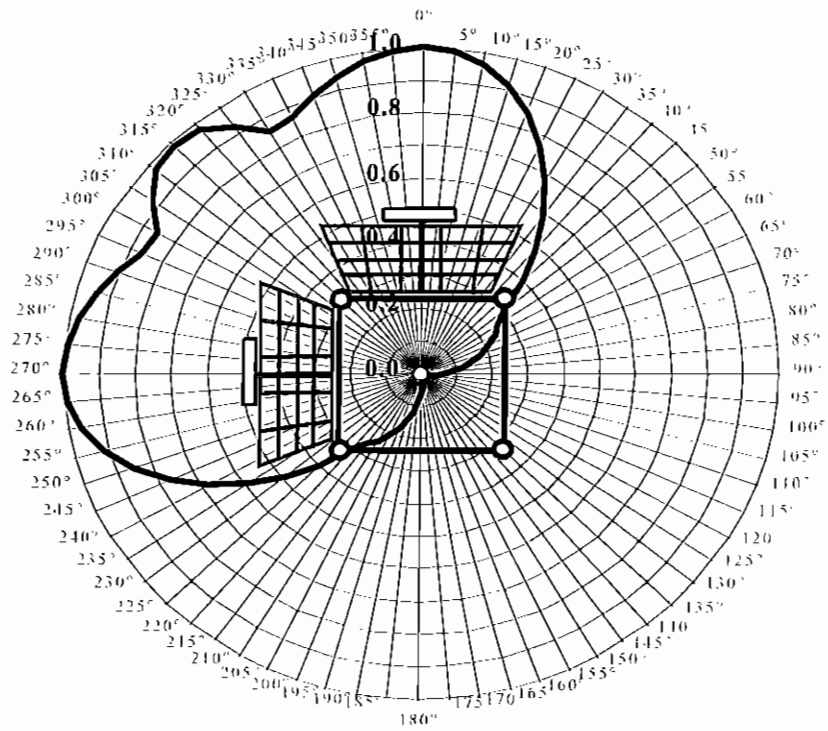


Fig. 2.11.- Análisis de la suma de lóbulos horizontales en una torre de sección cuadrada

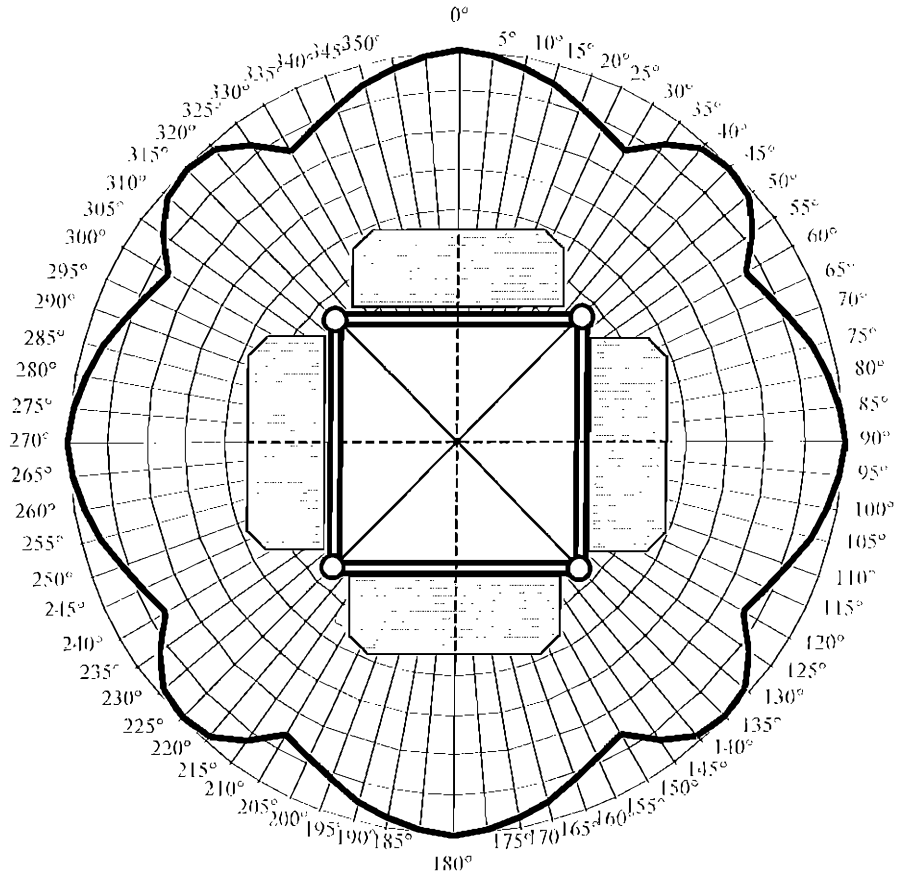


Fig. 2.12.- Arreglo omnidireccional utilizando una torre de sección cuadrada

2.2.2 INCLINACIÓN MECÁNICA PARA UN SISTEMA RADIANTE DE T.V./UHF

Debido a que este tipo de antenas tipo panel para el rango de UHF presentan interiormente un arreglo de 4 dipolos en línea, y aprovechando sus reducidas dimensiones mecánicas por la pequeña longitud de onda de trabajo, vuelve a tener total vigencia el empleo de la llamada inclinación mecánica, con el fin de resolver situaciones particulares de coberturas extremadamente cercanas.

Como ya se ha dicho anteriormente, por lo general se utiliza este recurso cuando se presenta la necesidad de cubrir zonas importantes en las proximidades del punto de transmisión, y no son suficientemente cubiertas con el lóbulo de

radiación vertical, debido a la característica propia del arreglo planteado o por consecuencia de una altura efectiva muy grande.

Para conseguir optimizar estos detalles sobre todo en Sistemas Radiantes compuestos por muchos paneles en línea, generalmente se inclina el panel inferior o los dos últimos paneles inferiores del arreglo vertical de antenas, consiguiéndose de este modo satisfacer la necesidad de cobertura en las proximidades de la torre, sin restar significativamente la cobertura principal deseada en el campo lejano.

De igual forma que en el caso de antenas en VHF, si en una dirección existen zonas de interés muy próximas situadas a los pies del sistema de transmisión, y se dispone de un único panel ubicado en la correspondiente cara de la torre, será indispensable inclinar su orientación mecánica en dirección al objetivo cercano a servir.

Será importante aclarar que para coberturas cercanas en las que no se pretende llegar más allá de una cierta distancia de interés, resultará innecesario elevar la altura de la torre hasta el punto en que debamos inclinar la posición de las antenas, bastará únicamente con seleccionar una altura razonable donde el lóbulo vertical de un panel o el arreglo de ellos, abarque satisfactoriamente la zona de servicio deseada.

2.2.3 INCLINACIÓN ELECTRÓNICA PARA UN SISTEMA RADIANTE DE T.V./UHF

Posiblemente en este rango de UHF será donde mayor utilidad represente el uso de este recurso técnico, pues a consecuencia de utilizar un número elevado de antenas tipo panel en las diferentes caras de la torre, el lóbulo vertical del arreglo se hace extremadamente estrecho, más aún si consideramos que

agruparemos antenas cuya característica de construcción tiene un lóbulo estrecho, debido a la composición interna de 4 dipolos en línea.

Bajo esta consideración, el hacer un prolijo apuntamiento hacia las diferentes zonas de cobertura es vital, pues solo así se logrará un eficiente rendimiento de nuestro Sistema Radiante.

Como consecuencia de que en este rango de frecuencias la longitud de onda es muy corta, la fabricación empírica de los cables de alimentación hacia cada uno de los paneles, podría acarrear un grave error en las fases de trabajo para cada uno de ellos, debido a las fracciones de centímetros que podrían faltar o sobrar según sea el caso, representando esto una grave diferencia en su fase de operación, con lo que distorsionaría peligrosamente el trabajo previsto para el arreglo de antenas.

Ante la reflexión hecha, será totalmente necesario el empleo de un equipo adecuado como lo es el Analizador de Redes para realizar los ajustes precisos en el corte de los cables, controlando de esta forma el cumplimiento de las fases exactas con las que deberán operar cada uno de ellos, debiendo ser identificados en forma conveniente para evitar confusiones que impidan respetar su posición preestablecida, en el momento mismo de la instalación.

Cualquier error de identificación que se cometa en esta etapa de preparación o de instalación, será poco menos que fatal en el rendimiento óptimo del arreglo de antenas, siendo esto extremadamente notorio en la verificación de la señal al aire, cubriendo zonas no previstas o brindando un deficiente servicio a las áreas de verdadero interés. Podría ser más grave aun cuando se compruebe que un arreglo de antenas esté enviando potencia en dirección al cielo, situación totalmente improductiva y absurda de llegarse a verificar.

2.2.4 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS Y ACCESORIOS PARA UN SISTEMA RADIANTE DE T.V. / UHF

En la implementación de un arreglo de antenas tipo panel para este rango de trabajo, generalmente se dispone de distribuidores de potencia de banda ancha (ya analizados en el capítulo I), los cuales ofrecen total confiabilidad en su operación y lo que es mejor, brindan una gran flexibilidad para configurar el arreglo de paneles necesario para cada cobertura en particular.

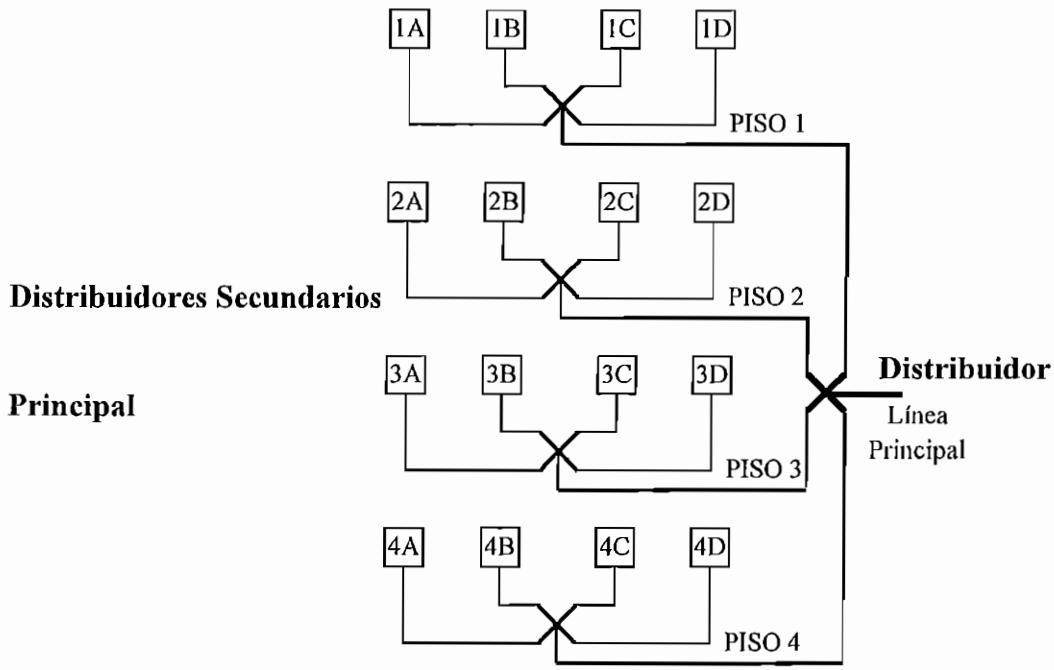


Fig. 2.13.- Sistema de distribución de potencia alimentando las antenas por pisos

Para el mejor diseño y empleo de los distribuidores de potencia, se recomienda en la mayoría de aplicaciones alimentar las antenas por pisos, esto es: tomando potencia de un mismo distribuidor para uno o dos pisos consecutivos de paneles, y de idéntica forma seguir haciéndolo con los niveles restantes. Cada distribuidor secundario será alimentado mediante el trabajo de un distribuidor principal, el que soportará la potencia total entregada por el transmisor, por lo que

mecánicamente debe ser construido con la robustez y capacidad de potencia necesario para su trabajo confiable.

Otra opción igual de válida es la de alimentar las antenas en forma vertical, es decir: que mediante un mismo distribuidor se entrega potencia a una o dos caras consecutivas del arreglo, con lo que se puede controlar de mejor forma la radiación en esa dirección, sin involucrar las antenas correspondientes a los otros lados de la torre, facilitando de esta forma la detección de inconvenientes que pudieran presentarse, sea esto al momento de poner la señal al aire o en lo posterior.

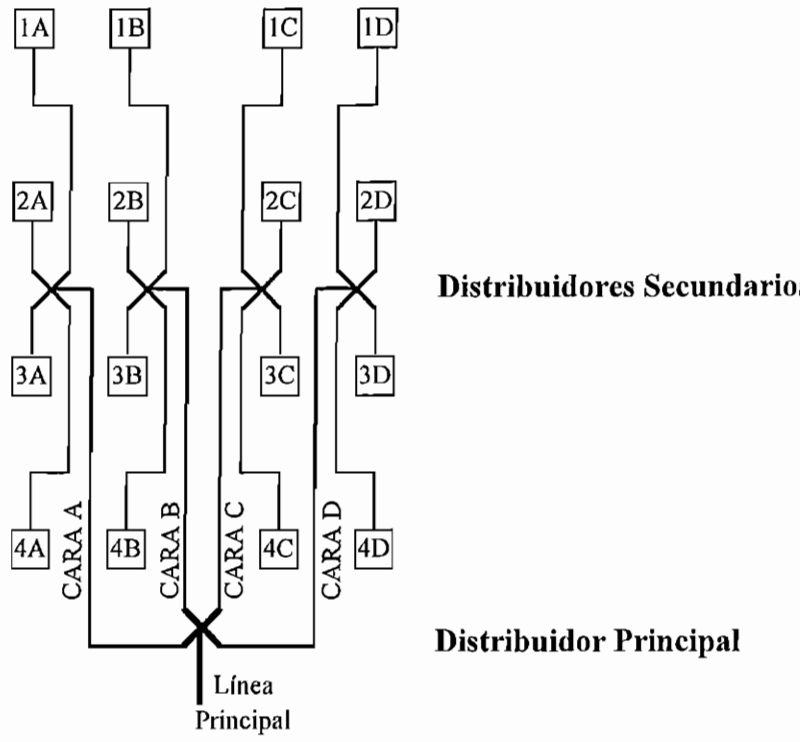


Fig. 2.14.- Sistema de distribución de potencia alimentando las antenas por caras.

De igual forma que en el caso anterior, los distribuidores secundarios recibirán potencia proveniente del distribuidor principal, que también deberá ser de mayor calibre en sus conectores de entrada y salida.

2.2.5 SISTEMAS RADIANTES DE T.V. / UHF TÍPICOS PARA COBERTURAS LOCALES A NIVEL NACIONAL

Como consecuencia de la alta frecuencia de trabajo en este rango no es posible esperar que la propagación sea favorable para zonas con obstrucción, es por esto que la utilización de los Sistemas Radiantes de UHF se enfocarán básicamente para coberturas locales, las que estarán ubicadas estrictamente en zonas con línea de vista al sitio de transmisión.

En nuestro medio en que desgraciadamente no se dispone de una cultura adecuada como para realizar una buena instalación en antenas de recepción, esto obliga a que las estaciones transmisoras radien la potencia suficiente como para lograr llegar al televidente con una intensidad de campo superior a la necesaria, de tal forma que únicamente con la antena propia del televisor se pueda sintonizar en buena forma la programación difundida, sin ni siquiera realizar un ajuste fino para calibrarla de manera óptima.

Para las coberturas omnidireccionales se requiere el uso de la sección recta de una torre de sección cuadrada de 0.6 a 0.7 m. de ancho, para posibilitar la colocación de los paneles en forma ordenada y de acuerdo al requerimiento de cobertura deseado. En la costa se buscará agrupar el número de paneles tal que aseguren una alta ganancia y que su lóbulo vertical logre abarcar la zona poblada requerida. En la sierra en cambio debido a la gran altura efectiva de radiación que se dispone, preferentemente se escogen arreglos de dos y hasta tres paneles por lado, pues el lóbulo vertical siendo relativamente estrecho, puede abarcar todo el área de interés y si aumentamos a un número superior de paneles por lado, llegaremos a configurar una franja de máxima cobertura con vacíos peligrosos antes y después de la zona principal de apuntamiento, lo que definitivamente en la práctica es inaceptable.

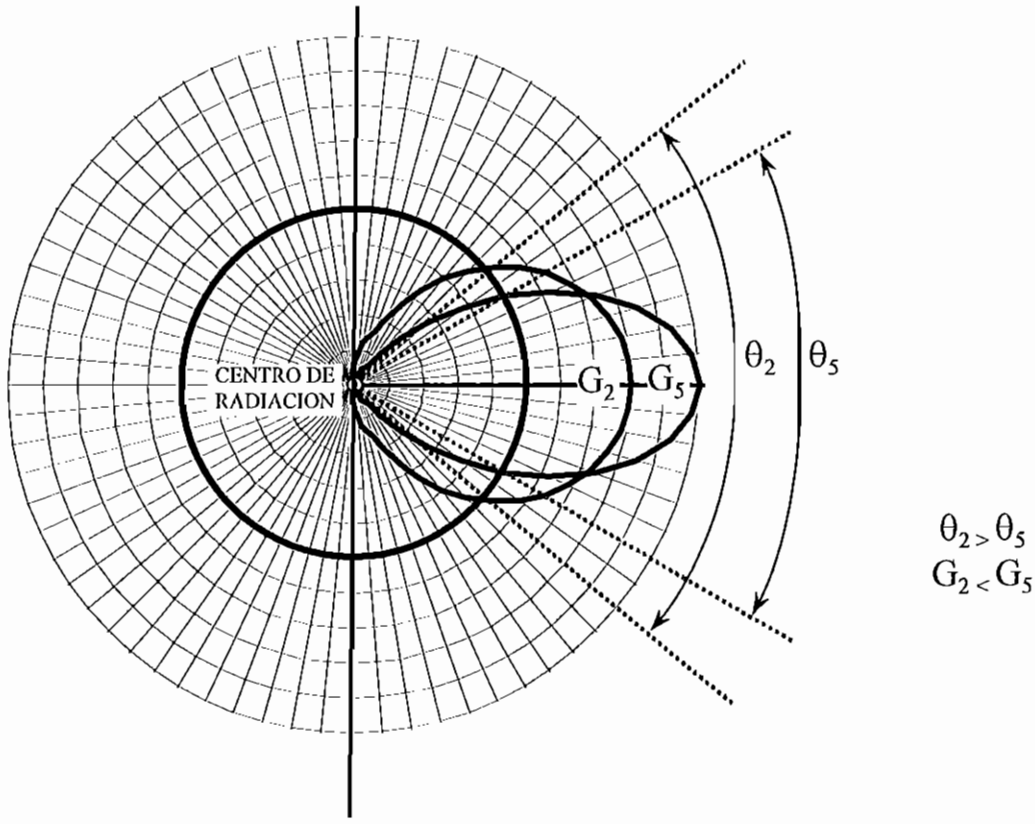


Fig. 2.15.- Comparación del lóbulo vertical de un arreglo de 5 paneles con otro de 2 paneles.

En una configuración de varios paneles por cara dispuestos en forma vertical es indispensable considerar el relleno de nulos, ya que generalmente éstos van a caer en el interior de las zonas pobladas y como ya se mencionó anteriormente, se lo logra combinando convenientemente las fases de entrada a cada uno de los paneles, pudiéndose también obtener igual resultado de relleno de nulos con el adelanto o retraso físico de los paneles, colocándolos uno mas sobresalido respecto al otro, desde luego en distancias controladas que determinen el desfase necesario para lograr el resultado deseado y consecuentemente el efecto esperado.

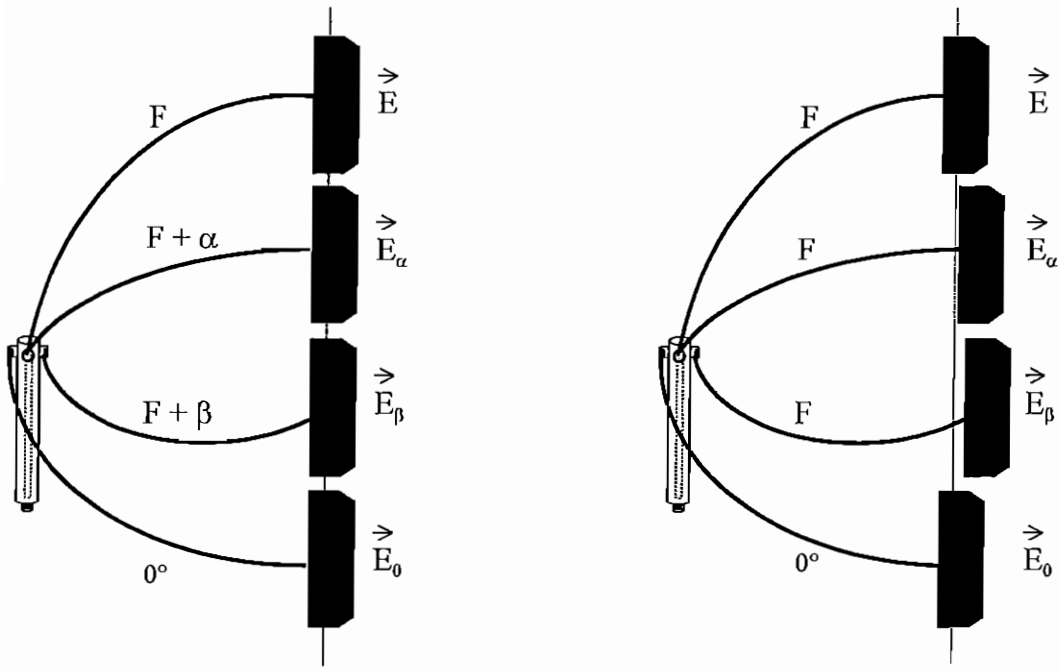


Fig. 2.16.- Inclinación electrónica y relleno de nulos en base a paneles sobresalidos.

CAPITULO III :

DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA DETERMINAR PATRONES DE RADIACION DE ARREGLOS TIPICOS DE ANTENAS

3.1.- LA FUNCIÓN DE RADIACIÓN HORIZONTAL

Será conveniente antes que nada establecer el límite general entre el campo cercano y el campo lejano del patrón de radiación de una antena cualquiera, para que de esta forma tener muy claro en donde es conveniente realizar una evaluación del rendimiento de ésta.

Consideremos la ecuación del Campo Eléctrico para un elemento de corriente Eθ :

$$E\theta = \frac{I_0 . e^{jw\left(t-\frac{r}{C}\right)} dl.Sen\phi}{4.\pi.\varepsilon}\left[\frac{jw}{C^2.r} + \frac{1}{C.r^2} + \frac{1}{jw.r^3}\right] \qquad (1)$$

El término $\frac{1}{jw.r^3}$ se lo puede considerar despreciable por no aportar mayor variación, por tanto podemos resumir la ecuación en :

$$E\theta = \frac{I_0 . e^{jw\left(t-\frac{r}{C}\right)} dl.Sen\phi}{4.\pi.\varepsilon}\left[\frac{jw}{C^2.r} + \frac{1}{C.r^2}\right]$$

(1) Edward C. Jordan / Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes / 2 da. Edición Pg.367

Tenemos en esta ecuación dos tipos de términos; el término para el campo lejano (o de radiación) contenido en el factor $\frac{1}{r}$; y el campo cercano (o de inducción) que contiene el factor $\frac{1}{r^2}$.

Los dos campos, cercano y lejano, tendrán la misma amplitud cuando:

$$\frac{w}{C.r} = \frac{1}{r^2}$$

Es decir, cuando:

$$\frac{r^2}{r} = \frac{C}{w} = \frac{\lambda.f}{2.\pi.f} = \frac{\lambda}{2.\pi}$$

ó cuando: $r \cong \lambda/6$

podemos entonces concluir que para una distancia menor que $\lambda/6$ el campo cercano predominará, y que el campo lejano será de mayor importancia cuando la distancia sobrepase $\lambda/6$, la misma que se supera en todas las aplicaciones prácticas de radiación electromagnética.

En la práctica usualmente se toma una distancia mínima de 10λ para asegurarse que únicamente se evaluará el campo de radiación ó campo lejano para efecto de mediciones de intensidad de campo.

3.1.1.- LA CONFIGURACION DE RADIACIÓN O PATRON DE RADIACIÓN:

Unas de las principales funciones que debe cumplir una antena práctica es de dirigir la energía irradiada en las direcciones deseadas, y en caso de ser necesario, suprimirla en los lugares no deseados. Entonces, al diseñar una antena, debemos saber si la misma va a cumplir con esta función.

La "configuración de radiación" da la información sobre este tópico. Generalmente, los cálculos de las antenas comunes prácticas suministran la información sobre esto, ya que la expresión para el campo eléctrico y magnético contienen funciones de las variables esféricas θ y φ, las mismas que se conocen como "factor de radiación".

En general puede definirse la configuración de radiación como una representación gráfica de la irradiación de la antena en fusión de los diferentes ángulos (coordenadas esféricas).

Al expresar la irradiación en E $[V/m]$ se llama a la configuración como la "configuración de la intensidad de campo". Por otra parte, la irradiación expresada en "potencia por unidad del ángulo sólido", puede ser representada como la "configuración de potencia". La configuración de potencia es proporcional al cuadrado de la configuración del campo.

Una representación gráfica completa de irradiación es en realidad en tres dimensiones. Pero en la práctica esto presenta ciertas dificultades. Por esta razón se suele representar los lóbulos solo en los planos de interés. Generalmente se dibuja el lóbulo en el plano horizontal (θ = 90º) ó en el plano vertical (φ = constante). A estos dibujos se llaman "patrón horizontal" y "patrón vertical" respectivamente, o también se recurre a los planos E y H que tienen la ventaja de incluir la polarización.

Para representar los valores de la intensidad de campo (normalmente del campo E) ó de la potencia, es costumbre, asignar el valor 1 a la máxima radiación. De esta manera se obtiene fácilmente el valor relativo del campo (ó de potencia) en otras direcciones.

3.1.2.- DIAGRAMAS DE RADIACIÓN:

Al diseñar sistemas de antenas con elementos radiadores suministrados por un determinado fabricante (dipolos Simples, antenas yagi, dipolos con panel, diedros, etc.), los diagramas de radiación que normalmente proporciona el mismo son las secciones horizontal y vertical del diagrama tridimensional que contiene la dirección de máxima radiación.

Si $f(\theta,\varphi)$ es el diagrama de campo del sistema radiante, los diagramas de radiación vertical y horizontal pueden expresarse respectivamente mediante:

$f(\varphi)_{\theta=\theta_{max}}$

donde:

θ_{max} es el ángulo de elevación al que tiene lugar la radiación máxima, y

$f(\theta)_{\varphi=\varphi_{max}}$

donde:

φ_{max} es el ángulo acimutal de máxima radiación.

Por razones prácticas, los ángulos θ_{max} y φ_{max} normalmente se ponen a cero en la hoja de datos del fabricante. Los valores reales del diagrama de radiación para ángulos φ< ó >φ_{max} y θ< ó >θ_{max} pueden obtenerse mediante la relación:

$$f(\theta,\varphi) = f(\varphi)_{\theta=\theta_{max}} \cdot f(\theta)_{\varphi=\varphi_{max}}$$

Esta expresión se basa en la suposición verificada empíricamente de que cualquier otra sección vertical o horizontal del diagrama de radiación tendrá una forma semejante a la sección vertical o horizontal que contiene la dirección de máxima radiación.

Debe señalarse que los diagramas de radiación especificados por el fabricante se refieren normalmente al centro de fase. Por lo tanto, puede suponerse que los elementos del sistema de antena son fuentes puntuales no isótropas, a las que se aplican las consideraciones para redes de este tipo de elementos, que tienen diagramas de radiación de amplitud relativa iguales (con la misma forma) y orientados en la misma dirección.

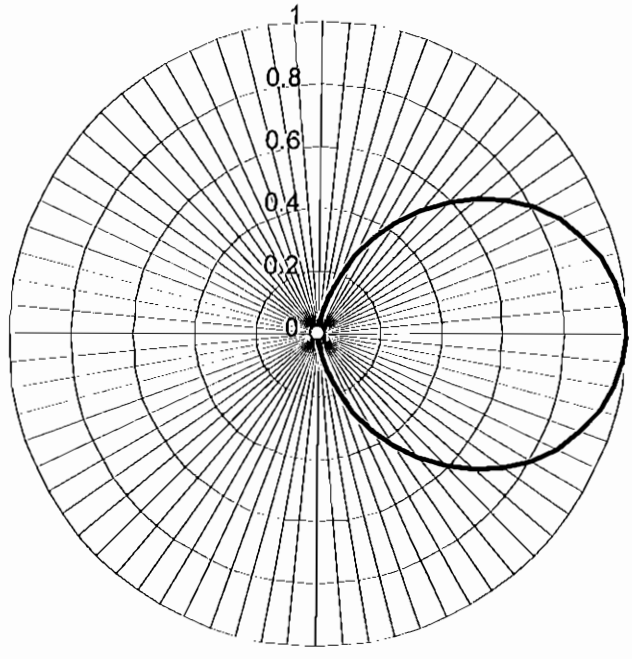


Fig. 3.1.- Diagrama de radiación de un dipolo con panel reflector

3.1.3.- MULTIPLICACIÓN DE DIAGRAMAS:

El principio de multiplicación de diagramas se aplica a redes con fuentes puntuales no isótropas idénticas. Según este principio la amplitud relativa del diagrama de radiación de una red de fuentes puntuales no isótropas idénticas es igual al producto del diagrama de una fuente individual por el de la red de fuentes puntuales isótropas, mientras que el diagrama de fase total es la suma de los

diagramas de fase de la fuente individual y el de la red de fuentes puntuales isótropas.

Esto puede expresarse mediante:

$$E = f(\theta,\varphi) \cdot F(\theta,\varphi) \quad \llcorner \quad f_p(\theta,\varphi) \cdot F_p(\theta,\varphi)$$

En donde, de acuerdo con el sistema de coordenadas de la figura 3.2.

$f(\theta,\varphi)$: diagrama de amplitud relativa de la fuente individual,

$f_p(\theta,\varphi)$: diagrama de fase de la fuente individual,

$F(\theta,\varphi)$: diagrama de amplitud relativa de la red de fuentes isótropas (también denominado factor de red),

$F_p(\theta,\varphi)$: diagrama de fase de la red de fuentes isótropas.

3.1.4.- SUMA DE DIAGRAMAS VECTORIALES:

Cuando se considera el caso más general de una red de fuentes puntuales no isótropas y diferentes (es decir, fuentes no isótropas con diferentes diagramas de radiación y/ó orientación distintas de la dirección de máxima radiación), no puede aplicarse el principio de multiplicación de diagramas.

Esta es una situación típica para sistemas de antenas en ondas métricas y decimétricas, en las que los elementos radiantes (panel, yaqui, diedro, etc.) se consideran fuentes puntuales con diagramas de radiación idénticas o diferentes en distintas direcciones.

En este caso el diagrama de radiación resultante se calcula mediante la suma vectorial de la radiación (amplitud y fase) de cada fuente puntual individual para un ángulo dado.

De forma simbólica; para fuentes situadas en un mismo plano:

$$E(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} E_i \, f_i(\theta,\varphi) \, e^{j\beta . d_i Cos(\varphi_i - \varphi) Cos\theta} \, e^{j\alpha_i}$$

donde:

E_i: magnitud del campo radiado por la fuente i-ésima,

$f_i(\theta,\varphi)$: función de variación espacial de la fuente i-ésima,

d_i : deformación relativa de la fuente i-ésima,

φ_i : orientación relativa de la fuente i-ésima,

α : fase temporal relativa de la fuente i-ésima,

$E(\theta,\varphi)$: intensidad de campo resultante

3.1.5.- CAMPO RADIADO POR FUENTES PUNTUALES:

En las condiciones de campo lejano, el flujo de potencia de una fuente puntual es siempre radial.

Por tanto, el vector de Poynting se origina sólo a partir de dos componentes de campo eléctrico transversales, E_θ y E_φ, tal como se muestra en la figura 3.2.

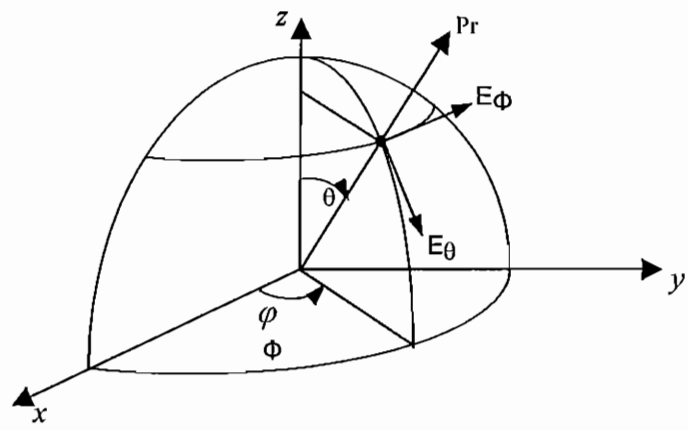


Fig. 3.2.- Relación entre el vector de Poynting y las componentes de campo eléctrico del campo Lejano.

Cuando el frente de onda esférica está a una distancia suficientemente grande, como para considerarse plano, siendo el vector de Poynting promedio (sólo componente radial) viene dado por:

$$P_r = \frac{E^2}{2.Z_0}$$

donde:

$$E^2 = E_\theta^{\ 2} + E_\varphi^{\ 2}$$

y

Z_0 : impedancia característica del espacio libre, = $\sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}} = 120.\pi \ [\Omega]$

E : intensidad total del campo eléctrico

Teniendo en cuenta la variación de la intensidad de campo eléctrico total a una distancia determinada, el diagrama resultante será una función de θ y φ. El diagrama que se obtiene normalizando los valores del mismo con respecto a su valor máximo (que se supone en la dirección de máxima radiación) se denomina diagrama de radiación de amplitud relativa.

La intensidad de campo eléctrico producido a una distancia **r** por una fuente isótropa que radia una potencia P_{is}, viene dada por:

$$E = \sqrt{30.\frac{P_{is}}{r^2}} \qquad [V/m$$

donde:

P_{is} : potencia isótropa,

r : distancia en metros

La relación anterior también se conoce como condición de propagación en el espacio libre.

Relacionando la potencia isótropa radiada P_{is} con la potencia radiada por una antena con ganancia g_T;

$$P_{is} = g_T \cdot P_T$$

$$E = \frac{\sqrt{30 P_T \cdot g_T}}{r} \qquad [V/m$$

donde:

P_T : Potencia Transmitida

g_T : ganancia de antena transmisora (numérica)

Considerando una fuente puntual no isótropa, la intensidad de campo eléctrico radiada en las distintas direcciones dependerá del diagrama de radiación, de forma que:

$$E_{ni} = f(\theta,\varphi) \cdot E_i$$

donde:

E_{ni} : intensidad de campo en un punto Q(r, θ, φ) debida a una fuente puntual no isótropa que radia una potencia P ;

$f(\theta,\varphi)$: diagrama de radiación de amplitud relativa de una fuente puntual;

E_i : intensidad de campo en un punto Q(r) debido a una fuente puntual isótropa que radia la potencia P .

3.1.6.- DIRECTIVIDAD Y GANANCIA:

La directividad de una fuente radiante se define como la relación entre su intensidad de radiación máxima (o densidad de flujo de potencia) y la intensidad de radiación de una fuente isótropa que radia la misma potencia total. Puede expresarse mediante:

$$D = \frac{4\pi.\left|E(\theta,\varphi)_{\max}\right|^2}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\left|E(\theta,\varphi)\right|^2 d_\Omega} \qquad (2)$$

donde:

$E(\theta,\varphi)$: campo eléctrico radiado en el sistema de coordenadas esféricas de la fig 3.2

d_Ω : diferencial de ángulo sólido = Sen θ .d_θ .$d\varphi$

o bien, cuando:

$E(\theta,\varphi) = k \,.\, f(\theta,\varphi)$

donde:

$f(\theta,\varphi)$: función del diagrama de radiación normalizado de la fuente,

$$D = \frac{4\pi.\left|f(\theta,\varphi)_{\max}\right|^2}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\left|f(\theta,\varphi)\right|^2 d_\Omega}$$

La definición anterior de directividad es solamente función de la forma del diagrama de radiación de la fuente.

(2) CCIR / UIT / Sistemas de Antenas de Radiodifusión en B.m. y Bdm. / Pg. 11

Para tener en cuenta la eficacia de la antena es preciso definir su ganancia, expresada como la relación entre su intensidad de radiación máxima y la intensidad de radiación máxima de referencia con la misma potencia de entrada.

Cuando la antena de referencia es una antena isótropa con una eficacia del 100%, la ganancia se expresa por:

$$G_i = 10 \log_{10} D$$

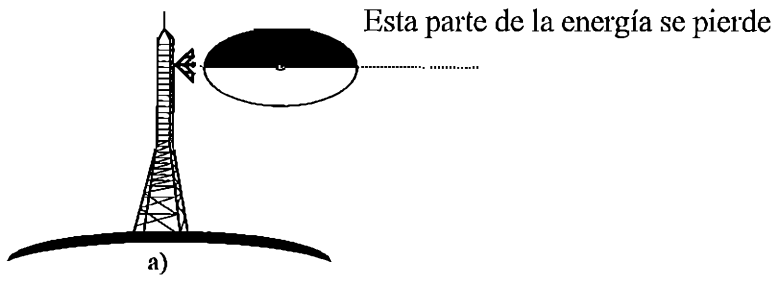
Mientras que la ganancia relativa al dipolo de media onda es:

$$G_d = G_i - 2{,}15 \text{ dB}$$

3.1.7.- SISTEMAS DE ANTENAS:

En las ondas métricas y decimétricas los sistemas de antenas se diseñan mediante conjuntos de elementos radiantes a fin de conseguir un diagrama de radiación optimizado.

Debido a que en primera aproximación la señal radiada por un sistema de antenas se propaga hacia las zonas con visibilidad directa, se pierde toda la energía radiada por encima del plano horizontal de la antena (ver Fig. 3.3. a). Esta pérdida puede reducirse estrechando el diagrama de radiación vertical del sistema de antena e inclinando el haz hacia abajo (ver Fig. 3.3. b y 3.3. c).



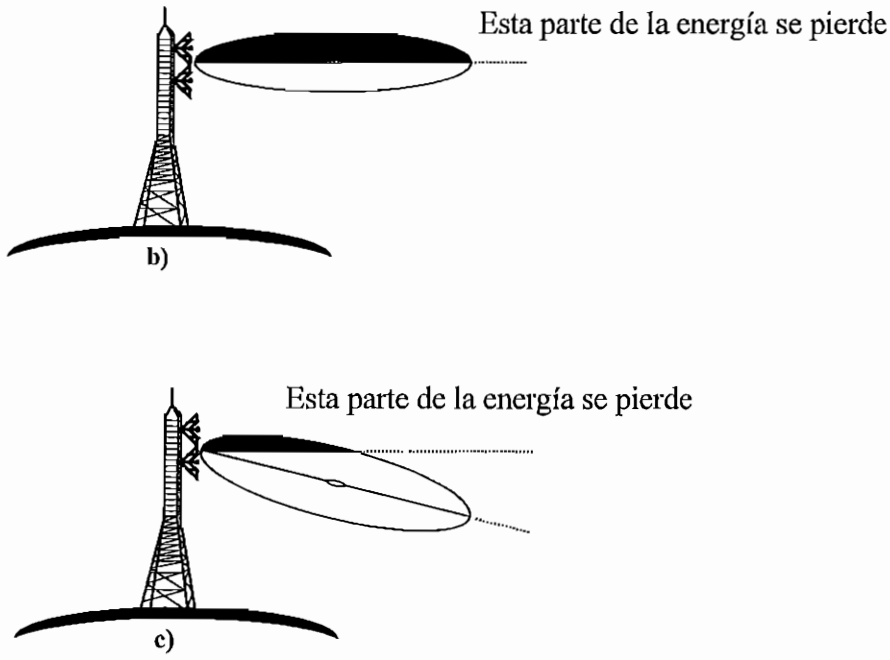


Fig. 3.3.- Diagrama de radiación vertical de una antena y su optimización

De igual modo, puede ser necesario tener que controlar el diagrama de radiación en acimut, ya que ha de ceñirse a una determinada zona de servicio y proporcionar la necesaria protección a otras estaciones cocanales o en canal adyacente.

La forma más eficaz para controlar ambos diagramas de radiación es disponer de un número adecuado de elementos radiantes, por ejemplo, paneles, yagis, diedros, etc. distribuidos y/ó orientados en la dirección del acimut deseado.

Las consideraciones que se hacen son, en general, aplicables a cualquier técnica que utilice elementos radiantes cuyas características en cuanto a excitación o posición geométrica mutua puedan ser modificadas por el diseñador para conseguir el diagrama de radiación deseado.

3.1.8.- DIAGRAMA DE RADIACIÓN DEL SISTEMA DE ANTENA :

Los elementos radiantes que forman un sistema de antena pueden considerarse fuentes puntuales no isótropas situadas en su centro de fase. En este caso, el diagrama de radiación resultante debe calcularse utilizando la suma vectorial, que tiene en cuenta los diagramas de radiación individuales.

Cuando se conoce la amplitud y fase de la corriente de excitación de cada elemento la resolución de la suma vectorial se reduce a un problema puramente geométrico.

Se analizará entonces el caso de dos fuentes radiantes isótropas situadas arbitrariamente en un espacio tridimensional, a fin de determinar la diferencia de fase de los campos radiados en función de su posición relativa y de la fase de las corrientes de excitación.

Los resultados se extenderán al caso más general de fuentes no isótropas. Con relación a la Fig. 3.4. a) en la que no existe ningún sistema de coordenadas se supondrá que, al calcular el campo resultante en un punto **P** correspondiente a una determinada dirección, la fuente **1** es la referencia para obtener la diferencia de fase con respecto a la fuente **2**.

Consideraremos a **1'** como la proyección de la fuente **1** sobre el plano horizontal que contiene a la fuente **2**. En dicho plano se muestra la dirección **n** del Norte geográfico que pasa por **1'**.

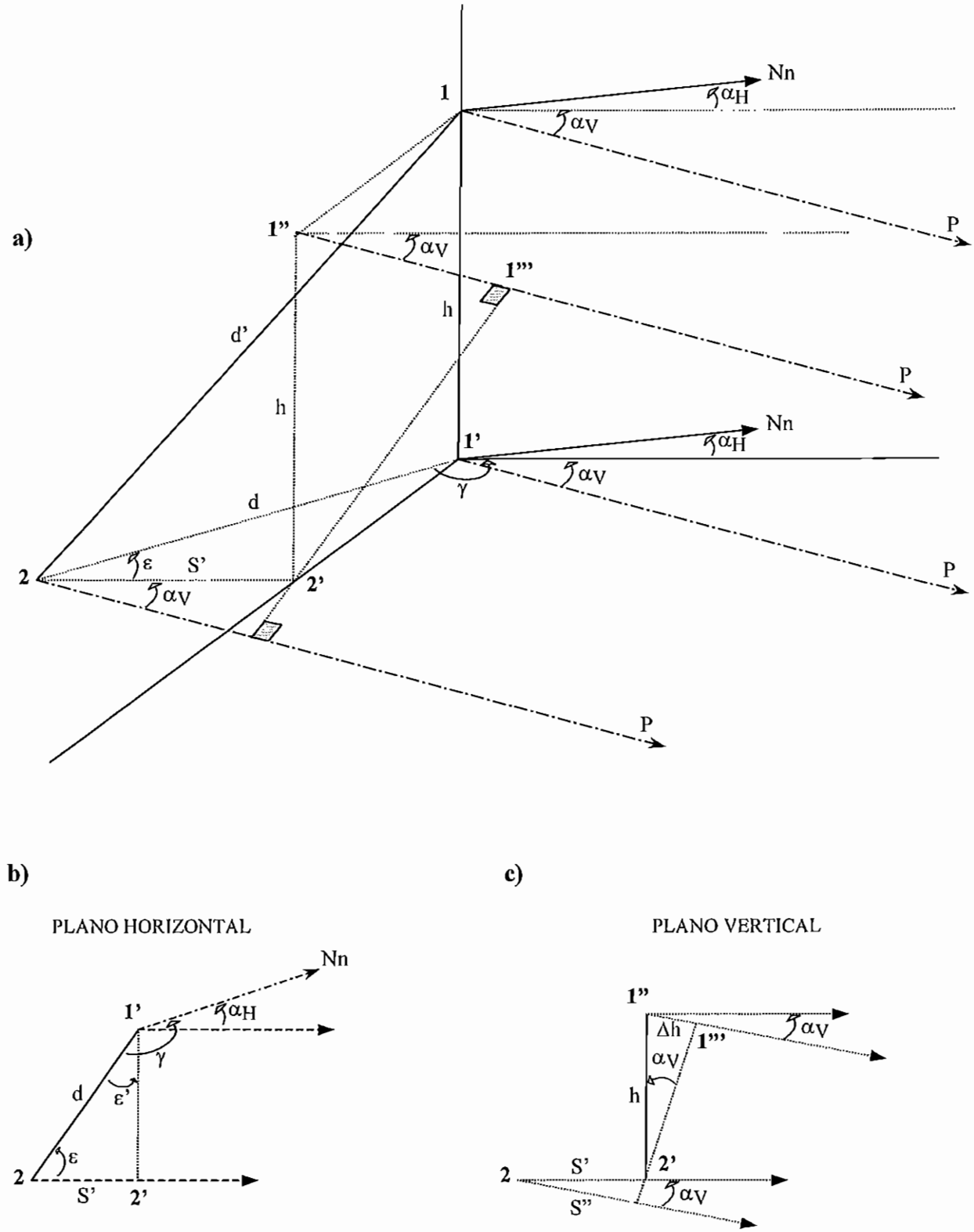


Fig. 3.4.- Geometría de la suma vectorial

En la Fig. 3.4. a) se han utilizado los parámetros siguientes:

d : distancia entre la fuente **2** y la proyección **1'** de la fuente **1** sobre el plano horizontal;

h : distancia vertical entre la fuente **1** y su proyección **1'** sobre el plano horizontal;

n : dirección del Norte en el plano horizontal;

p : dirección del cálculo;

γ : ángulo en el plano horizontal entre **d** y **n**.

α_H: ángulo en el plano horizontal entre **n** y la proyección de la dirección de cálculo **p** sobre el plano horizontal;

α_V : ángulo sobre el plano vertical entre la dirección de cálculo **p** y su proyección sobre el plano horizontal.

Con relación a la geometría existente en el plano horizontal de la Fig. 3.4. b) puede verse que en la dirección en que se calcula la intensidad de campo producida por la fuente **2** ésta presente un retardo de fase proporcional a:

$$s' = d \cdot \cos \varepsilon$$

donde:

$$\varepsilon = 90 - [(\gamma - \alpha_H) - 90] = 180 - (\gamma - \alpha_H) \qquad \text{(grados)}$$

y por lo tanto:

$$s' = -d \cdot \cos (\gamma - \alpha_H)$$

que corresponde a un adelanto de fase proporcional a :

$$s' = d \cdot \cos (\gamma - \alpha_H)$$

Con relación a la geometría existente en el plano vertical de la Fig. 3.4. c), puede verse que la fuente **2** presenta un retardo de fase con relación a **1"**, proyección de la fuente **1** sobre el plano vertical, que es proporcional a:

$$s = \Delta h - s''$$

donde:

$$\Delta h = h \,.\, \text{Sen}\, \alpha_V$$

$$s'' = s' \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V = -d \,.\, \text{Cos}\, (\gamma - \alpha_H) \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V$$

y por lo tanto:

$$s = h \,.\, \text{Sen}\, \alpha_V + d \,.\, \text{Cos}\, (\gamma - \alpha_H) \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V$$

Expresando **d** y **h** en metros y **f** en MHz., la diferencia de fase de la fuente 2 con respecto a la **1** es de:

$$\varphi_2 = 1{,}2 \,.\, f \,.\, [d \,.\, \text{Cos}\, (\gamma - \alpha_H) \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V + h\, \text{Sen}\, \alpha_V]$$

Suponiendo que la fuente **2** puede radiar con una diferencia de fase inicial de β grados con relación a la fuente **1** (debido, por ejemplo, a una diferencia de fase en las corrientes de excitación), una expresión más general es:

$$\varphi_2 = 1{,}2 \,.\, f \,.\, [d \,.\, \text{Cos}\, (\gamma - \alpha_H) \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V + h\, \text{Sen}\, \alpha_V] + \beta$$

y para la fuente i-ésima de una red:

$$\varphi_i = 1{,}2 \,.\, f \,.\, [d_i \,.\, \text{Cos}\, (\gamma_i - \alpha_H) \,.\, \text{Cos}\, \alpha_V + h_i\, \text{Sen}\, \alpha_V] + \beta_i$$

Considerando una red de **n** fuentes no isótropas, el diagrama del campo resultante en cualquier dirección está dado por la suma vectorial de **n** vectores cuyas amplitudes están dadas por el diagrama de radiación de amplitud de cada fuente individual y la fase por la última ecuación, tomando la fuente **1** como referencia. En símbolos:

$$E(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} V_i(\theta,\varphi) = \sum k_i . f_i(\theta,\varphi).e^{J\Psi_i}$$

donde :

V_i : vector individual de campo,

k_i : constante que tiene en cuenta la diferencia de potencia de entrada a las fuentes,

f_i : diagrama de radiación de amplitud relativa de cada fuente,

ψ_i : diferencia relativa de fase de la fuente i-ésima con relación a la fuente **1** ($\Psi_1 = 0$).

Es conveniente hacer la suma vectorial en el plano x – y, tal como se muestra en la Fig. 3.5 , para n = 3.

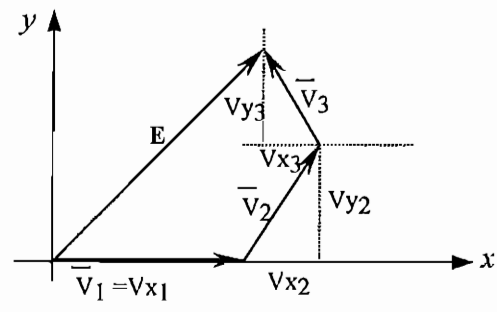


Fig. 3.5.- Suma vectorial en el plano x-y para n = 3

El vector resultante E(θ,φ) tendrá las siguientes componentes:

$$E_x(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} V_{xi}(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} k_i . f_i(\theta,\varphi) . \text{Cos}\, \Psi_i$$

$$E_y(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} V_{yi}(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} k_i . f_i(\theta,\varphi) . \text{Sen}\, \Psi_i$$

de donde:

$$|E(\theta,\varphi)| = [E_x(\theta,\varphi)^2 + E_y(\theta,\varphi)^2]^{1/2}$$

y

$$\Psi(\theta,\varphi) = \arctan \frac{E_y(\theta,\varphi)}{E_x(\theta,\varphi)}$$

En la práctica $f_i(\theta,\varphi)$ se calcula sobre la base de los datos suministrados por el fabricante, mientras que k_i se determina a partir de la potencia que excita al sistema, calculándose Ψ_i de acuerdo a la geometría del sistema de antena.

Debido a que inicialmente no se ha seleccionado ningún sistema de coordenadas, es habitual referenciar todos los ángulos horizontales a la dirección Norte al calcular la diferencia de fase, y a su vez referir todos los ángulos verticales al plano horizontal.

3.1.9.- ANTENAS TIPO "RADIADOR FM":

Para el análisis que nos ocupa en cuanto a las antenas de FM, consideraremos aquellas que se fabrican localmente por la Empresa Ecuatronix y que operan prácticamente en la totalidad de las estaciones de radio en el país.

Estas antenas son del modelo EX-FM-... y radian con polarización cruzada (circular), en base al empleo de un dipolo de longitud λ/2 modificado en su geometría para entregar componente vertical y horizontal en forma simultanea.

Debido a su configuración mecánica y su disposición para el montaje, el diagrama de radiación presenta severos cambios en su forma dependiendo del modo de instalación, dependiendo de su soporte mecánico ya sea que fue colocada en el vértice o centrada en uno de los lados de una torre, o si evitando utilizar una torre fue colocada en un mástil, situación que deberá ser tomada muy en cuenta para lograr el resultado deseado en el comportamiento de todo el sistema radiante.

Considerando esta observación y para unificar los criterios de montaje, se recomienda siempre la colocación de esta antena en uno de los vértices expuestos de una torre delgada, y por tanto acogeremos para nuestro análisis el diagrama de radiación horizontal medido en forma experimental para estas condiciones de operación, y lo asumiremos como el diagrama general correspondiente a una fuente individual para los diferentes cálculos posteriores, con el propósito de poder configurar arreglos de antenas de varios elementos de éstos, obteniendo en todos los casos una radiación omnidireccional.

Por lo expuesto anteriormente y tras un prolijo y metódico procedimiento de medida, realizado necesariamente con el equipo adecuado y en un campo de pruebas que sobre todo no esté contaminado de señales no deseadas provenientes de los medios de difusión comercial, se consiguen los datos que se expresan en la tabla 3.1. a y b, que son los datos que nos permiten representar claramente un diagrama de radiación individual, tanto horizontal como vertical para las antenas del tipo "Radiador FM", expresándolo en magnitudes relativas referidas a la unidad para una mejor comprensión.

En base a los valores señalados, en la siguiente Fig. 3.6 podremos representar en forma gráfica los diagramas horizontal y vertical de un juego de 4 antenas tipo "Radiador FM".

a) PATRON HORIZONTAL:

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	0.84	90	0.86	180	1	270	0.86
5	0.842	95	0.835	185	0.993	275	0.887
10	0.846	100	0.81	190	0.985	280	0.904
15	0.85	105	0.79	195	0.97	285	0.92
20	0.864	110	0.774	200	0.943	290	0.93
25	0.872	115	0.768	205	0.91	295	0.933
30	0.884	120	0.76	210	0.88	300	0.938
35	0.9	125	0.768	215	0.85	305	0.938
40	0.914	130	0.782	220	0.824	310	0.938
45	0.93	135	0.798	225	0.798	315	0.93
50	0.938	140	0.824	230	0.782	320	0.914
55	0.938	145	0.85	235	0.768	325	0.9
60	0.938	150	0.88	240	0.76	330	0.884
65	0.933	155	0.91	245	0.768	335	0.872
70	0.93	160	0.943	250	0.774	340	0.864
75	0.92	165	0.97	255	0.79	345	0.85
80	0.904	170	0.985	260	0.81	350	0.846
85	0.887	175	0.993	265	0.835	355	0.842

b) PATRON VERTICAL:

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	0.25	90	1	180	0.25	270	1
5	0.24699754	95	0.933760818	185	0.24699754	275	0.93376082
10	0.23696991	100	0.751151802	190	0.23696991	280	0.7511518
15	0.21707507	105	0.495170348	195	0.21707507	285	0.49517035
20	0.18334721	110	0.221970231	200	0.18334721	290	0.22197023
25	0.13196398	115	0.01568505	205	0.13196398	295	0.01568505
30	0.06111698	120	0.181635633	210	0.06111698	300	0.18163563
35	0.02668973	125	0.262256263	215	0.02668973	305	0.26225626
40	0.1224485	130	0.264642129	220	0.1224485	310	0.26464213
45	0.20950685	135	0.209506848	225	0.20950685	315	0.20950685
50	0.26464213	140	0.122448503	230	0.26464213	320	0.1224485
55	0.26225626	145	0.026689728	235	0.26225626	325	0.02668973
60	0.18163563	150	0.06111698	240	0.18163563	330	0.06111698
65	0.01568505	155	0.131963982	245	0.01568505	335	0.13196398
70	0.22197024	160	0.183347208	250	0.22197024	340	0.18334721
75	0.49517035	165	0.217075068	255	0.49517035	345	0.21707507
80	0.75115181	170	0.236969915	260	0.75115181	350	0.23696992
85	0.93376082	175	0.246997544	265	0.93376082	355	0.24699754

Tabla 3.1.- Datos medidos para representar un arreglo de 4 antenas tipo "Radiador FM"

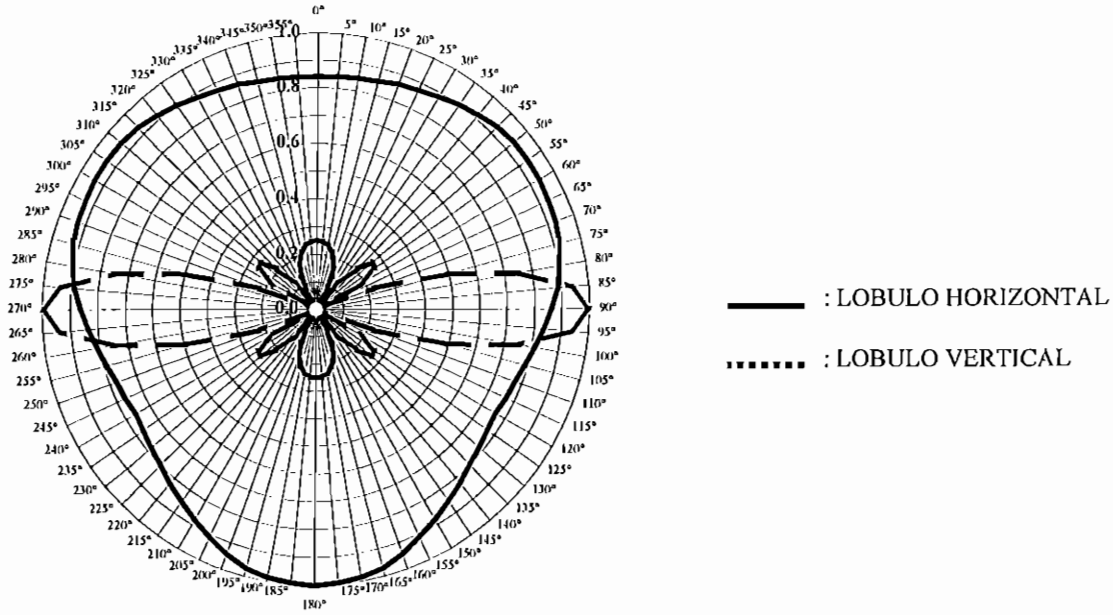


Fig. 3.6.- Representación gráfica de los diagramas horizontal y vertical del "Radiador FM"

Esta información a más de otros datos complementarios puede ser resumida en el siguiente cuadro de características técnicas propias del arreglo de 4 antenas tipo "Radiador FM"

Rango de Frecuencia:	Sintonizadas en fábricas
	a un canal de la banda 88 – 108 MHz.
Ganancia del arreglo:	3.3 dB
Capacidad de Potencia:	c.c. tipo "N" : 600 W.
	c.c. tipo DIN 6/16 : 1.8 KW.
	c.c. tipo flange EIA 7/8": 3.0 KW.
VSWR:	< 1,2 : 1
	a la frecuencia de sintonía /ancho de banda 200 KHz.
Impedancia de entrada:	50 Ohms.
Polarización :	Circular / Cruzada
	50% vertical
	50% horizontal
Carga de viento:	Diseñada para 50/33 psf, (112 MPH)

3.1.10.- ANTENAS DE TV EN VHF TIPO "DIEDRO 90°":

En lo relacionado con las antenas para TV en VHF, vamos a considerar aquellas que igualmente se fabrica localmente del tipo corner reflector, y que son empleadas en mas del 90 % de la totalidad de estaciones de televisión que operan en el país.

Esta antena conocida como diédrica tiene particulares características de radiación, lo que le ha valido para ser la preferida en coberturas que requieren un gran alcance, debido a su excelente ganancia y directividad, consiguiendo con ello satisfactorios resultados al operar con transmisores generalmente de baja potencia, lográndose un alto rendimiento en cobertura tras la elección de un adecuado arreglo de antenas.

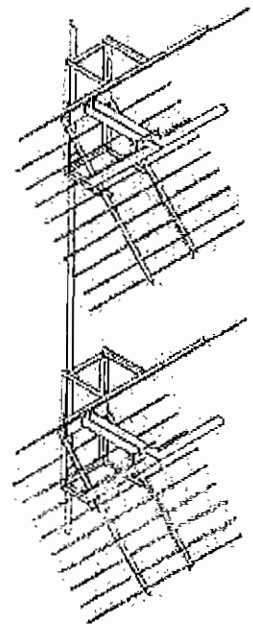


Fig. 3.7.- Antena corner reflector de 90° (diédrica)

El ángulo de apertura de la pantalla reflectora es de 90° y opera con polarización horizontal cumpliendo con la siguiente función para su Intensidad de Campo Eléctrico.

$$E(\theta) = 2E_0 \cdot \left[Cos(S_r Cos\theta) - Cos(S_r Sen\theta)\right] \quad ; \quad -\frac{\pi}{4} \le \theta \le \frac{\pi}{4} \qquad (3)$$

donde:

E_0 = Campo debido al elemento radiante de longitud λ/2

S_r = espacio entre el elemento y el vértice del diedro, = 2π (S/λ)

Los diagramas de radiación horizontal y vertical individuales de la antena tipo corner reflector fabricadas localmente, modelo EX-CR- para las dos bandas de televisión en VHF (Banda I y Banda III) están representados en la Fig. 3.8.

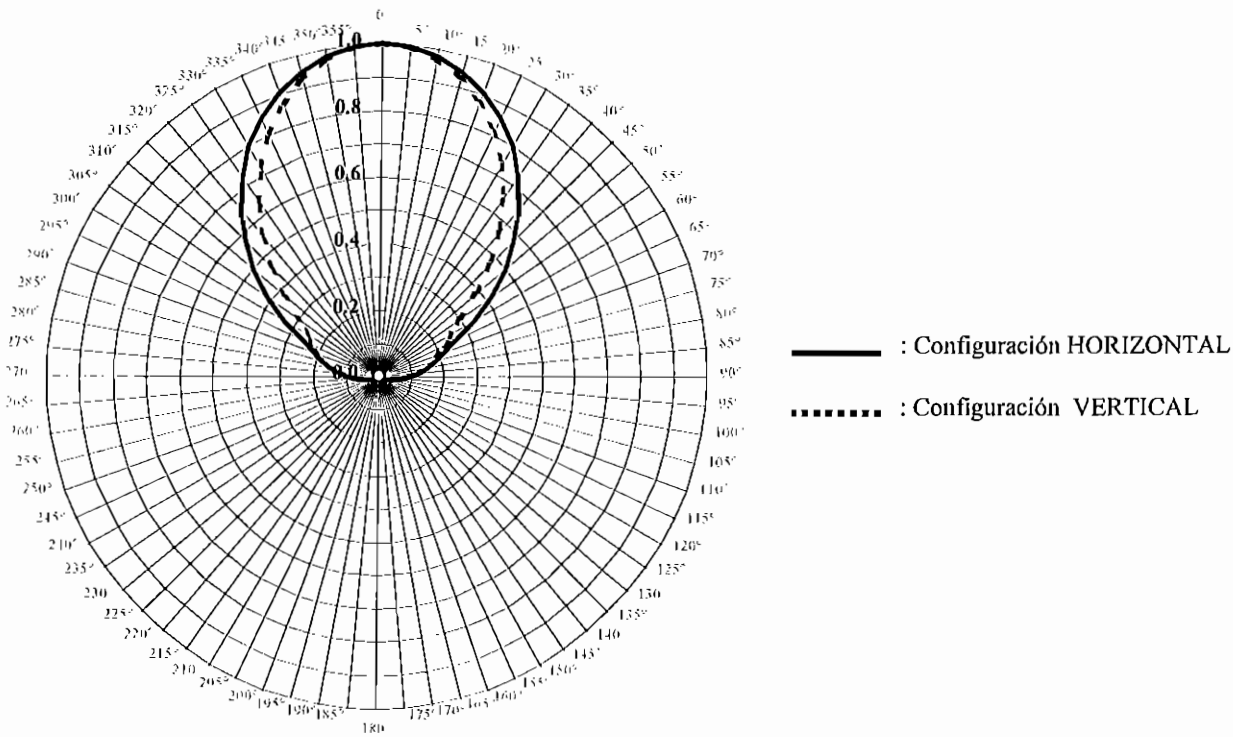


Fig. 3.8.- Representación gráfica de los diagramas (ideales) horizontal y vertical del "Diedro 90º"

Los datos medidos que permiten representan estos diagramas y que serán útiles para el cálculo de los arreglos con este tipo de antena, se resumen en las tablas 3.2. a) y 3.2. b)

(3) Antennas / John D. Kraus / segunda edición Pg.551

a) PATRON HORIZONTAL :

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	1	90	0.09701	180	0	270	0.09701
5	0.99392	95	0.07218	185	0	275	0.12433
10	0.9758	100	0.0507	190	0	280	0.15305
15	0.94604	105	0.03313	195	0	285	0.18186
20	0.90527	110	0.01967	200	0	290	0.20939
25	0.85436	115	0.01021	205	0	295	0.25207
30	0.79442	120	0.0043	210	0	300	0.32988
35	0.72675	125	0.00125	215	0	305	0.41091
40	0.65284	130	0.00015	220	0	310	0.49307
45	0.57435	135	0	225	0	315	0.57435
50	0.49307	140	0	230	0.00015	320	0.65284
55	0.41091	145	0	235	0.00125	325	0.72675
60	0.32988	150	0	240	0.0043	330	0.79442
65	0.25207	155	0	245	0.01021	335	0.85436
70	0.20939	160	0	250	0.01967	340	0.90527
75	0.18186	165	0	255	0.03313	345	0.94604
80	0.15305	170	0	260	0.0507	350	0.9758
85	0.12433	175	0	265	0.07218	355	0.99392

b) PATRON VERTICAL :

ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx
0	1	90	0.07879	180	0	270	0.07879
5	0.99165	95	0.05537	185	0	275	0.10596
10	0.96688	100	0.03632	190	0	280	0.13578
15	0.92657	105	0.02186	195	0	285	0.16682
20	0.8721	110	0.01173	200	0	290	0.19739
25	0.80539	115	0.00536	205	0	295	0.22565
30	0.72873	120	0.00191	210	0	300	0.24985
35	0.64477	125	0.00044	215	0	305	0.29437
40	0.55636	130	3.4E-05	220	0	310	0.37822
45	0.46652	135	0	225	0	315	0.46652
50	0.37822	140	0	230	3.4E-05	320	0.55636
55	0.29437	145	0	235	0.00044	325	0.64476
60	0.24985	150	0	240	0.00191	330	0.72873
65	0.22565	155	0	245	0.00536	335	0.80539
70	0.19739	160	0	250	0.01173	340	0.8721
75	0.16682	165	0	255	0.02186	345	0.92657
80	0.13578	170	0	260	0.03632	350	0.96688
85	0.10596	175	0	265	0.05537	355	0.99165

Tabla 3.2.- Cuadro de datos medidos que representar a la antena tipo "Diedro 90°"

Esta información puede ser resumida en el siguiente cuadro de características técnicas propias de la antena tipo "Diedro 90º" ó "Corner Reflector"

Rango de Frecuencia:	Sintonizada en fábrica en un canal de la Banda I ó la banda III
Ganancia individual:	8 dB
Capacidad de Potencia:	c.c. tipo "N" : 600 W.
	c.c. tipo flange EIA 7/8" : 2,5 Kw.
VSWR:	< 1,2 : 1 a la frecuencia del canal / ancho de banda de 6 MHz.
Impedancia de entrada:	50 Ohms.
Polarización :	Horizontal
Carga de viento:	50/30 psf (100 MPH)

3.1.11.- ANTENAS DE TV EN UHF TIPO "PANEL DE 4 DIPOLOS":

Para las aplicaciones en televisión UHF (Bandas IV y V) tradicionalmente se utilizan las antenas del tipo panel, las que por diseño son de banda ancha y presentan polarización horizontal y buena ganancia en base a un arreglo de 4 dipolos en línea, representados en la figura 3.9. Se fabrican también paneles que emplean polarización vertical pero no son utilizados en nuestro medio.

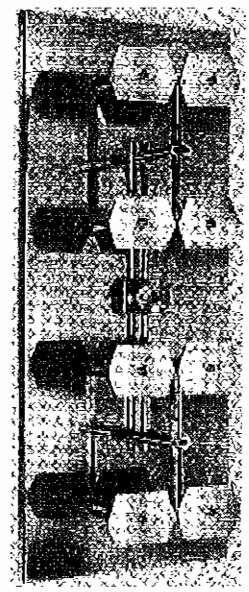


Fig. 3.9.- Antena tipo "Panel de UHF" de 4 dipolos / polarización horizontal.

Para el análisis correspondiente se considerarán las antenas fabricadas por RYMSA mod. AT15-240 por ser las de mayor acogida en nuestro medio, a más de contar con un muy reconocido prestigio a nivel mundial.

Los diagramas de radiación unitarios para las diferentes antenas de este fabricante están simuladas en base a la siguiente expresión sinusoidal general:

$$E = E_0 \cdot (\text{Sen}\ \theta)^{ev} \cdot (\text{sen}\ \varphi)^{eh} \qquad (4)$$

Donde **ev** y **eh** son particulares para cada uno de sus modelos de antenas, y para el caso específico de los paneles UHF les corresponden los siguientes valores experimentales, dependiendo éstos de la frecuencia de trabajo.

Frecuencia : (MHz.)														
	470	500	525	550	580	610	630	660	690	730	760	790	820	850
ev	7.8	8.3	8.8	9.4	10.1	11	11.6	12.6	13.7	15.7	17.2	19.2	21.3	24
eh	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2	2	2	2	2

Con respecto a la aplicación de la función sinusoidal utilizada por RYMSA, será necesario citar lo que sostiene al respecto: "La fiabilidad de los cálculos ha quedado comprobada al coincidir los resultados obtenidos mediante ordenador, con las medidas del campo de ensayo de antenas."

Los diagramas de radiación horizontal y vertical individuales de la antena tipo panel RYMSA mod. AT15-240 para las dos bandas de televisión en UHF (Banda IV y Banda V) están representados en la Fig. 3.10

(4) RYMSA / Doc. No. : MSO-SRCV4-95247 / Pg. 14

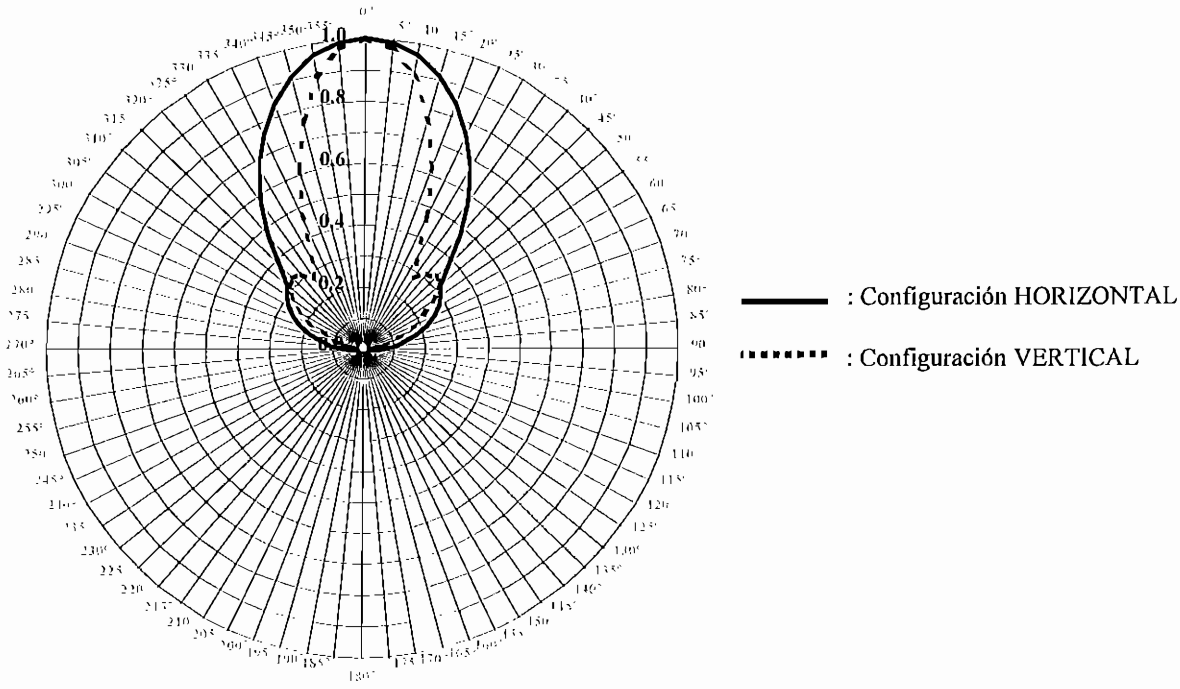


Fig. 3.10.- Representación gráfica de los diagramas horizontal y vertical del "Panel UHF"

Para la mejor comprensión de la función sinusoidal que generaliza el comportamiento de este tipo de antenas, resulta conveniente desarrollar el siguiente ejemplo práctico para la frecuencia del canal de televisión Ch 21 / UHF que opera en el rango: 512 - 518 MHz., quedando esta función general en los siguientes términos :

$$E = E_0 \cdot (\text{Sen}\ \theta)^{8.3} \cdot (\text{sen}\ \varphi)^{2.3}$$

Y para conseguir la configuración horizontal o vertical se variará el ángulo φ mientras $\theta = \pi/2$ o el ángulo θ mientras $\varphi = \pi/2$ respectivamente.

Los datos medidos que configuran este patrón de radiación se presentan en la tabla de valores 3.3 y corresponderán a la antena unitaria que a la postre configurará cualquiera de los arreglos que se requiera implementar.

a) PATRON HORIZONTAL :

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	1	90	0.07249	180	0	270	0.07249
5	0.98938	95	0.04811	185	0	275	0.10228
10	0.95804	100	0.02948	190	0	280	0.13645
15	0.90749	105	0.01633	195	0	285	0.17334
20	0.84016	110	0.00793	200	0	290	0.21077
25	0.75923	115	0.00319	205	0	295	0.24624
30	0.66848	120	0.00096	210	0	300	0.27719
35	0.57203	125	0.00017	215	0	305	0.30125
40	0.47414	130	8.9E-06	220	0	310	0.31652
45	0.37893	135	0	225	0	315	0.37893
50	0.31652	140	0	230	8.9E-06	320	0.47414
55	0.30125	145	0	235	0.00017	325	0.57203
60	0.27719	150	0	240	0.00096	330	0.66847
65	0.24624	155	0	245	0.00319	335	0.75923
70	0.21077	160	0	250	0.00793	340	0.84016
75	0.17334	165	0	255	0.01633	345	0.90749
80	0.13645	170	0	260	0.02948	350	0.95804
85	0.10228	175	0	265	0.04811	355	0.98938

b) PATRON VERTICAL :

ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx	ϕ°	E/Emáx
0	1	90	0.01282	180	0	270	0.01282
5	0.9707	95	0.00528	185	0	275	0.02698
10	0.88744	100	0.00183	190	0	280	0.05033
15	0.76306	105	0.00051	195	0	285	0.08444
20	0.61559	110	0.00011	200	0	290	0.12888
25	0.46425	115	1.5E-05	205	0	295	0.18042
30	0.32564	120	1.1E-06	210	0	300	0.23307
35	0.27905	125	2.7E-08	215	0	305	0.27905
40	0.31054	130	4.5E-11	220	0	310	0.31054
45	0.32175	135	0	225	0	315	0.32175
50	0.31054	140	0	230	4.5E-11	320	0.31054
55	0.27905	145	0	235	2.7E-08	325	0.27905
60	0.23307	150	0	240	1.1E-06	330	0.32564
65	0.18042	155	0	245	1.5E-05	335	0.46425
70	0.12888	160	0	250	0.00011	340	0.61559
75	0.08444	165	0	255	0.00051	345	0.76306
80	0.05033	170	0	260	0.00183	350	0.88744
85	0.02698	175	0	265	0.00528	355	0.9707

Tabla 3.3.- Cuadro de datos medidos que representan a la antena RYMSA tipo "Panel UHF"

Esta información puede ser resumida en el siguiente cuadro de características técnicas propias de la antena tipo "Panel UHF"

Rango de Frecuencia:	470-860 / Banda Ancha para toda la Banda IV y V
Ganancia del panel:	12 dB
Capacidad de Potencia:	c.c. tipo DIN 7/16 : 1 KW.
	c.c. tipo DIN 13/39 : 4 KW.
VSWR:	< 1,1 : 1 a cualquier frecuencia dentro de la banda
Impedancia de entrada:	50 Ohms.
Polarización :	Horizontal
Carga de viento:	a 200 Km/h ; frontal = 1.275 N
	lateral = 400 N

Y para protegerla de las condiciones atmosféricas extremas como nieve y hielo, esta antena viene recubierta exteriormente con un radomo lo que le permite operar en cualquier clima, se la se muestra en la figura 3.11

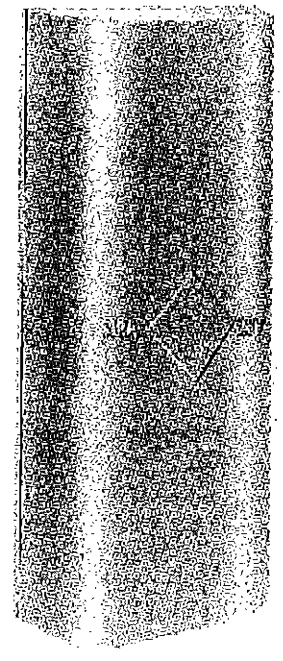


Fig. 3.11.- Antena tipo "Panel UHF" con recubrimiento de Radomo.

3.2.- LÓBULO DE RADIACIÓN HORIZONTAL DE UN ARREGLO FM CON PANTALLA.-

ANTENAS DE TIPO PANEL EN GENERAL Ó DIPOLOS CON PANTALLA REFLECTORA :

En ondas métricas (bandas I , II y III) y particularmente en ondas decimétricas (bandas IV y V), las dimensiones de los sistemas radiantes elementales son lo suficientemente pequeñas como para que el diseño de un sistema de antenas completo, se lo haga utilizando elementos en configuraciones particulares diseñadas por cada fabricante.

Los denominados paneles ó antenas con panel reflector se fabrican constituyendo arreglos complejos con sistemas radiantes elementales, de esta forma, el ingeniero de diseño puede utilizar dichos paneles como "ladrillos de construcción" para constituir el sistema de antena definitivo.

Esta técnica se utiliza ampliamente como ya se mencionó antes, en el diseño de sistemas de antenas en ondas métricas y decimétricas, ya que permite un mejor control y optimización de los diagramas de radiación de los mismos y, por lo tanto, una mayor eficacia en la utilización de la potencia radiada y economía en el diseño del conjunto llamado Sistema Radiante.

Un panel puede constar de un solo dipolo separado a una distancia predeterminada de un plano reflector (generalmente $\lambda/4$), o en el caso de arreglos más complicados, de 2, 4 ó más radiantes elementales de banda estrecha o de banda ancha, polarizados lineal o circularmente.

Los fabricantes optimizan los paneles con relación a:

- ganancia,
- diagrama de radiación,
- pérdidas de retorno,
- impedancia,
- banda de frecuencia de trabajo.

Los parámetros utilizados en la optimización son :

- estructura física de los elementos radiantes,
- separación entre los elementos radiantes,
- distancia de los elementos radiantes al reflector (y en algunos casos la forma del reflector),
- sistema de alimentación,
- control de fase,
- control de potencia.

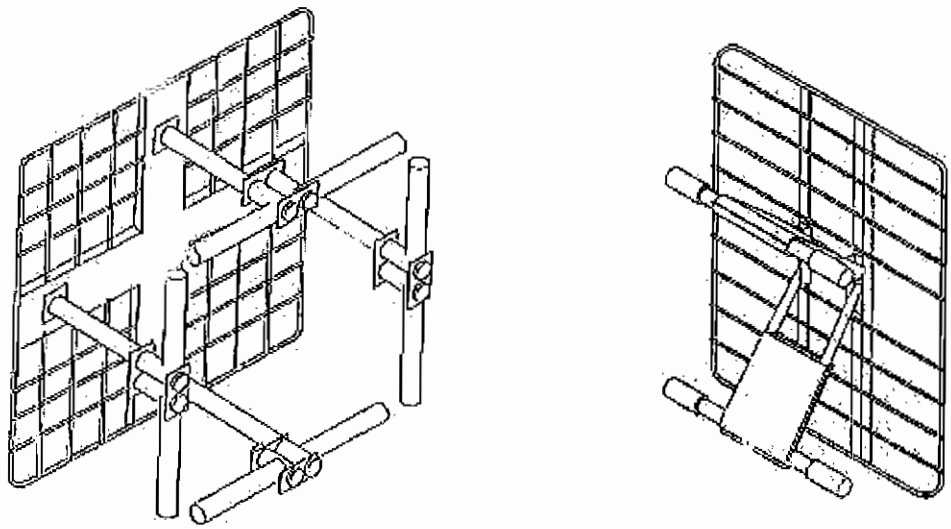


Fig. 3.12.- Antenas con pantalla reflectora para FM y TV

Una característica muy importante del diseño de los sistemas de antenas de panel es la posibilidad de funcionamiento en banda ancha. A menudo se requiere que el mismo sistema de antena radie simultáneamente más de un programa. Es el caso típico de estaciones transmisoras pertenecientes a una red de

radiodifusión que han de proporcionar dos o tres programas a una zona determinada, generalmente en canales muy separados en frecuencia.

Un ejemplo de esto lo tenemos en cuatro estaciones de radio FM que brindan servicio a la ciudad de Quito, operando en las frecuencias: 90,1 ; 93,7 ; 96,1 y 98,5 MHz., comparten un único sistema radiante RYMSA compuesto por 8 antenas tipo Back Cavity mod. AT12-572 en una configuración bidireccional.

Podemos concluir que las limitaciones son menos exigentes en la radiodifusión sonora de FM en la Banda II (88-108 MHz.), en la cual la anchura de banda requerida es tan solo del ± 10 % de la frecuencia central, pero afecta de manera importante en el caso de TV y particularmente al diseño de los paneles de UHF necesarios para cubrir totalmente las Bandas IV y V (470-960 MHz.).

En estos casos es preciso un diseño muy cuidadoso de los sistemas radiantes elementales para reducir el factor Q de su circuito equivalente, aunque por otro lado, podría ser preferible racionar el espectro de operación de la antena al menos en dos rangos definidos de operación, con la finalidad de no desmejorar el rendimiento de la antena por abarcar toda la banda.

Esta reducción del factor Q se consigue generalmente utilizando elementos radiantes con gran superficie o sección, en la que la forma de los dipolos en $\lambda/2$ es circular o poligonal como se muestra en la Fig. 3.12

En el caso de las antenas de FM producidas localmente, se dispone de unas modelo EX-FM-P que se diferencian de las convencionales por disponer de una pantalla plana reflectora colocada a una distancia $\lambda/4$, con lo que obtiene un lóbulo de radiación horizontal dirigido que concentra toda su energía en una única dirección de máxima radiación.

En la Fig. 3.13 se representa el diagrama horizontal de la antena tipo "Radiador FM con Pantalla" fabricada localmente.

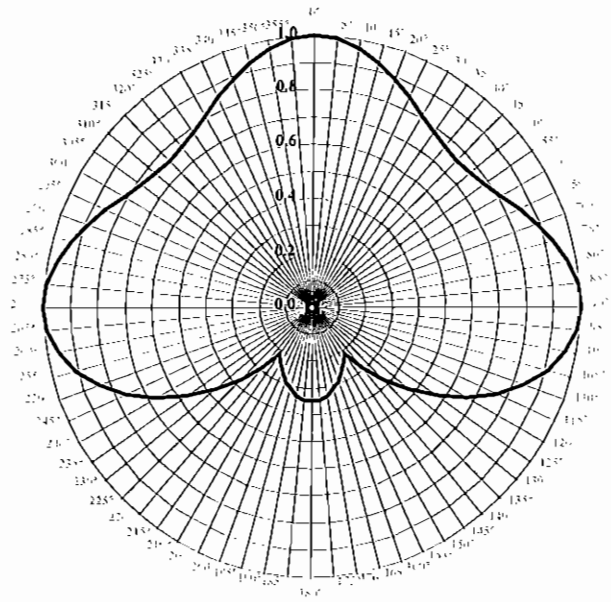


Fig. 3.13.- Diagrama horizontal del Radiador de FM con pantalla reflectora

Los datos que configuran este patrón de radiación se presentan en la tabla de valores 3.4 y corresponderá a la antena unitaria que configurará cualquiera de los arreglos que se requiera implementar.

PATRON HORIZONTAL :

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	1	90	1	180	0.34483	270	1
5	0.99046	95	0.98938	185	0.34117	275	0.99046
10	0.96547	100	0.95804	190	0.33036	280	0.96547
15	0.93021	105	0.90749	195	0.31293	285	0.93021
20	0.88974	110	0.84016	200	0.28971	290	0.88974
25	0.8489	115	0.75923	205	0.2618	295	0.8489
30	0.81206	120	0.66848	210	0.23051	300	0.81206
35	0.78292	125	0.57203	215	0.21089	305	0.78292
40	0.76427	130	0.47415	220	0.29013	310	0.76427
45	0.75786	135	0.37893	225	0.37893	315	0.75786
50	0.76427	140	0.29013	230	0.47414	320	0.76427
55	0.78292	145	0.21089	235	0.57203	325	0.78292
60	0.81206	150	0.23051	240	0.66847	330	0.81206
65	0.8489	155	0.2618	245	0.75923	335	0.8489
70	0.88974	160	0.28971	250	0.84016	340	0.88974
75	0.93021	165	0.31293	255	0.90749	345	0.93021
80	0.96547	170	0.33036	260	0.95804	350	0.96547
85	0.99046	175	0.34117	265	0.98938	355	0.99046

Tabla 3.4.- Cuadro de datos medidos de la antena tipo "Radiador FM con Pantalla"

Esta información puede ser resumida en el siguiente cuadro de características técnicas propias de un arreglo de 4 antenas tipo "Radiador FM con Pantalla Reflectora":

Rango de Frecuencia:	Sintonizada en fábrica
	a un canal en la banda 88 – 108 MHz.
Ganancia del arreglo:	5.6 dB.
Capacidad de Potencia:	c.c. tipo "N" : 600 W.
VSWR:	< 1,2 : 1
	a la frecuencia de sintonía / ancho de banda 200 KHz.
Impedancia de entrada:	50 Ohms.
Polarización :	Circular / Cruzada
	50% vertical
	50% horizontal
Carga de viento:	Diseñada para 50/33 psf, (112 MPH)

3.3.- SIMULACIÓN DE DOS, TRES O CUATRO LÓBULOS PRINCIPALES A LOS LADOS DE UNA TORRE CUADRADA.-

En este tipo de arreglos excluiremos varios de los modelos de antenas con patrón de radiación omnidireccional que principalmente operan en el rango de FM. Para este caso será necesario considerar la configuración de arreglos de antenas en dos, tres y hasta cuatro direcciones (caras de la torre), que en el caso de disponer de antenas hacia las cuatro direcciones podrá representar a la postre, la obtención de un diagrama omnidireccional de cobertura, en base a la utilización de antenas directivas.

Partiremos de la consideración que tanto las antenas tipo panel para TV en UHF y las antenas tipo diédricas para TV en VHF están convenientemente diseñadas y tienen un diagrama de radiación unidireccional, con el haz principal en

el plano bisectriz en el primer caso y perpendicular a la unión de los dos planos reflectores en el segundo.

Si se desea un diagrama de radiación omnidireccional, la anchura del haz a 6 dB para paneles o diedros montados en torres de sección cuadrada o triangular, debe ser de 90º ó 120º respectivamente.

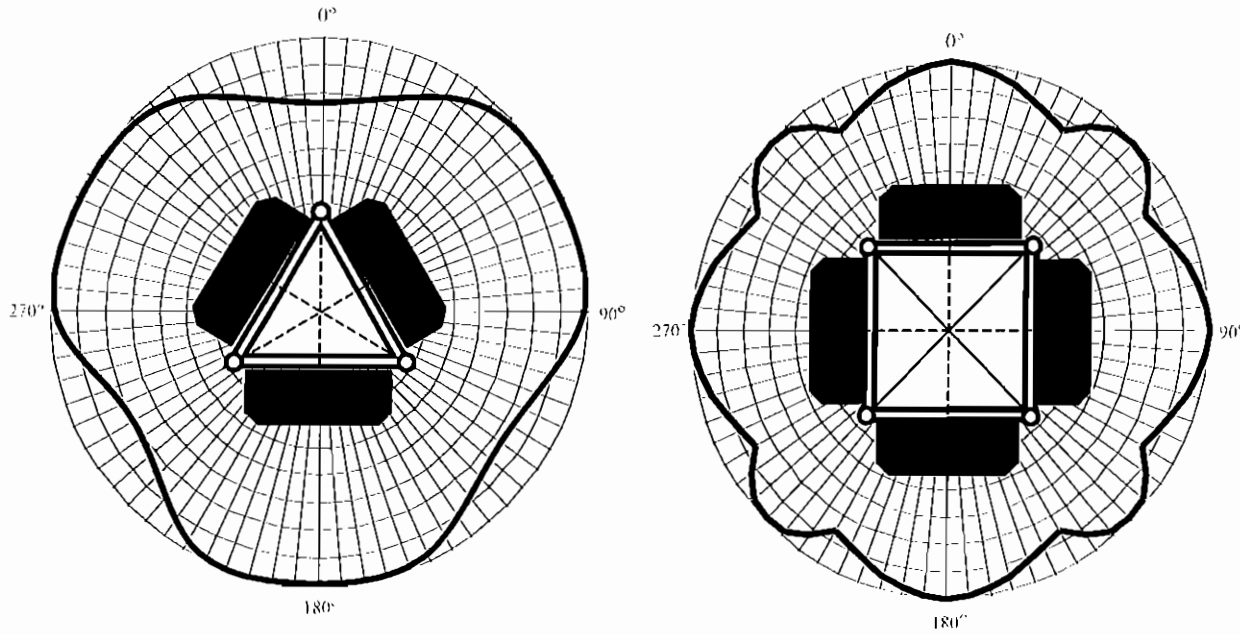


Fig. 3.14.- Montaje omnidireccional en torre de sección cuadrada y triangular

Así, cuando los paneles se excitan con corrientes de igual fase, la radiación combinada de los paneles adyacentes en la dirección de yuxtaposición de los diagramas compensa la reducción de ganancia del panel individual hacia la esquina, existiendo por tanto radiación en aquella dirección intermedia como se muestra en la Fig. 3.14

3.3.1.- SISTEMAS OMNIDIRECCIONALES CON ANTENAS DE PANEL:

Se puede conseguir que el sistema de antenas obtenga un diagrama de radiación omnidireccional, excitando con la misma potencia los paneles de cada sección horizontal de la red, los cuales estarán montados en el centro de los lados de la torre, tal como se muestra en la Fig. 3.15

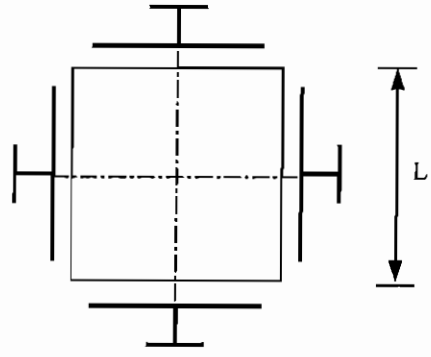


Fig. 3.15.- Sección de una torre cuadrada que muestra los paneles montados en sus laterales.

No obstante, el diagrama de radiación horizontal presentará un "rizado" cuya amplitud la podemos notar como R (en dB) , y es proporcional a la longitud de los lados de la torre, expresada en longitudes de onda. En la Fig. 3.16 se expresa esta relación.

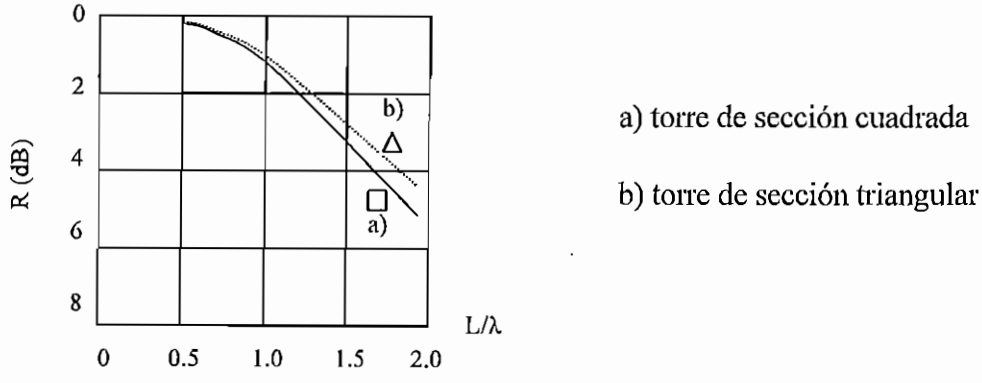


Fig. 3.16.- Relación R de máximo a mínimo, en función de la longitud del lado de la torre L

Por tanto, cuando se diseñan sistemas de antenas con paneles para conseguir un diagrama de radiación omnidireccional han de cumplirse los siguientes requisitos básicos:

- las irregularidades del diagrama en acimut resultante de la radiación de los cuatro paneles (o tres según sea la sección de la torre), deben de estar dentro de un límite especificado (por ejemplo: ± 1,5 dB);

- debe minimizarse la ROE (Relación de Ondas Estacionarias) a la entrada de cada panel, ya que cualquier desadaptación en las conexiones de alimentación provoca un reparto desigual de la potencia entre los distintos paneles, produciéndose un diagrama de radiación no circular.

Como puede apreciarse en la Fig. 3.16, la primera condición se cumple si los lados de la torre miden menos de un λ (menor que una longitudes de onda), registrándose valores de R menores que 1,5 dB para los dos casos de torres.

Por razones de índole mecánica puede no ser posible cumplir esta condición (sobre todo en ondas decimétricas), debiéndose aceptar entonces niveles superiores de rizado. No obstante, puede lograrse algunas mejoras utilizando técnicas de montaje diferentes, por ejemplo, paneles descentrados.

La Fig. 3.17 muestra el diagrama de radiación en el plano horizontal de un típico sistema radiante de paneles con montaje lateral, en ella puede determinarse que los mínimos del diagrama de radiación se producen en ambos lados de las direcciones de yuxtaposición de los diagramas, ya que la radiación de los paneles adyacentes (uno por lado) presenta en ellas un desplazamiento relativo de fase que produce un vector resultante de menor amplitud.

Para compensar dichos mínimos, los paneles pueden desplazarse horizontalmente a lo largo del lado de la torre (paneles descentrados), hasta que los paneles adyacentes requieran una diferencia de fase de 90º en las corrientes de excitación, para que éstos radien en fase en la dirección de yuxtaposición.

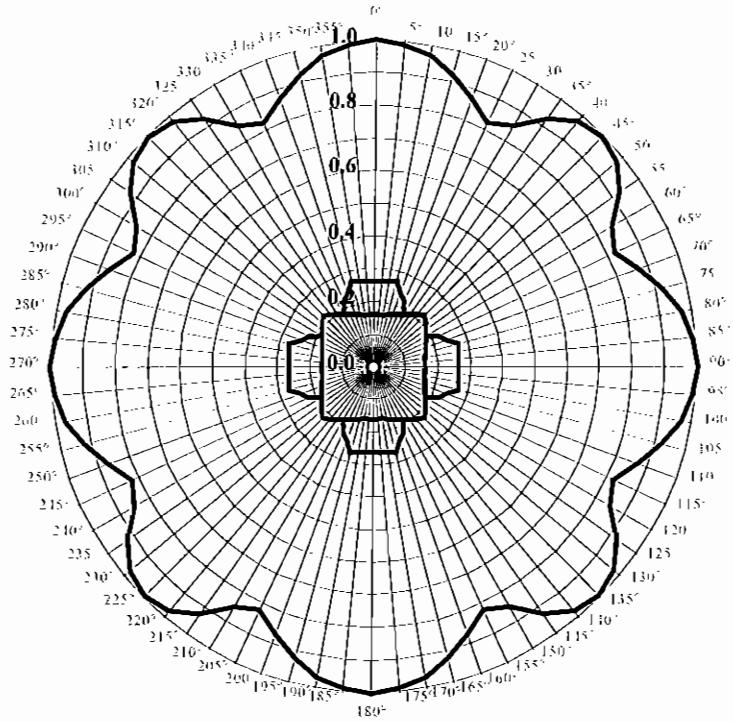


Fig. 3.17.- Diagrama de radiación horizontal de un sistema de antenas tipo panel

Este enfoque requiere un sistema de alimentación con "rotación de fase", que se realiza conectando los paneles laterales a los divisores de potencia de las correspondientes filas verticales de elementos, por medio de cables de longitudes diferentes (en torres cuadradas con fases de 0º , 90º, 180º y 270º por lado).

De esta forma adicionalmente se cancelan las posibles reflexiones en el divisor de potencia. La Fig. 3.18 muestra un típico arreglo de paneles descentrados con excitación en cuadratura, que corresponde a ser alimentados por caras adyacentes en forma circular con diferencia de fases en 90º.

La excitación en cuadratura es por tanto la diferencia de fases de alimentación (rotación de fase) en 90º para cada cara en el caso de operar con

torre cuadrada. Debiendo realizarse este proceso con suma precaución, ya que de no ser así puede afectar gravemente al diagrama de radiación horizontal.

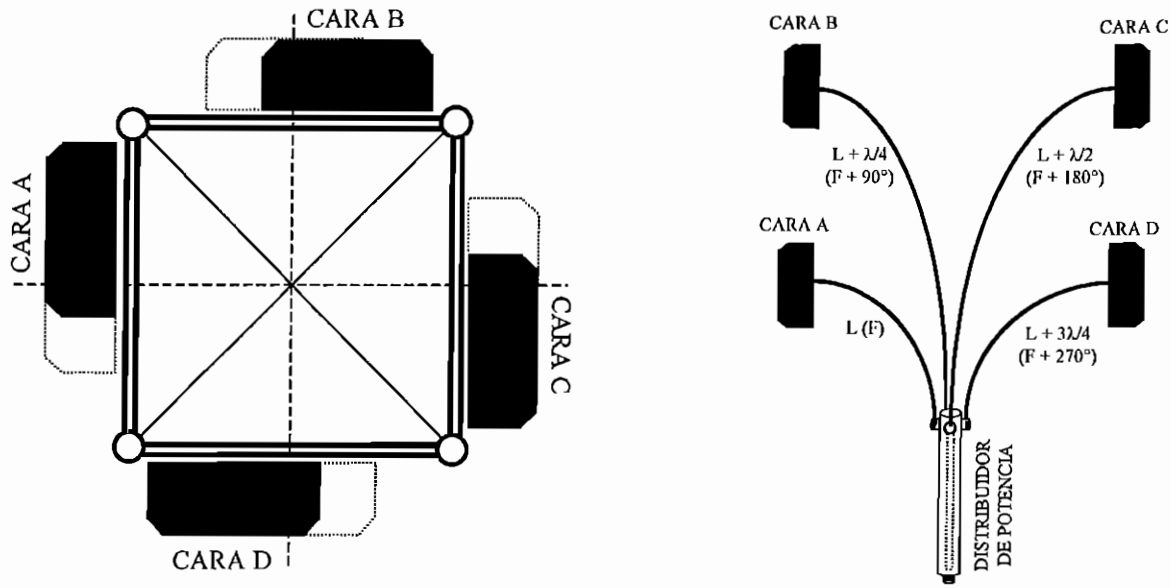


Fig. 3.18.- Arreglo de antenas de panel descentrado con alimentación en cuadratura

Como consecuencia de implementar este tipo de alimentación, se habrá cancelado adicionalmente la ROE en el divisor de potencia de las distintas filas verticales de elementos, y el reparto de la potencia entre las distintas ramas ahora dependerá sólo de la componente resistiva de la admitancia de cada una de ellas, ya que las componentes imaginarias se cancelaron debido a la alimentación en cuadratura.

Por tanto, cualquier desadaptación en la banda de frecuencia de operación entre cualquiera de los paneles y sus líneas de alimentación, causará un reparto desigual de la potencia y, por lo tanto, un diagrama de radiación más irregular, con una forma desordenada que varía con la frecuencia.

Este inconveniente puede evitarse parcialmente mediante técnicas de compensación, tal como la denominada "doble compensación" en la cual se sustituyen los divisores de potencia de las filas verticales de paneles adyacentes, por líneas de alimentación de longitudes adecuadas. No obstante, esta técnica de

compensación es solamente eficaz en una anchura de banda limitada (del orden del 20 al 25 % de la frecuencia central de trabajo), ya que la longitud eléctrica de las líneas de alimentación varían con la frecuencia de trabajo.

3.3.2.- SISTEMAS DIRECCIONALES CON ANTENAS DE PANEL :

En todos los casos podrá obtenerse un diagrama de radiación horizontal con configuración direccional, ya sea variando el número de paneles correspondientes a cada uno de los lados de la torre, desbalanceando la potencia suministrada a cada panel, variando la orientación relativa de los paneles o mediante una combinación de dichos métodos. La Fig. 3.19 muestra un diagrama de radiación horizontal direccional, realizado mediante un sistema de antena de 3 paneles en ondas métricas.

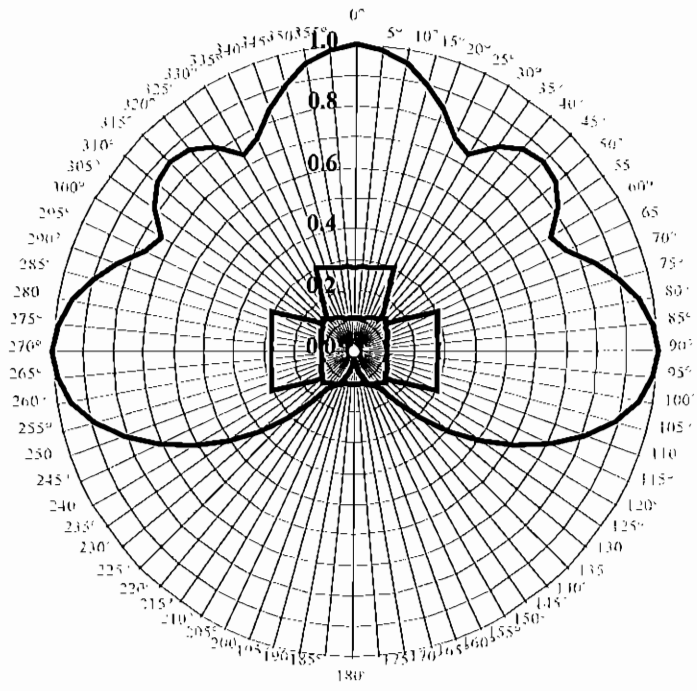


Fig. 3.19.- Diagrama de radiación horizontal direccional de un sistema de 3 paneles

La Fig. 3.20 muestra el diagrama de radiación horizontal direccional y el diagrama de radiación vertical obtenidos mediante un sistema de antena de 2 paneles de UHF en las bandas IV y V.

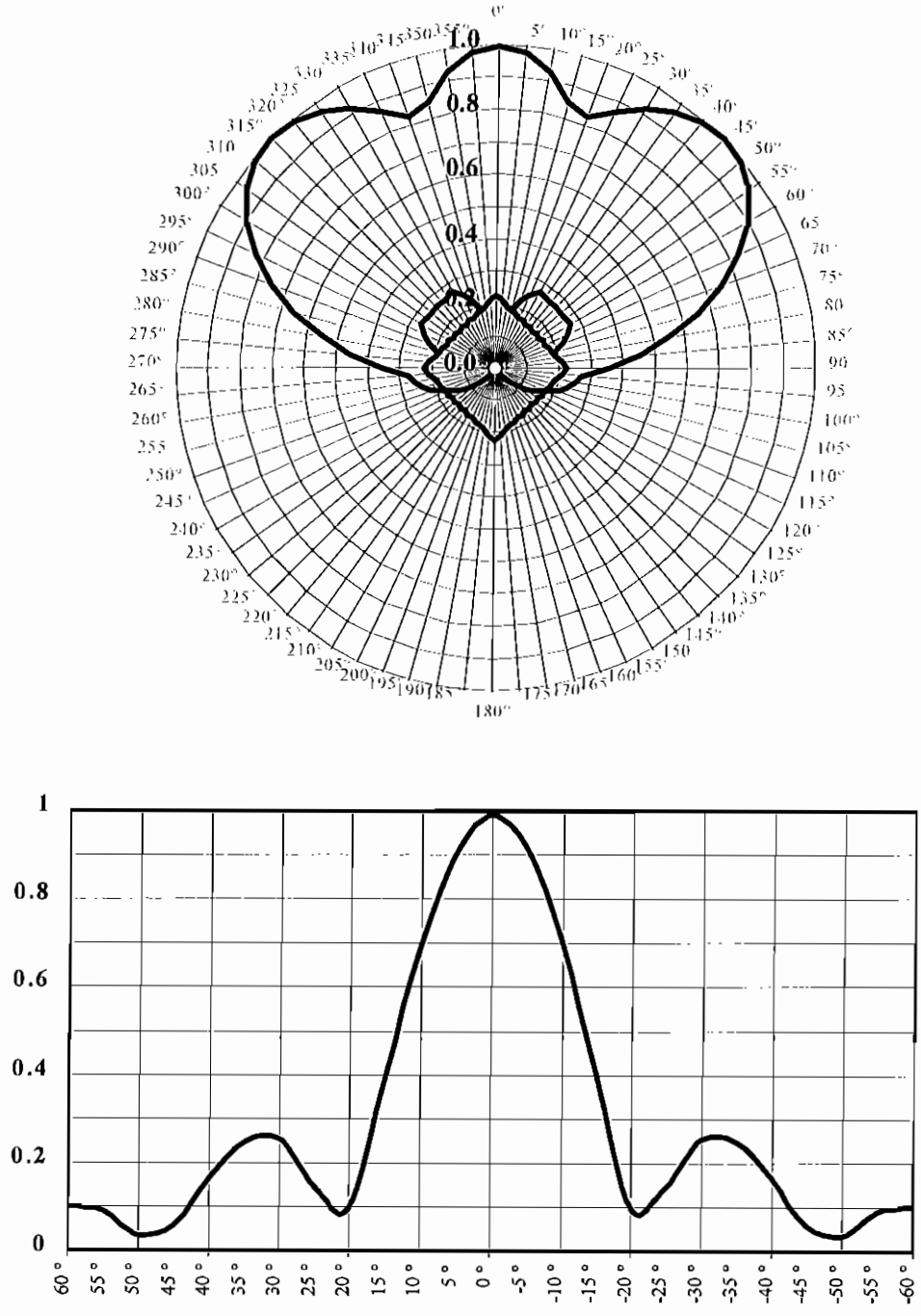


Fig. 3.20.- a) Diagrama de radiación horizontal direccional del sistema de 2 paneles UHF
b) Diagrama de radiación vertical

La Fig. 3.21. a) muestra el diseño esquemático para un sistema de antenas con paneles descentrados que dará como resultado un diagrama de radiación horizontal direccional, a pesar de contener antenas en los cuatro lados de la torre. El diagrama horizontal mostrado en la Fig. 3.19. b), es el obtenido de aplicar el anterior diseño y su direccionalidad se lo ha conseguido básicamente, mediante una alimentación de potencia desigual para los paneles de cada lado de la torre.

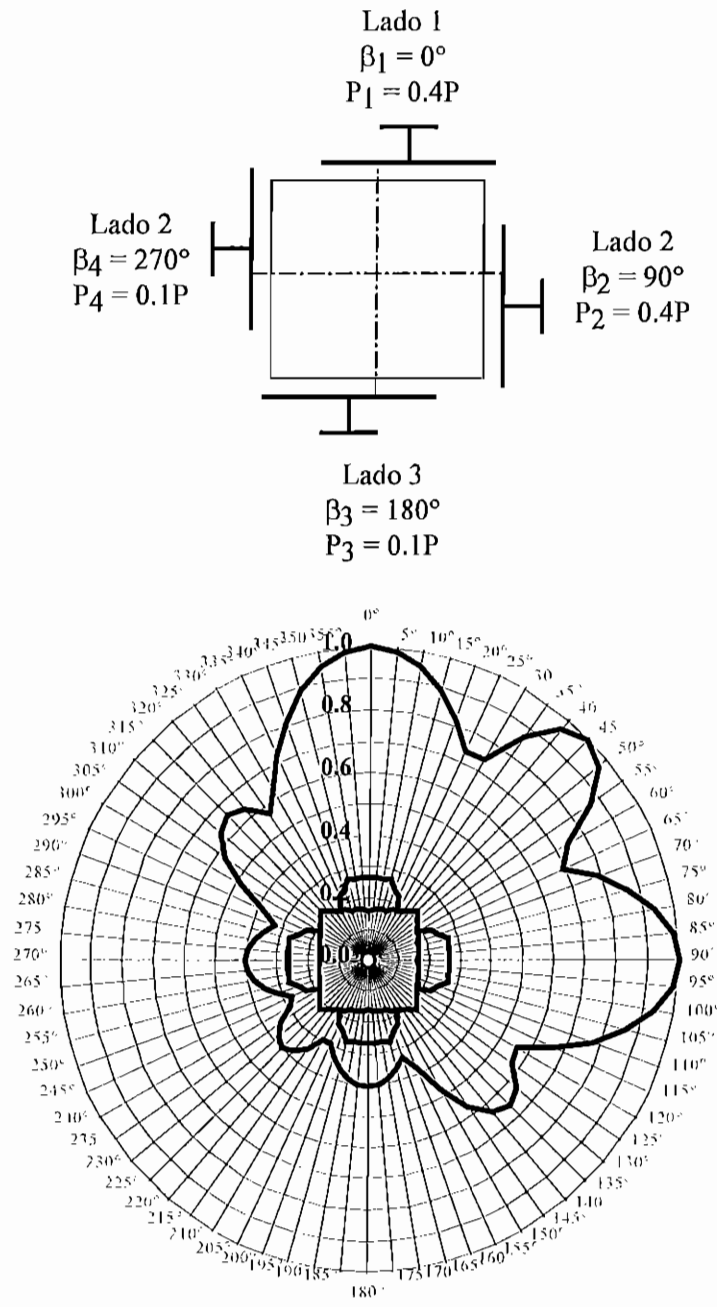


Fig. 3.21.a) Diseño de un arreglo direccional de paneles descentrados con alimentación en cuadratura
b) Diagrama de radiación horizontal resultante

Nótese además que el diseño tiene también un sistema de alimentación en cuadratura, con el propósito de eliminar la ROE, que a su vez complementa la utilización de los paneles descentrados.

En los casos en que las torres o mástiles tienen una gran sección transversal (mayor que 1,5 ó 2 longitudes de onda), las irregularidades que se producen en el diagrama de radiación horizontal pueden resultar excesivas, a pesar de aplicar el método de "paneles descentrados", para lo cual también existe otra solución técnica llamada de "paneles desviados" y que se aplica preferentemente cuando la sección de la torre es mayor que 2 longitudes de onda, circunstancia en que utilizar paneles montados lateralmente será inaceptable.

3.4.- LÓBULOS DE RADIACIÓN VERTICAL TÍPICOS PARA SISTEMAS RADIANTES EN FM, TV-VHF Y TV-UHF

3.4.1.- DIAGRAMA DE RADIACIÓN VERTICAL:

Se expone en primer lugar, la necesidad de conseguir la forma óptima teórica del diagrama de radiación vertical de un sistema de antenas, haciéndose posteriormente una descripción de la técnicas utilizadas para obtener dicha forma.

Sea un sistema de antena que consta de una fuente **A** no isótropa, sobre suelo plano, la intensidad de campo radiado en un punto **P** a una distancia **r** en el plano que contiene la dirección de máxima radiación, viene dada por:

$$E_\theta = k \cdot f(\theta) \cdot \frac{1}{r}$$

donde:

f (θ) : diagrama de radiación de la fuente **A**.

Sean $\mathbf{P}_1$ y $\mathbf{P}_2$ los límites de una sección a través de la zona de servicio que identifica un sector angular del diagrama de radiación vertical.

Sean $\mathbf{r}_1$ y $\mathbf{r}_2$ sus distancias respectivas a la fuente radiante **A**.

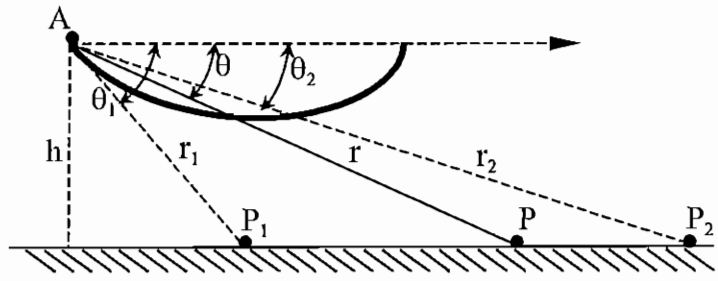


Fig. 3.22.- Diagrama de radiación vertical (sección inferior) de una antenas **A** situada a una altura **h** sobre el suelo.

Si se requiere el mismo valor de intensidad de campo eléctrico en todos los puntos de la zona de servicio (representada por distintos valores de **r**), entonces:

$$E(r) = \text{constante}$$

en consecuencia, a partir de la ecuación simplificada :

$$f(\theta) = k' r$$

en la figura 3.22 puede verse que:

$$r = \frac{h}{Sen\theta}$$

sustituyendo **r** se obtiene :

$$f(\theta) = k' \cdot \frac{h}{Sen\theta}$$

como **h** es una constante del sistema :

$$f(\theta) = \frac{k''}{Sen\theta}$$

Se desprende entonces que para tener una cobertura uniforme de la zona de servicio, el diagrama de radiación de amplitud relativo debe tener la forma de la función cosecante en el sector de interés del ángulo de elevación.

Esta conclusión es también válida para ángulos en el plano horizontal diferentes al de máxima radiación, y los diagramas de radiación vertical serán similares para todas las direcciones, es decir, se mantendrá la misma forma, aunque las amplitudes sean diferentes.

3.4.2.- ELIMINACIÓN DE NULOS:

En el sector angular correspondiente a la zona de servicio, el diagrama de radiación vertical no debe presentar ningún nulo, ya que ello significaría la existencia de puntos con intensidad de campo nula, en posiciones coincidentes con los ángulos a los que tiene lugar los nulos.

En la práctica, la intensidad de campo de la señal recibida en esos puntos será considerablemente menor de la requerida, ya que se produce reflexiones incontroladas procedentes de zonas exteriores a la correspondiente al nulo.

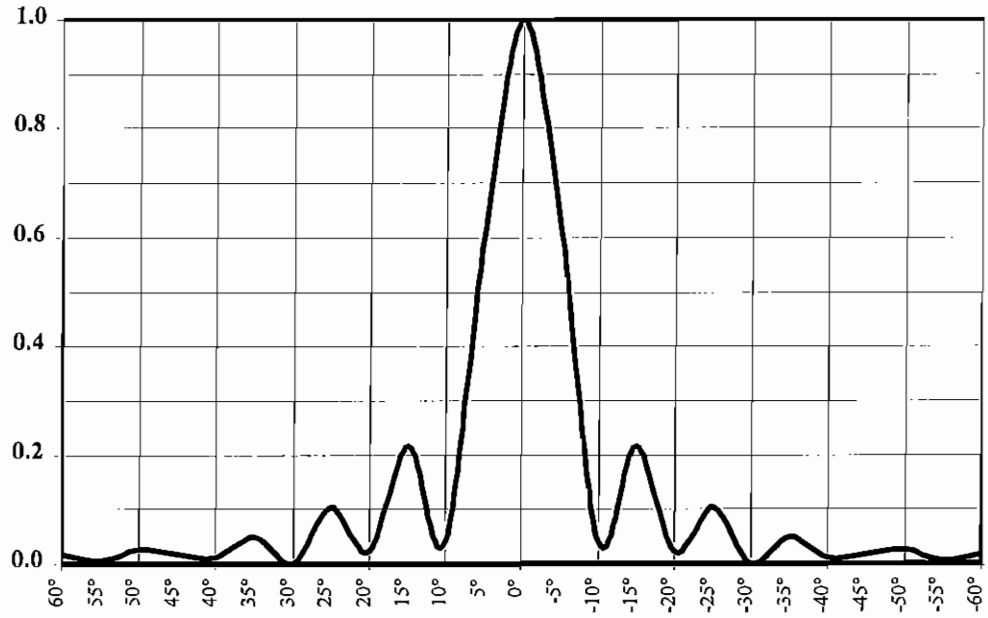


Fig. 3.23.- Diagrama de radiación vertical para una red de 5 radiantes separados 0,5 λ con igual corriente y fase

En la Fig. 3.23 se muestra un diagrama de radiación vertical típico para el caso de una agrupación vertical, de elementos radiantes uniformemente espaciados y excitados con corrientes de igual amplitud y fase (es decir, una red de radiación transversal). Puede verse que los nulos afectan a una parte importante del sector angular correspondiente a la zona de servicio.

Los ángulos a los que tienen lugar los nulos están dados por la siguiente formula aproximada:

$$\theta = \text{arctg}\,\frac{\pm k}{n.d}$$

donde :

k : numero de nulos (1,2,...),

n : numero de elementos apilados verticalmente,

d : separación, en longitudes de ondas, entre elementos.

Se han desarrollado varias técnicas de "eliminación de nulos" a fin de obtener diagramas verticales que se aproximen a la forma ideal antes descrita.

La solución mas sencilla y ampliamente utilizada, consiste en excitar a los distintos elementos agrupados verticalmente con corrientes de distintas amplitudes, es decir, con una adecuada distribución de potencia.

La "distribución binomial" es una técnica de distribución de potencia bien conocida y que fue desarrollada por J. S. Stone. En ella las amplitudes de las corrientes de excitación se fijan proporcionalmente a los coeficientes de una serie binomial de la forma:

$$(a+b)^{n-1} = a^{n-1} + (n-1)\, a^{n-2} b + \frac{(n-1)(n-2)}{2!} a^{n-3} b^{2} + \ldots$$

donde **n** es el numero de elementos radiantes.

Para redes de 3 a 6 elementos, las amplitudes relativas de las corrientes de excitación están dadas por:

n	amplitud relativa
3	1, 2, 1
4	1, 3, 3, 1
5	1, 4, 6, 4, 1
6	1, 5, 10, 10, 5, 1

En la Fig. 3.24 se muestra el diagrama de radiación vertical de la red de 5 elementos radiantes separados 0,5 λ de la Fig. 3.23 cuando se aplica una distribución binomial.

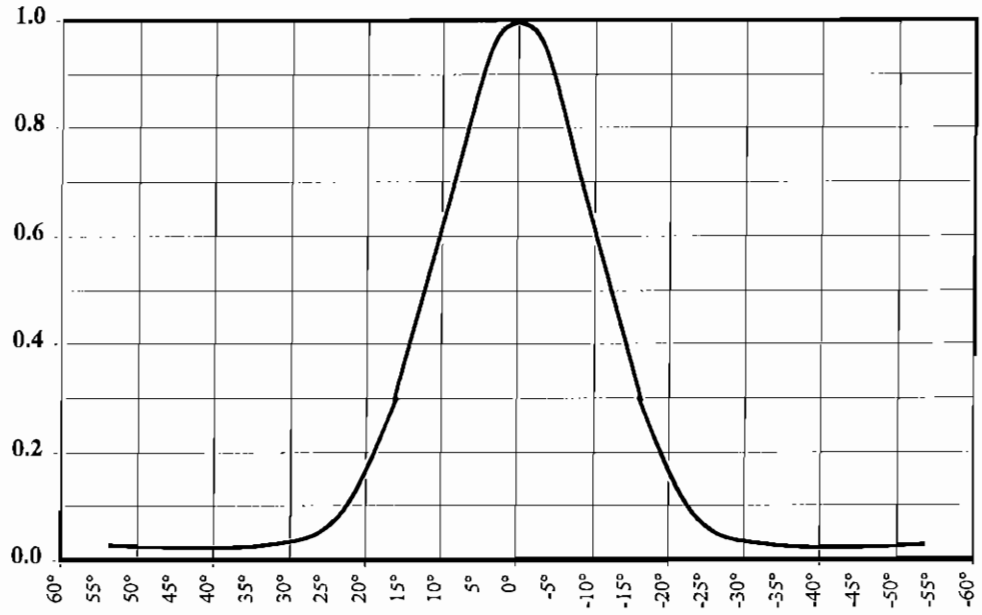


Fig. 3.24.- Diagrama de radiación vertical de la red de la Fig. 3.23 cuando se aplica una distribución de amplitud binomial.

Aunque la distribución binomial de Stone elimina nulos y pequeños lóbulos laterales, aumenta la anchura del haz de la red, y por lo tanto, disminuye su directividad. Además, las diferencias en las amplitudes de las corrientes requeridas para redes de gran tamaño pueden ser bastante grandes. Ello puede dar lugar a dificultades para obtener los diferentes niveles de potencia necesarios y para mantener la estabilidad de los mismos.

La distribución de Dolph-Tschebycheff es otra técnica de distribución de potencia que elimina los inconvenientes anteriores, y se basa en el polinomio de Tschebycheff de grado n - 1 siendo n el número de elementos radiantes. Los coeficientes determinarán la amplitud de distribución para cada una de las antenas.

Se consiguen los coeficientes del polinomio en base a trabajar con las siguientes expresiones que representan el factor de arreglo y determinan la amplitud de excitación en un arreglo uniforme de antenas:

$$(AF)_{2M}\text{ (arreglo par)} = \sum_{n=1}^{M} a_n.Cos[(2n-1).u]$$

$$(AF)_{2M+1}\text{ (arreglo impar)} = \sum_{n=1}^{M+1} a_n.Cos[2(n-1).u]$$

donde:

$$u = \frac{\pi.d}{\lambda}\,\text{Cos}\theta$$

Cuando se aplica esta distribución es necesario especificar el nivel máximo requerido de lóbulos laterales, si lo que se pretende es minimizar la anchura del haz entre los primeros nulos, o bien, especificar la anchura del haz entre los primeros nulos, si se desea minimizar el nivel de lóbulos laterales.

La Fig. 3.25 muestra el diagrama de radiación vertical del arreglo de 5 elementos radiantes separados 0,5λ de la Fig. 3.23 cuando se aplica una distribución de amplitud de Dolph Tschebycheff de 1 ; 2,05 ; 2,57 ; 2,05 ; 1 correspondiente a una supresión máxima de lóbulos laterales de 27 dB.

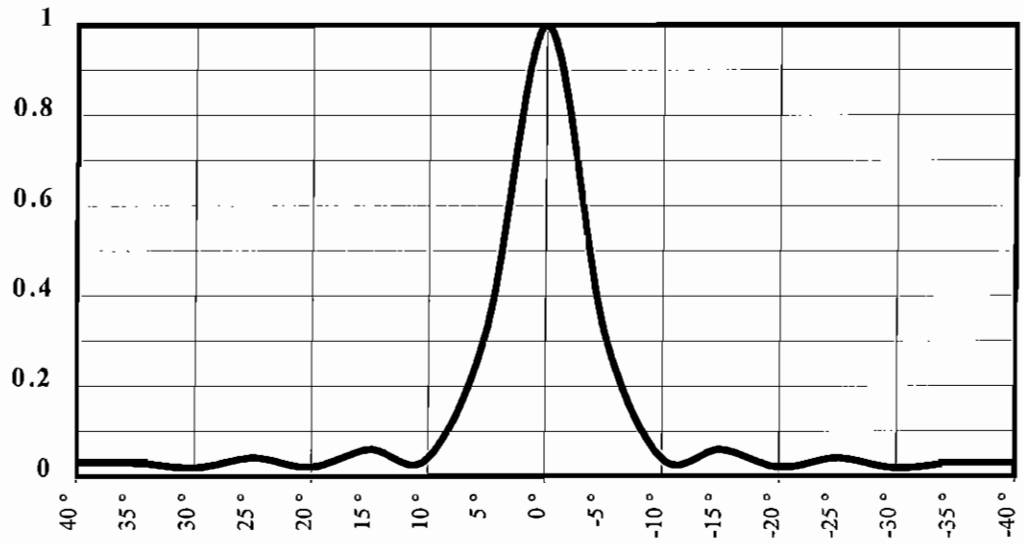


Fig. 3.25.- Diagrama de radiación vertical de la red de la Fig. 3.23 al aplicar una distribución de amplitud de Dolph-Tschebycheff.

La separación óptima entre elementos para cada distribución es de aproximadamente 0,5 λ, aunque la distribución también es válida para separaciones mayores.

Debe notarse que, sea cual sea la técnica de eliminación de nulos que se utilice, se producirá una reducción de la ganancia con relación al caso de distribución uniforme.

Dicha reducción de la ganancia se denomina generalmente "pérdida de distribución".

Esta pérdida puede minimizarse mediante una adecuada técnica de síntesis de diagramas de radiación en la que la potencia requerida para la eliminación de nulos proviene de la parte del diagrama de radiación que queda por encima del horizonte o de la compensación del rizado del haz principal.

Otras técnicas más complicadas de eliminación de nulos combinan una adecuada distribución de fase con la distribución de amplitud.

En este tipo de distribución más general, se denomina "perdida de compensación" a la pérdida de ganancia con respecto al caso de potencia uniforme e igual distribución de fase.

3.4.3.- INCLINACIÓN DEL HAZ:

La inclinación del haz es necesaria no solo para reducir la potencia radiada por encima del plano del horizonte, sino también para dirigir hacia la superficie de la Tierra la máxima potencia disponible.

De hecho, debido a la curvatura de la Tierra, la zona de radiación máxima de una red de antenas sin inclinación del haz no alcanzaría nunca la superficie de la Tierra.

El haz de una antena situada a 300 m. sobre el suelo debe inclinarse un ángulo superior a 0.5° para permitir que la zona de radiación máxima alcance la superficie de la Tierra.

Es posible conseguir fácilmente pequeños ángulos de inclinación (de 1 a 3°) inclinando mecánicamente el plano de los elementos radiantes. Debido a condicionantes mecánicos y ambientales, no suelen utilizarse procedimientos mecánicos para obtener ángulos de inclinación mayores.

También puede conseguirse la inclinación del haz controlando adecuadamente la fase de las corrientes de excitación de los distintos niveles de elementos. El control puede realizarse excitando a los elementos inferiores con corrientes que tengan un desfase fijo, con respecto a las corrientes de excitación de los elementos de la parte superior, o bien, introduciendo un desplazamiento de fase progresivo en las corrientes de los elementos radiantes adyacentes.

Los mayores ángulos de inclinación se consiguen generalmente mediante la adecuada combinación de procedimientos eléctricos y mecánicos. Debe señalarse que la aplicación de una distribución de fase no uniforme entre los elementos radiantes, produce una pérdida de "compensación" con relación al caso en que se utiliza una distribución de potencia uniforme.

Luego de esta introducción será conveniente entonces determinar la cantidad de antenas recomendable para configurar un apilamiento vertical, tanto para el caso de antenas FM como para las de TV, bajo el condicionamiento general de no estrechar el lóbulo en forma excesiva, de tal forma que pierda una óptima cobertura a lo largo de la zona de interés, a pesar del incremento de ganancia que

en contrapartida pudo motivar inicialmente un excesivo número de antenas planteado.

Una situación contraria podría también darse al considerarse un número insuficiente de antenas, que no proporcionarían la ganancia necesaria para cumplir con el criterio fundamental de conseguir el mejor rendimiento y servicio en una forma profesional y responsable.

Para el caso de las antenas de FM, un número típico de componentes de un arreglo es de 4 elementos radiantes, lo que básicamente se ha generalizado para su intuitivo empleo dentro de zonas de cobertura especialmente montañosas, en donde carece de interés agregar ganancia al arreglo de antenas, debido a que en la línea de horizonte no existen objetivos que merezcan ser considerados, estando por el contrario todos ellos concentrados en valles y laderas al interior de los sistemas montañosos escogidos como puntos de transmisión.

Por los motivos expuestos, será de interés disponer de un lóbulo vertical con el suficiente ancho como para penetrar en forma óptima a los diferentes pliegues de la topografía andina y servir con intensidad de campo suficiente, brindando una buena cobertura a toda las zonas de interés primario.

Para el caso de áreas de servicio en zonas bajas y planas, correspondientes a sectores de la costa o el oriente de nuestro país, como ya se mencionó en el capítulo primero, se buscará brindar la mejor cobertura a toda esa extensa área circundante al sitio de transmisión, para lo cual será necesario considerar arreglos de 5 o más elementos radiantes dispuestos verticalmente, según sea el caso particular por atender. Con ello se consigue una mayor ganancia de antena y un estrecho haz del lóbulo de radiación vertical, que considerando la baja altura del sistema de transmisión, será suficiente para abarcar satisfactoriamente las poblaciones de interés diseminadas en el contorno.

Para televisión, tanto para los rangos de VHF como de UHF, las consideraciones que se aplican son muy similares a las de FM, debido al comportamiento universal del arreglo de antenas como consecuencia del número de elementos radiantes dispuestos en línea, sin importar inclusive el tipo de polarización empleada (horizontal, vertical o circular), puesto que la teoría de antenas funciona para todas ellas por igual.

Será necesario volver a mencionar que una de las herramientas más utilizadas para optimizar el aprovechamiento del lóbulo de radiación es la "inclinación electrónica", basada principalmente en la diferente fase de alimentación hacia cada una de las antenas dispuestas verticalmente, y que generan un frente de onda inclinado tantos gados como sea necesario implementar, siendo ideal especialmente para coberturas omnidireccionales.

Para el caso de las antenas de TV utilizadas en nuestro medio, tanto en VHF como en UHF, al contrario de las antenas de FM, será posible diferenciar la inclinación óptima para cada uno de los lados de interés, al contar con patrones de radiación individuales netamente directivos, con lo que siempre será posible direccionar convenientemente los grados de inclinación del haz vertical, considerando de manera independiente el enfoque óptimo para cada dirección.

Con ello generalmente se conseguirá la disposición más favorable del arreglo de antenas, dando un apuntamiento para cada frente dirigido a la zona de mayor interés en forma individual, sin alterar gravemente el patrón de radiación horizontal en aquellas configuraciones con más de dos direcciones de interés, y mejor aun si se trata de una cobertura omnidireccional.

3.5.- FORMULACIÓN DEL PROGRAMA :

El programa motivo de esta tesis deberá brindar al usuario la posibilidad de encaminarse de manera amigable al resultado específico que requiere, sea éste un cálculo para arreglos de antenas en FM, o también para antenas de Televisión pudiendo ser ellas de VHF o de UHF, debiéndose entonces comenzar por una selección preliminar del tipo de aplicación requerido, por las diferencias existentes en el diseño de sus patrones de radiación, así como por el tipo de antena a emplear en cada caso.

Luego de haber sido seleccionado por el usuario el tipo de cálculo requerido, dispondrá de una ventana que de manera simple y ordenada le solicitará los datos específicos del arreglo que desea desarrollar, esto es; la dirección o direcciones de interés según sea el caso, el número de antenas previsto para cada dirección seleccionada, el ángulo de inclinación requerido para servir eficientemente la zona de interés más próxima, el porcentaje de potencia determinado para cada una de las caras de la torre, siempre con la premisa de utilizar distribución de potencia simétrica (con divisores de potencia simétricos), debido a que el empleo de componentes asimétricos complica los cálculos y principalmente la verificación de los resultados obtenidos, no con ello se pretende sostener que no deba utilizarse esta técnica, ya que es un recurso aplicado por algunos fabricantes de antenas con reconocido prestigio.

Una vez concluido el proceso de ingreso de datos, el programa estará en la capacidad de entregar el resultado gráfico así como el numérico del arreglo de antenas deseado, luego de lo cual el usuario necesariamente deberá realizar un análisis de evaluación de los primeros resultados, los que de resultar satisfactorios, podrían ser considerados como la base teórica para implementar en la práctica el arreglo en la configuración deseada. De no resultar satisfactoria esta primera evaluación, se recomienda ensayar el cambio de los parámetros originales de cálculo introducidos en el primer ingreso de datos, para que de ese modo se pueda

confrontar varios resultados y de entre ellos poder elegir el que mas se apegue o satisfaga los resultados esperados.

Para el caso de haber introducido un dato errado sea en la sintaxis o en el valor de éste, se obtendrá como una señal indicadora de advertencia al símbolo de # en las respectivas celdas que entregan los resultados. Sugiriéndose para esos casos la revisión prolija de los datos ingresados.

Una limitación que por definición se la planteó para este programa es la imposibilidad de realizar cálculos en direcciones que no sean ortogonales, es por tanto necesario aclarar que será válido en la práctica la colocación de antenas en direcciones distintas a 90°, en especial para reforzar algún punto de cobertura muy especial, pero en la mayoría de aplicaciones esta modalidad de instalación resulta mejor evitarla, y en nuestro caso para no complicar el desarrollo del programa mejor se planteó desde un comienzo eliminar esta posibilidad.

Generalmente se evita en la práctica mezclar esta libertad de orientación de las antenas, debido a que se corre un gravísimo riesgo de provocar nulos en direcciones no programadas que pondrían en peligro el resultado mismo del proyecto.

Los resultados de este programa nos proporcionarán además de obtener la apreciación gráfica del arreglo, una valoración numérica relativa del contorno del lóbulo de radiación, lo que particularmente resulta muy útil para el caso de analizar una cobertura no coincidente con la dirección de radiación de mayor interés.

Otro detalle importante para el cálculo es la recomendación de considerar siempre la ubicación de las antenas de forma tal, para que la primera dirección de apuntamiento de antenas siempre se ubique en el punto de azimut 0° y que las siguientes direcciones sigan el orden de incremento en grados, esto es: a 90°, a 180° y a 270° . Habiendo seguido esta secuencia y luego de conseguir el resultado gráfico esperado, se podrá fácilmente orientar el arreglo de antenas en la dirección

real referida al norte geográfico, con solo girar el diagrama la cantidad de grados en azimut que correspondan a la dirección de interés, siempre referencia al norte geográfico.

Con esto no se ha hecho otra cosa que simplificar el proceso para el ingreso de los datos de cálculo, y a la vez brindar una mejor comprensión del proceso seguido para el desarrollo y obtención del resultado óptimo, aplicado a cada cobertura en particular que deba analizarse.

3.5.1.- ESTRUCTURACION DEL DIAGRAMA DE RADIACION PARA ARREGLOS DE RADIADORES FM

Para efectuar arreglos con antenas en la banda de FM se deben tener presente las siguientes consideraciones:

1) El patrón de radiación de una antena tipo radiador se puede decir que es constante en todo el rango de frecuencias en la banda de radiodifusión FM (88-108 MHz).

2) Todo arreglo de antenas omnidireccionales se entiende que es un arreglo lineal; es decir, un conjunto de antenas dispuestas con una misma orientación respecto de la torre, espaciadas verticalmente según un factor de la longitud de onda, adecuado para la frecuencia específica de radiación.

En tales circunstancias, el patrón horizontal de un arreglo de N antenas permanecerá inalterable, independiente de N; lo que varía es el patrón de radiación vertical, el cual depende directamente del número de antenas que conforman el arreglo, y es el responsable de la ganancia total resultante. Por consenso de los fabricantes de antenas tipo radiador, y con el respaldo de simulaciones y muchas mediciones de campo, a lo largo de los años se ha evidenciado que la separación óptima para estas antenas es de 0.75 veces la longitud de onda; y en la práctica no

se sugiere implementar arreglos con más de 6 antenas alineadas, salvo para casos muy particulares.

En dichas condiciones, el patrón de radiación horizontal para antenas tipo radiador FM se lo ha tomado de los datos reales de los fabricantes, y la única posibilidad de modificación es el apuntamiento en azimut; para lo cual se han utilizado funciones de MS-EXCEL que permiten girar el lóbulo dentro del diagrama polar según el ángulo deseado. Las funciones adecuadas se hallan descritas dentro del Anexo correspondiente a funciones de búsqueda y referencia; el objetivo de estas funciones es recorrer los datos de la tabla de valores hacia el ángulo de azimut deseado que ha sido introducido como dato.

La tabla se halla formada por una columna A en la que constan los ángulos entre 0° y 355° con pasos de 5° (Filas 2 hasta 73), en la columna B se encuentran los valores correspondientes al patrón normalizado del campo eléctrico producido por la antena. Es decir, las dos primeras columnas A y B contienen los datos necesarios del patrón de la antena orientado a 0° de azimut. La columna C se encarga de rotar los datos de A acorde al ángulo de azimut introducido Az; esto se consigue mediante una sencilla diferencia de valores entre A y Az. La columna D obtiene la posición que ocupa el valor conseguido en C dentro de los datos de A; dicha posición servirá de referencia para ubicar en E el nuevo nivel de campo, desplazando el número de filas necesarias de B.

Para ejemplo, haremos rotar el lóbulo en 15°, y para su análisis consideremos el nivel en la tabla de valores correspondientes a la fila con azimut en Az = 30°.

#	A	B	C	D	E
7	**30°**	**0.884**	=A7-15° (15°)	=ENTERO(C7/5)+1 (4)	=INDICE(B2:B73,D7)
: :	: :	: :	: :	: :	: :
11	45°	0.938	=A11-15° (**30°**)	=ENTERO(C11/5)+1 (7)	=INDICE(B2:B73,D11) (**0.884**)

De esta manera, hemos obtenido en la dirección de 45° (columna E) el nivel de campo relativo, correspondiente a la dirección de 30° del patrón original; con lo cual todos los valores de la columna E darán el patrón original con giro de 15°. Para los ángulos inferiores a Az, se obtendrá como resultado de la diferencia entre A y Az un ángulo negativo, por lo cual habrá que adicionar 360°, con lo cual los niveles correspondientes pasarán al cuarto cuadrante del diagrama polar.

3.5.2.- ESTRUCTURACION DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN PARA ARREGLOS DE ANTENAS DE TV-VHF Y TV-UHF

Para incursionar en el campo de la representación gráfica de patrones de radiación de arreglos de antenas para televisión, vale partir del diagrama de radiación de un dipolo, luego del diagrama de dicho dipolo afectado por una pantalla reflectora. Para esto consideraremos primeramente la función trigonométrica elemental COS (Φ), la cual tiene sus máximos en los radiales de 0° y 180° y sus mínimos en los radiales de 90° y 270°.

El primer paso será eliminar la representación de datos negativos, dado que este subconjunto de los números reales no está definido como rango para las funciones logarítmicas de campo eléctrico, potencia, etc.; esto quiere decir que, los únicos cuadrantes válidos son el primero y el cuarto donde la función COS (Φ) es positiva. Los cuadrantes segundo y tercero pueden ser útiles para producir un diagrama simétrico solamente en el caso que evaluemos el valor absoluto de la función COS (Φ); es decir, |COS (Φ)|, lo cual es ideal para propósitos de representar el diagrama de un dipolo, con dos lóbulos principales orientados en la dirección del eje transversal del dipolo.

La función a utilizar puede estar definida de la siguiente manera:

#	A	B	C	D	E
: 7 :	: 30° :	=(ABS(COS(RADIANES(A7-Az)))			

Donde, Az es el ángulo de acimut al que se quiere direccionar el lóbulo, según se explicó anteriormente, y que se mantendrá constante en todas las celdas de la columna B. EL diagrama obtenido para un valor Az = 30° se representa en la figura 3.26

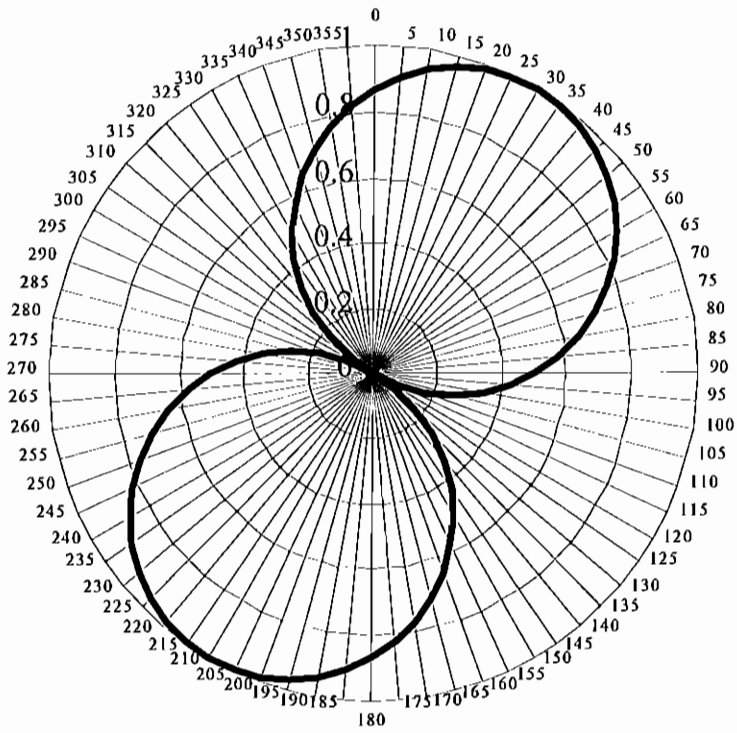


Fig.- 3.26.- Diagrama de radiación horizontal de un dipolo simple girado un azimut de 30°

Para efectos de representar el diagrama de radiación de una antena de Televisión, consideraremos que la antena típicamente utilizada es el dipolo de ½ onda con reflector diédrico, o antena tipo Corner Reflector, antena que produce un lóbulo principal en la dirección de apuntamiento, y un lóbulo posterior de menor alcance, cuya magnitud estará determinada por la Relación Delante/Atrás,

la cual a su vez, depende de la estructura mecánica y eficiencia de la pantalla reflectora, pero que en términos generales tiene un valor típico de 18 - 20 dB.

En estas condiciones, el siguiente paso será reducir la magnitud del lóbulo simétrico para simular la radiación posterior de una antena directiva; esto lo podemos hacer mediante una constante que afecte a la función dentro de los cuadrantes 3ro. y 4to.; pero, debido a que previamente se han definido ángulos de acimut, los cuadrantes que contienen el lóbulo posterior también deberán rotar según este mismo ángulo. Esto sugiere implementar dentro de la función general, una condición lógica que determine los ángulos de apuntamiento en los cuales la función COS (Φ - Az) sea negativa, de modo que todas las direcciones que cumplan dicha condición, sean afectadas por el factor de atenuación previsto.

Adicionalmente, para acercarnos un poco más a los diagramas reales, la función será sometida a un exponente constante, el cual determina el ancho del lóbulo en proporción inversa.

Para esto partamos de que la ganancia de una antena dipolo de ½ longitud de onda afectada por la presencia de un reflector, tiene un comportamiento que varía en función de sus anchos de lóbulo y se la puede aproximar en base la siguiente expresión:

$$G \cong 10 \,.\, \log\left(\left(\frac{2\pi}{ALH}\right)\cdot\left(\frac{2\pi}{ALV}\right)\right)$$

Donde, ALH es el ancho del lóbulo en el plano H de 0° a 360° y ALV es el ancho del lóbulo en el plano E de 0° a 360°.

Para ALH = ALV = 2π = 360° ; G = 0 dB (antena isotrópica)

Para ALH = π = 180° y ALV = $\pi/2$ = 90° ; G = 10 log (8) = 9 dB.

Considerando que el reflector diédrico con pantalla de 90° de apertura en el patrón vertical, limita la radiación a una zona angular de 180°, es decir, la ½ parte de la radiación omnidireccional equivalente a 6 dB; en estas condiciones, la ganancia de la antena experimentará un incremento típico de 9 dB sobre el dipolo de ½ onda, o una ganancia isotrópica de 11.2 dBi.

Para reproducir un lóbulo con este ancho en el plano horizontal, consideraremos que la magnitud relativa entre los campos eléctricos a media potencia es de 0.5 su máximo valor, y que en esta misma proporción debe encontrarse la magnitud de la función COS $\left(ALH/2\right)$ hacia cada una de las mitades del lóbulo, tendremos que la constante exponencial queda determinada por la relación:

$$\text{Exp} = \frac{\log(0.5)}{\log\left(COS\left(\frac{ALH}{2}\right)\right)} = \frac{\log(0.5)}{\log(COS(45°))} = 2$$

De acuerdo a la práctica, un valor apropiado para esta constante en antenas de televisión puede seleccionarse entre 1.5 y 2.2 , quedando la función modificada para tal efecto y descrita de la siguiente manera:

#	A	B	C	D	E
:	:				
7	**30°**	=SI(COS(RADIANES(A7-Az))>0,1,0.1)*(ABS(COS(RADIANES(A7-Az))))^2			
:	:				

La primera parte de la función condiciona al diagrama que, para valores positivos de la función del lóbulo rotado COS (Φ - Az), el factor por el que se ha de multiplicar su magnitud será la unidad, es decir, esta no se verá afectada, no así los valores negativos, en cuyo caso se tomará su valor absoluto atenuado por el factor de 0.016, equivalente a los 18 dB de la relación Delante/Atrás.

La figura 3.27 siguiente sugiere un ejemplo del patrón de radiación de la figura anterior, con su lóbulo posterior atenuado en 18 dB.

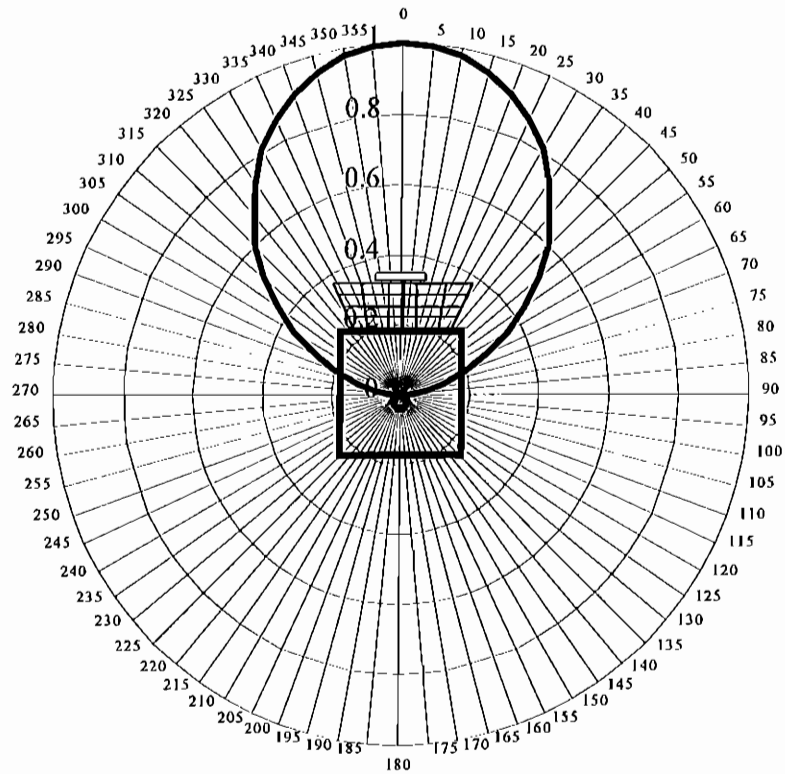


Fig. 3.27.- Diagrama de Radiación Horizontal para un dipolo simple con pantalla reflectora

3.5.3.- ESTRUCTURACION DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN VERTICAL

Al Patrón de radiación Vertical de un sistema radiante FM lo podemos considerar constante dentro de toda la banda de 88 - 108 MHz. puesto que, como ya hemos dicho, se procura mantener siempre una separación constante entre antenas equivalente a 0,75 λ (propia para cada frecuencia). Entonces, los únicos datos que afectarán el diagrama resultante serán atribuidos al número de antenas que conforman el arreglo y a la inclinación que se de al haz de radiación.

La función para obtener el lóbulo de radiación ha sido implementada de acuerdo con el desarrollo teórico descrito en el capítulo 1 de esta Tesis, en el cual

la magnitud del campo resultante se evalúa a través de las magnitudes de sus componentes rectangulares, utilizando las funciones trigonométricas Seno y Coseno, y un ángulo de desfasamiento relativo a la variación angular y a la inclinación deseada.

Considerando que típicamente el lóbulo vertical no se lo representa en un diagrama polar sino mas bien en un diagrama angular rectangular, se ha creído conveniente analizar el comportamiento entre los 60° de elevación y los 60° de inclinación, ángulos en los cuales la radiación es mínima. Las funciones implementadas en la hoja de cálculo para evaluar el lóbulo de radiación vertical son las siguientes:

Desfasamiento:

Sean: S = La separación vertical entre antenas (en metros)

θ = Angulo de evaluación del lóbulo (elevación o inclinación), y

F = La frecuencia de operación (en MHz)

Angulo de Desfasamiento $\Psi = (360°/\lambda).S.Seno(\theta)$

$$= (360.F/300).S.Seno(\theta)$$

$$\Psi = 1{,}2.F.S.Seno(\theta)$$

Magnitudes de las componentes cartesianas:

Sean: N = número de antenas dispuestas verticalmente en la misma dirección

I = Angulo de inclinación electrónica deseada

θ_0 = 0° = Angulo de referencia para los desfasamientos relativos

Desfasamiento por inclinación = $D_I = 1{,}2.F.S.Seno(I)$

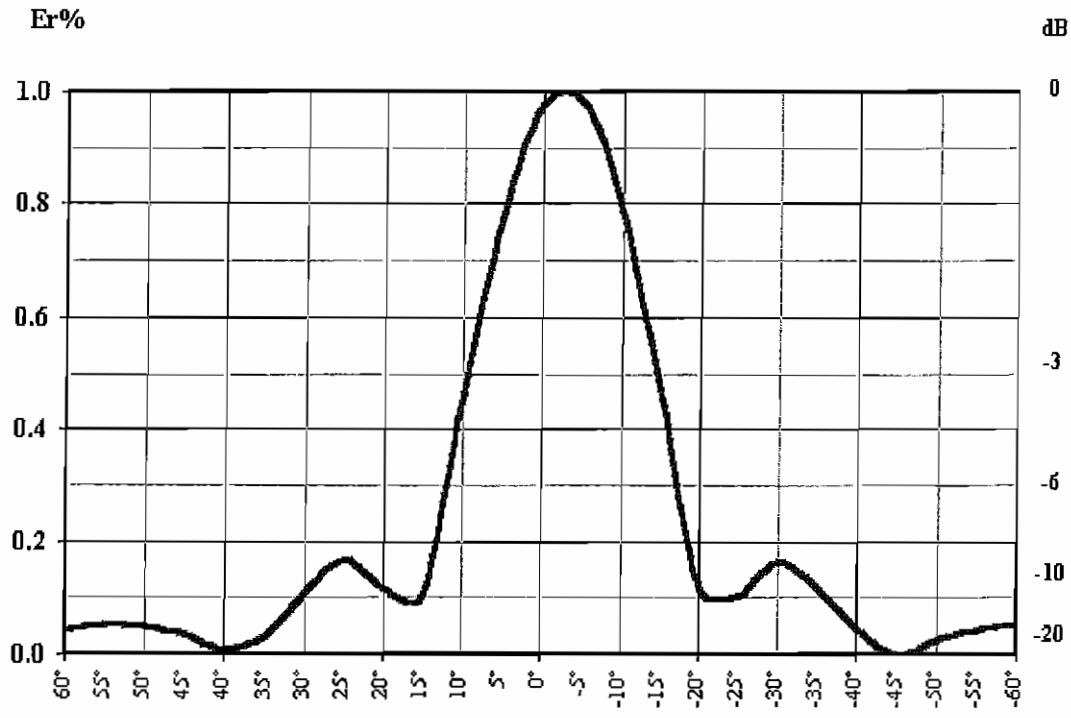
$$E_x = Cos(\theta_0) + Cos(\psi + D_I) + Cos(2*(\psi + D_I)) + Cos(3*(\psi + D_I)) + ...Cos((N-1)*(\psi + D_I))$$

$$E_y = Seno(\psi + D_I) + Seno(2*(\psi + D_I)) + Seno(3*(\psi + D_I)) + ... Seno((N-1)*(\psi + D_I))$$

$$|E| = \sqrt{(E_x)^2 + (E_y)^2}$$

Finalmente, el diagrama del lóbulo se encuentra mediante la evaluación de estas funciones para cada uno de los ángulos de elevación entre –60° y 60°, en pasos de 5°; y sobre la columna de datos calculados se efectúa una normalización para ajustar los niveles relativos a la unidad.

El diagrama obtenido para un arreglo típico de 4 antenas FM se muestra en la figura 3.28 :



FRECUENCIA DE OPERACION :	102.1 MHz
INCLINACION ELECTRONICA :	2.5°
NUMERO DE ANTENAS :	4
GANANCIA DEL SISTEMA RADIANTE :	3.30 dB

Fig. 3.28.- Diagrama de Radiación Vertical de un arreglo típico de antenas de FM.

Para el caso de antenas diédricas para televisión, debido a la presencia de las pantallas con una apertura de 90° en el plano vertical, el comportamiento desde los 45° de elevación o inclinación tiende a una reducción progresiva de radiación, llegando hasta la cancelación total a los 90°; no obstante la combinación simultánea de las funciones trigonométricas mencionadas no

satisface esta situación; por tanto será necesaria la introducción de una máscara de atenuación para delimitar el patrón de radiación teórico al diseño directivo real.

Considerando también que la fabricación de pantallas conserva un patrón de diseño común para banda ancha tanto en banda I como en banda III VHF, será necesario definir una máscara de atenuación específica para cada canal, de modo que el lóbulo resultante represente con la máxima fidelidad posible a la situación real. Esta función adicional se multiplicará por la función genérica definida anteriormente para el caso de lóbulos de antenas FM.

Con la finalidad de optimizar el espacio disponible de una torre para alojamiento de antenas, es conveniente restringir la separación entre dipolos a la mínima separación posible entre sus pantallas respectivas; por esta razón, las antenas con reflector diédrico de 90° o 180° normalmente van adosadas. Las separaciones que por diseño han sido establecidas son de 5.8 m. para canales 2,3 y 4; 4.24 m. para canales 5 y 6; 2.62 m. para canales 7, 8 y 9; y 2.26 m. para canales 10, 11, 12 y 13.

Definiremos a continuación una función empírica para simular la máscara de atenuación en el patrón vertical para arreglos de antenas diédricas de VHF.

Sean :C = el número de canal VHF (entre 2 y 13)

I = Angulo de inclinación electrónica deseado

θ = Angulo de evaluación del lóbulo (elevación o inclinación)

Factor de regulación para cada canal VHF:

R = SI(C=2,0.65,SI(C=3,0.75,SI(C=4,0.8,SI(C=5,0.75,SI(C=6,0.72,SI(C=7,0.9,
SI(C=8,0.9,SI(C=10,0.85,SI(C=11,0.92,SI(C<13.5,0.95,0)))))))))

Función Máscara de atenuación para simular efecto de pantallas:

M = SI(□+I<0,SI(1.5+0.032*(□+I)*R>1,1,
SI(1.5+0.032*(□+I)*R>0.2,1.5+0.032*(□+I)*R,0.2)),
SI(1.5-0.032*(□+I)*R>1,1,SI(1.5-0.032*(□+I)*R>0.2,1.5-0.032*(□+I)*R,0.2)))

Para la formulación de esta función se requirió un tiempo cuidadoso en la experimentación. En todo caso, esta función asegura que la máscara se va desplazando en función del ángulo de inclinación, a fin de asegurar la normalización del lóbulo con su máximo coincidente con el ángulo de inclinación. Para una inclinación de 0°, la máscara quedará con los siguientes coeficientes según el canal VHF seleccionado:

ELEV.	CH - 2	CH - 3	CH - 4	CH - 5	CH - 6	CH - 7	CH - 8	CH - 9	CH - 10	CH - 11	CH - 12	CH - 13
-60°	0.252	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
-55°	0.356	0.2	0.2	0.2	0.2328	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
-50°	0.46	0.3	0.22	0.3	0.348	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
-45°	0.564	0.42	0.348	0.42	0.4632	0.204	0.204	0.2	0.276	0.2	0.2	0.2
-40°	0.668	0.54	0.476	0.54	0.5784	0.348	0.348	0.284	0.412	0.3224	0.284	0.284
-35°	0.772	0.66	0.604	0.66	0.6936	0.492	0.492	0.436	0.548	0.4696	0.436	0.436
-30°	0.876	0.78	0.732	0.78	0.8088	0.636	0.636	0.588	0.684	0.6168	0.588	0.588
-25°	0.98	0.9	0.86	0.9	0.924	0.78	0.78	0.74	0.82	0.764	0.74	0.74
-20°	1	1	0.988	1	1	0.924	0.924	0.892	0.956	0.9112	0.892	0.892
-15°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-10°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-5°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20°	1	1	0.988	1	1	0.924	0.924	0.892	0.956	0.9112	0.892	0.892
25°	0.98	0.9	0.86	0.9	0.924	0.78	0.78	0.74	0.82	0.764	0.74	0.74
30°	0.876	0.78	0.732	0.78	0.8088	0.636	0.636	0.588	0.684	0.6168	0.588	0.588
35°	0.772	0.66	0.604	0.66	0.6936	0.492	0.492	0.436	0.548	0.4696	0.436	0.436
40°	0.668	0.54	0.476	0.54	0.5784	0.348	0.348	0.284	0.412	0.3224	0.284	0.284
45°	0.564	0.42	0.348	0.42	0.4632	0.204	0.204	0.2	0.276	0.2	0.2	0.2
50°	0.46	0.3	0.22	0.3	0.348	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
55°	0.356	0.2	0.2	0.2	0.2328	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
60°	0.252	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

A fin de representar gráficamente el procedimiento a efectuarse para la obtención del patrón de radiación vertical, simularemos como ejemplo un arreglo vertical de 4 antenas para canal 6 VHF con inclinación de 1.5°. EL lóbulo vertical sin la aplicación de la máscara se muestra en la figura 3.29:

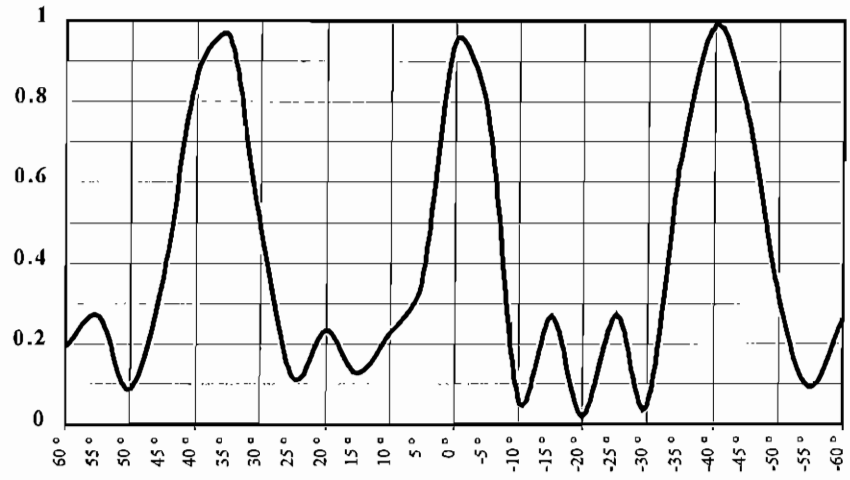


Fig. 3.29.- Lóbulo de Radiación Vertical sin considerar la mascara correctora.

La máscara específica que corrige el resultado gráfico de este arreglo se la aprecia en la figura 3.30:

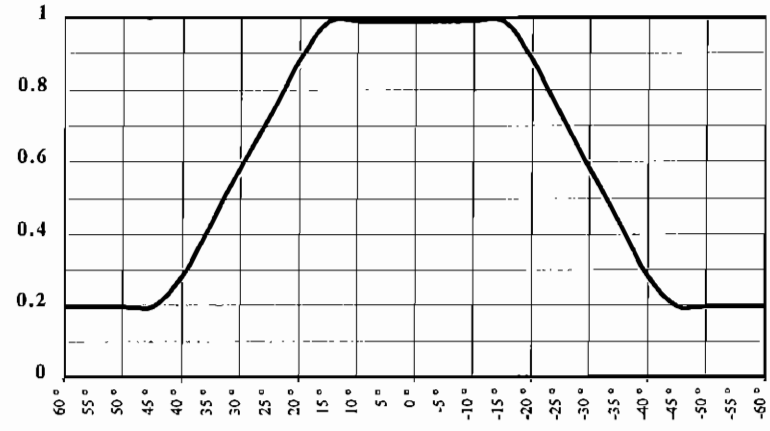


Fig. 3.30.- Máscara para ser aplicada a un arreglo de antenas de CH 6 / VHF

El lóbulo resultante, producto de la multiplicación de los diagramas anteriores será el mostrado en la figura 3.31:

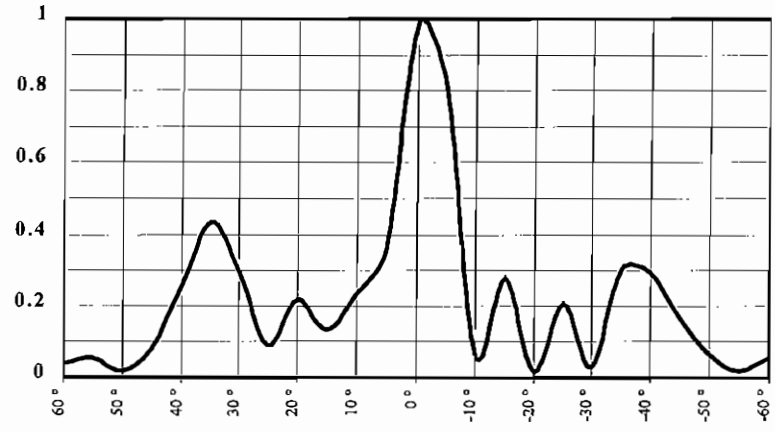
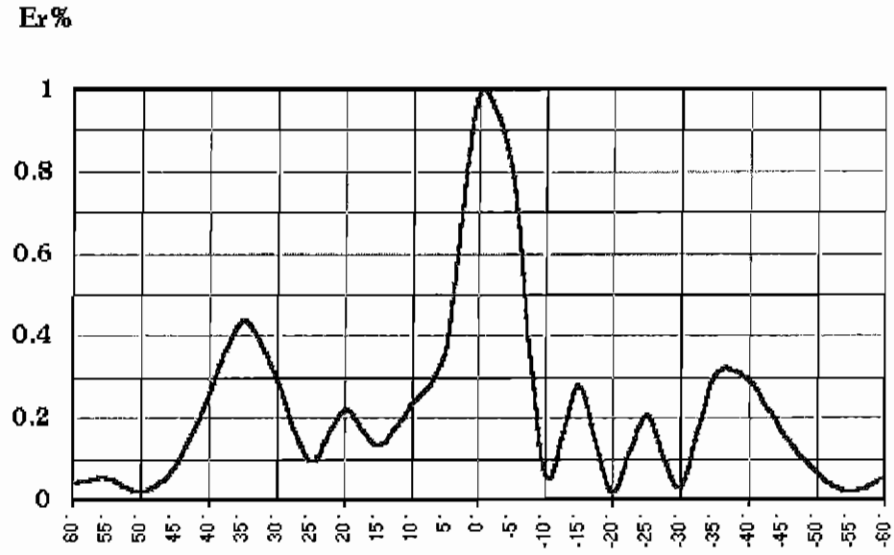


Fig. 3.31.- Lóbulo de Radiación Vertical Real de un arreglo de antenas para CH 6 / VHF

Para arreglos de antenas en canales de UHF, debido a que en la generalidad de caos se utilizan paneles directivos, todos ellos normalmente formados por varios dipolos espaciados verticalmente y con características de banda ancha, no es necesaria la utilización de ninguna máscara sino solamente las funciones empleadas para la suma vectorial de las componentes del campo radiado, igual que para el caso de las antenas de FM; y por diseño estandarizado de los fabricantes, los paneles van dispuestos unos a continuación de otros separados entre centros una distancia regular de 1 m., y siempre verticalmente apilados sobre el lado de la torre.

La presentación total de la hoja para los arreglos de UHF contendrá entones, a más de los datos ingresados para el diseño como son: canal / frecuencia de operación, inclinación electrónica (expresada en grados) y el número de antenas, el resultado del diagrama vertical del arreglo y el valor de la ganancia resultante expresada en dBi, y lo que es muy importante, las fases necesarias para implementar un conveniente relleno de nulos, guardando la estructura mostrada en la figura 3.32:

DIAGRAMA DE RADIACION VERTICAL



ANTENA TIPO :	PANEL 4 DIPOLOS RYMSA / AT13-240	
FRECUENCIA DE OPERACION :	83.2 MHz	
INCLINACION ELECTRONICA :	1.5°	
NUMERO TOTAL DE ANTENAS :	4	
GANANCIA MAX. - SIST. RADIANTE :	16.22 dBi	
FASES PARA RELLENO DE NULOS :	0.0 °	15.1 °

Fig. 3.32.- Diagrama de Radiación Vertical para un arreglo de 4 paneles UHF

3.5.4.- PATRON DE ANTENAS EN DOS O MAS DIRECCIONES SOBRE UNA TORRE CUADRADA

Para representar el diagrama de un sistema que contiene antenas en dos o más direcciones ortogonales, tal como en el caso real para el montaje en una torre cuadrada, será necesario implementar una nueva función con las características anteriores, pero cuyos máximos y mínimos estén rotados en 90° respecto del diagrama de la función COS (Φ - Az). Para el efecto hay dos alternativas, la primera es considerar una función SENO (Φ - Az), y la segunda es

realizar una rotación auxiliar de 90° a la función primaria, es decir, introducir una función COS (Φ+90°-Az). Para simplicidad de cálculos, emplearemos la segunda alternativa planteada, con lo cual se utilizará únicamente la función trigonométrica COSENO.

Los datos de la función modificada para este arreglo los podemos representar en una nueva columna, de la siguiente manera:

#	A	B	C	D	E
:	:				
7	30°	....	=SI(COS(RADIANES(A7-Az-90))>0,1,0.16)*ABS(COS(RADIANES(A7-Az-90))^2)		
:	:				

El diagrama correspondiente a dos lóbulos principales independientes mutuamente perpendiculares, con características similares de anchura de haz y relación delante/atrás se muestra en la figura 3.33. Los datos de la columna B permanecen igual que en el caso del diagrama anterior, en tanto que los datos de la columna C son los que se han adicionado para mostrar el lóbulo perpendicular.

En este último diagrama se ha asumido un ángulo Az = 0° para que los lóbulos coincidan en las direcciones de 0° y 90°. No obstante, el efecto vectorial de la suma de los campos eléctricos origina la formación de un solo lóbulo con una anchura equivalente a la suma de los lóbulos originales y con una ganancia que decrece en la medida inversa al incremento de su anchura, es decir, una reducción de ganancia de 3 dB aplicable a las direcciones de 0° y 90°, y en el centro, en la dirección de 45° (o de yuxtaposición) una reducción de ganancia ligeramente superior, debido a que cada lóbulo individual en esta dirección no alcanza en magnitud el valor de $\sqrt{2}$ veces el máximo de su función.

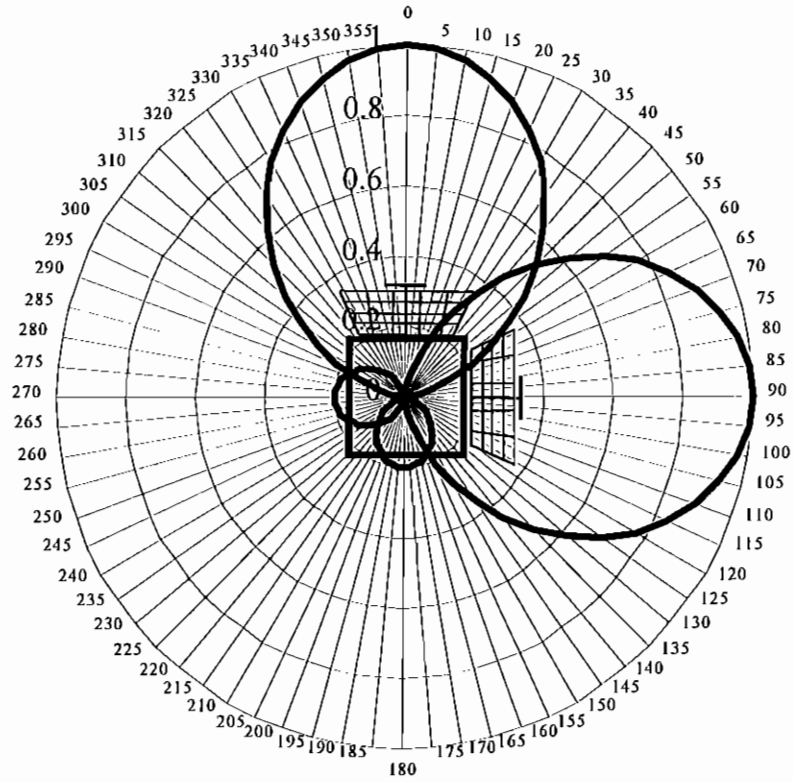


Fig 3.33.- Diagramas de Radiación Horizontal independientes para dos lados de una torre

Expresado de otra manera:

$$|E| = \sqrt{E_1^{\,2} + E_2^{\,2}}$$

en $\Phi = 45°$: $$|E| = \sqrt{\left(\left(Cos(45°)\right)^2\right)^2 + \left(\left(Cos(45° - 90°)\right)^2\right)^2}$$

$$|E| = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^4 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^4}$$

$$|E| = \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}}$$

$|E| = 2^{-1/2} = 0.707$ (no alcanza la unidad dentro del patrón normalizado)

El la figura 3.34 se muestra el resultado de la suma vectorial de los lóbulos del gráfico anterior.

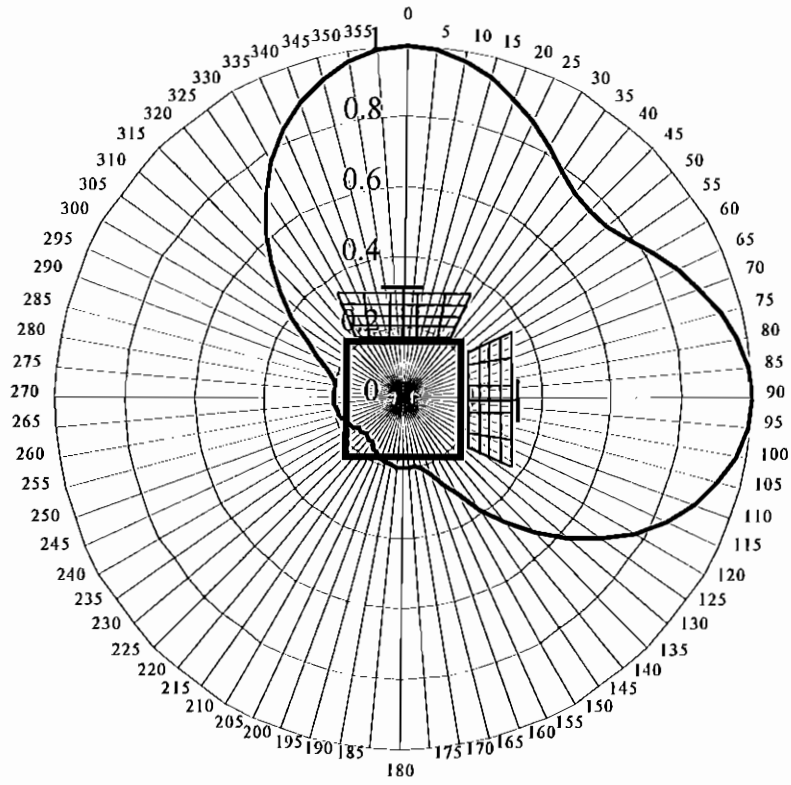


Fig. 3.34.- Diagrama de Radiación Horizontal Parcial (sin considerar efecto torre) para antenas en dos caras de la torre de sección cuadrada.

En todos los casos, el vértice de la torre en la que van montadas las antenas desempeña un efecto de pantalla en la dirección de yuxtaposición del arreglo, ocasionando la aparición de un nuevo lóbulo central de igual ganancia a la de los lóbulos principales y con un ligero rizado en las direcciones de 25° y 65°. Este efecto puede ser fielmente representado por la introducción de un tercer lóbulo central de iguales características a los anteriores, en cuyo caso ya no se ajusta la suma vectorial de las componentes angulares sino más bien, el contorno dado por los máximos de los tres lóbulos.

La situación descrita es la que finalmente permite representar de una manera muy precisa el patrón de un arreglo de antenas directivas en dos o más direcciones, por lo cual, el gráfico de la figura 3.35 ilustra la construcción del

patrón de radiación de dos antenas dispuestas en direcciones mutuamente perpendiculares:

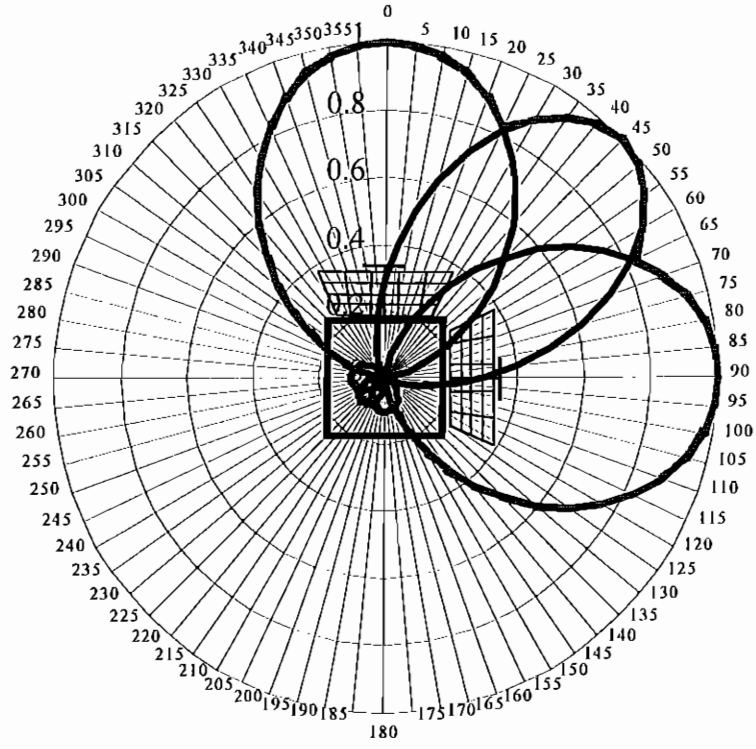


Fig. 3.35.- Diagrama de Radiación Horizontal Final para un arreglo de antenas colocadas en una torre de sección cuadrada.

En el diagrama mostrado se ha reducido aún más la magnitud de los lóbulos posteriores para considerar y simular el efecto de pantalla que ofrece la torre sobre las emisiones posteriores de la antena; el efecto resultante se traduce en relaciones Delante/Atrás superiores en unos 3 dB respecto de la relación propia de una sola antena.

Para el caso de existir un número diferente de antenas a cada lado de la torre, se debe primeramente considerar el parámetro de ganancia del arreglo en cada dirección de apuntamiento; para lo cual vale recordar que un arreglo en dos direcciones incrementa el ancho del lóbulo al doble, por eso, la ganancia en cada dirección disminuye en 3 dB respecto de la ganancia de una sola antena. Si se tiene una antena montada sobre cada una de las cuatro caras de la torre, la

ganancia equivale a dividir la potencia total para las cuatro antenas; en estas condiciones, la ganancia total en cada dirección quedará determinada por:

$$G = G_1 + 10 \,.\, \text{Log}\left(\frac{1}{N}\right)$$

Donde:

G_1 es la ganancia de una sola antena

N es el total de caras de la torre que contienen una antena

El incremento de antenas en una sola dirección de apuntamiento significa reforzar linealmente la intensidad de campo eléctrico, en la misma proporción al número de antenas; es decir, tres antenas en la misma dirección producirán tres veces la intensidad E de una sola antena, con lo cual, la ganancia experimentará el siguiente incremento:

Campo producido por una sola antena radiando toda la potencia:

$$E_1 = K\,(P)^{1/2} \quad ; \quad P_1 = P$$

En el arreglo de tres antenas, la potencia derivada a cada una de ellas corresponde a la tercera parte de la potencia total:

$$P_2 = \frac{1}{3}\,(P) \quad ; \quad E_2 = K\,(P_2)^{1/2}$$

Y el campo producido por todo el arreglo es:

$$E = 3 \,.\, E_2 = 3 \,.\, K\,(P_2)^{1/2}$$

La Ganancia total del arreglo queda determinada por:

$$G = 20\,\mathrm{Log}\left(\frac{E_2}{E_1}\right) = 20\,\mathrm{Log}\left(\frac{3.K.(P_2)^{\frac{1}{2}}}{K.P_1^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= 20\,\mathrm{Log}\left(\frac{3.K.\left(\frac{P}{3}\right)^{\frac{1}{2}}}{K.P^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$= 20\,\mathrm{Log}\,(\,(3)^{1/2}\,)$$

$$= 10\,\mathrm{Log}\,(3)$$

Es decir, que debido al incremento de N antenas en una misma dirección, la ganancia está relacionada con:

$$G = 10 \log (N)$$

Para el caso general en que se tenga diferente número de antenas en cada una de las caras de la torre, la ganancia en cada dirección quedará determinada por la siguiente relación:

$$G = G_1\ (\mathrm{dB}) + 10 \log N_1 + 10 \log \left(\frac{N_1}{N}\right)$$

Donde:

G_1 es la ganancia de una sola antena,

N_1 es el número de antenas en la dirección de interés, y

N es el número total de antenas que forman el arreglo.

Será necesario aclarar que para configuraciones no homogéneas no será adecuado hablar de una ganancia del arreglo, ya que puede ser tener diferente valor para cada una de las caras, siendo lo mas adecuado considerar la ganancia referida a cada una de las caras de interés.

Y en aquella dirección donde no existan antenas se deberá evaluar la ganancia en función de la radiación posterior total de las antenas que se

encuentran en las otras caras de la torre; para lo cual como es de esperar, se considerará que todas las antenas mantienen las mismas características en su relación Delante/Atrás.

3.5.5.- PATRON DE ANTENAS EN DOS O TRES DIRECCIONES SOBRE UNA TORRE TRIANGULAR

Para el caso de antenas montadas sobre una torre triangular, se considerará el mismo criterio que para las antenas montadas sobre la torre cuadrada, pero teniendo presente que las antenas seleccionadas para emplearse en este tipo de arreglo, por su fabricación tienen un ancho de lóbulo de 120° y no de 90° (observar sus características en los anexos), con lo cual en base a las tres direcciones se puede lograr el patrón omnidireccional.

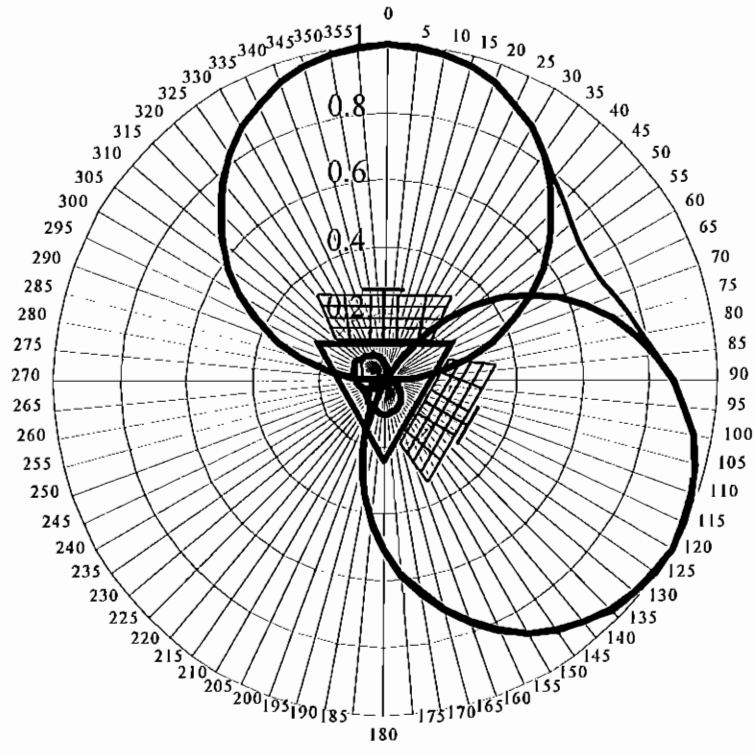


Fig.- 3.36.- Diagrama de Radiación Horizontal Parcial (sin considerar efecto de la torre) para arreglo de antenas con lóbulo principal de 120°, colocadas en una torre de sección triangular.

Esto es lo que normalmente se acostumbra realizar en la práctica cuando se dispone de una torre con las características señaladas, de otro modo, si solo se

dispone de antenas con ancho del lóbulo de 90° será necesario realizar los ajustes necesarios en los elementos de sujeción mecánica, de tal manera que se ubiquen estas antenas en direcciones mutuamente perpendiculares.

La suma vectorial de los lóbulos de dos antenas montadas sobre los lados de una torre triangular produce un patrón de radiación de las características mostradas en la figura 3.36

De igual manera, el vértice de la torre proporciona un efecto similar a los arreglos montados sobre torres cuadradas; es decir, se origina la aparición de un lóbulo intermedio, en la dirección de yuxtaposición de las caras de la torre, produciendo un patrón delimitado por los máximos de los tres lóbulos, con las características mostradas en el gráfico 3.37.

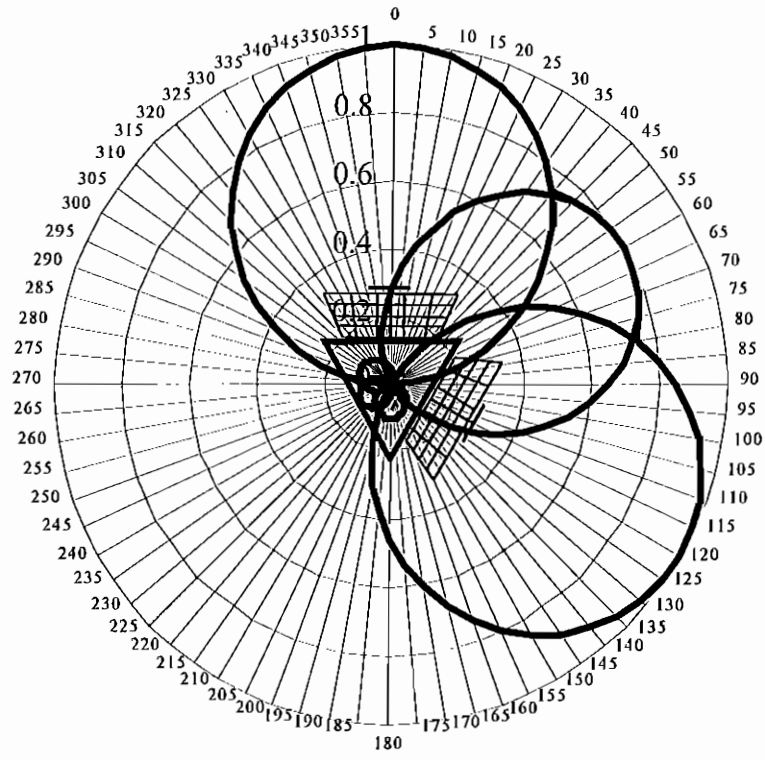


Fig.- 3.37.- Diagrama de Radiación Horizontal Final para un arreglo de antenas con ancho de lóbulo principal de 120°, colocadas en una torre de sección triangular.

Fue necesario hacer este ligero análisis como un caso especial en el que para un arreglo de antenas de TV se dispone de una torre de sección triangular en lugar de la recomendada de cuatro lados.

3.6.- REPRESENTACIÓN DE LA TORRE Y ANTENAS VISTAS SUPERIORMENTE EN EL DIAGRAMA DE RADIACIÓN HORIZONTAL.

Para facilitar la mejor comprensión de los resultados el programa contempla la graficación de una vista superior de la torre con sus antenas dispuestas en las direcciones de interés seleccionadas, de tal forma que de existir alguna confusión en el ingreso de los datos para el cálculo, haya la posibilidad de confrontar el resultado entregado con la ubicación geográfica real del punto de transmisión, con ello se podrá evaluar la acertada orientación de las antenas con respecto al norte (dirección 0°), el número correcto de antenas seleccionado para cada uno de los lados y el resultado mismo del arreglo.

Para hacer posible esta representación será necesario desarrollar un gráfico que en forma independiente represente la vista superior de las siluetas, tanto de la torre como de las antenas, las que aparecerán en número concordante con las direcciones de interés, en las que deberán considerarse la colocación de las antenas de TV ya sea para VHF ó UHF.

El ancho de la torre deberá ser elegido con la dimensión apropiada para cada una de las aplicaciones ($< 1\ \lambda$) ; esto es: menor que una longitud de onda, consiguiendo con ello evitar su influencia en el patrón de radiación resultante.

Para el caso de antenas de FM la representación no será necesaria pues el programa asumirá la instalación de todas ellas en línea, sobre la superficie de un único mástil y se limitará a aceptar la dirección de orientación seleccionada, ya sea

para el caso de radiación omnidireccional o radiación direccional con la colocación de pantallas reflectoras.

En la representación de antenas para TV, con el ingreso de los datos se seleccionará la orientación para las antenas en las diferentes direcciones de interés, sobre una de las cuales se enfocará el diagrama de radiación principal del arreglo, además que se habrá definido la ocupación de la torre (se considera para todos los casos en TV una torre de sección cuadrada).

Habrá que tener en cuenta que el programa por definición asume que la distribución de potencia a cada una de las antenas será simétrica, y luego de ingresados convenientemente los datos que determinan las direcciones del arreglo, además de seleccionado el número de antenas en el diseño que se pretende evaluar, el programa determinará la forma del diagrama radiación resultante, tanto en acimut como en elevación, con parámetros de ganancia relativos a un valor máximo unitario que coincidirá con la dirección de máxima radiación, obteniéndose además el dato de la ganancia del arreglo en dBi para cada dirección.

Bajo estas consideraciones podrá evaluarse también la ganancia en otras direcciones de interés, con solo observar el máximo valor registrado en la orientación de máxima radiación, y restar aritméticamente tantos dB. como la diferencia que se aprecia con respecto a la dirección deseada, obteniéndose por resultado el valor buscado también de dBi.

3.7 .- REPRESENTACIÓN DE LA TORRE Y ARREGLO DE ANTENAS VISTAS LATERALMENTE:

Será necesario para la mejor comprensión del arreglo de antenas, brindar al usuario la posibilidad de visualizar en forma lateral la disposición de cada una de las antenas, generalmente ubicadas en la sección superior de una torre. Esta representación resulta especialmente útil debido a que la disposición vertical de

cada una de las antenas es un parámetro extremadamente importante en el comportamiento de un arreglo.

3.7.1.- REPRESENTACIÓN DE ANTENAS DE FM :

Para el caso de las antenas FM como ya se lo señaló en el Primer Capítulo, la separación entre cada una de las antenas va de acuerdo a la recomendación directa del fabricante, siendo en términos generales un valor entre 0.7 λ y 1 λ (λ : es la longitud de onda para la frecuencia de operación). Para el caso del programa estará predeterminado que sea 0.75 λ , tal como se muestra en la figura 3.38

En los Sistemas Radiantes de FM compuestos por antenas de fabricación local siempre se ha recomendado una separación entre ellas de 0.75 λ, y para otros tipos de antenas también empleadas como aquellas de polarización vertical, se sugiere separarlas hasta un máximo de 0.95 λ. Esta última separación no se recomienda en antenas con polarización circular pues sus resultados no resultan favorables, al estrecharse el lóbulo vertical en una forma excesiva e inconveniente.

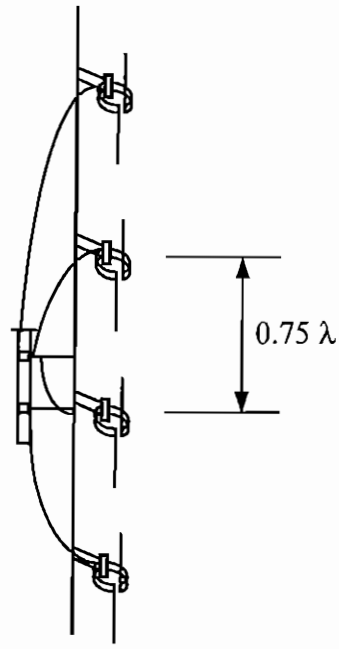


Fig. 3.38.- Representación gráfica de las antenas en un arreglo de FM

3.7.2.- REPRESENTACIÓN DE ANTENAS DE TV-VHF :

En cuanto se refiere a las antenas de TV, la presentación del arreglo con vista lateral será también muy útil y se representarán las direcciones en donde se hayan dispuesto las antenas.

Para el caso de las antenas en VHF fabricadas localmente del tipo corner reflector ó diédricas, la separación teórica óptima recomendada es 1.5 λ, pero en la práctica su instalación se guía en base al resultado del apilamiento regular de las antenas, una sobre otra en forma consecutiva y continua, sin dejar separación alguna entre ellas.

Esta modalidad para la Banda III ha sido posible, tras considerar en su construcción la longitud física de sus pantallas de forma tal, que permitan conseguir la separación adecuada con tan solo colocar una antena a continuación de la otra, topándose entre pantallas sus extremos exteriores. Para la banda I no es aplicable puesto que la longitud de onda resulta ser de varios metros y faltaría dimensión en la torre para cumplir fielmente lo indicado.

En la representación mediante un diagrama se pretenderá mostrar de una manera práctica la disposición de las antenas de televisión que han sido consideradas en un diseño dado. Tomando en cuenta que para TV se ha predeterminado el montaje siempre sobre torres cuadradas, entonces será suficiente representar dos vistas laterales, la primera que mostrará las antenas ubicadas en la cara que coincide con el acimut principal de apuntamiento y la cara opuesta de la torre, en tanto que la segunda vista mostrará las antenas que han sido ubicadas en las caras laterales.

Debido a que el diagrama de una antena difícilmente puede ser representado con una función matemática ya sea en los diagramas cartesiano o

polar, se ha recurrido a un diseño ingenioso, el cual considera los datos de ingreso relativos al número de antenas en cada acimut de apuntamiento, y en base a esta información se habilita la vista correspondiente contenida en una matriz de datos a partir de condiciones lógicas.

Para explicar esto de mejor manera, adelantémonos al hecho que en un diagrama polar, mediante la introducción de constantes se puede representar la vista lateral de tres antenas cuyos datos están asociados a cada ángulo de acimut del diagrama; estas constantes serán afectadas por un factor de multiplicación que puede tomar únicamente los valores de la lógica binaria: uno o cero. Cuando el factor de multiplicación sea la unidad, los trazos que representan la antena no se verán afectados y por tanto aparecerán visualmente, caso contrario no aparecerán.

La representación que nos interesa tanto para un diedro VHF como para un panel UHF son elementales y se representan en la figura 3.39 :

Fig. 3.39.- Representación gráfica de una antena de VHF (diédrica) y otra de UHF (panel)

Para representar tres antenas VHF en un diagrama polar hay que considerar que por cada ángulo del diagrama solamente se puede evaluar un punto, el cual se unirá con los puntos correspondientes a los ángulos aledaños, de modo que las tres rectas que componen la representación de un diedro deberán estar en distintas columnas de la tabla de datos 3.5 y por tanto, en cada columna habrán indistintamente componentes de las tres antenas, de la siguiente manera:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
0	0.7	90	0.2	180	0.7	270	0.2
5	0.8	95	0	185	0.8	275	0
10	0.9	100		190	0.9	280	
15	1	105		195	1	285	
20		110		200		290	
25		115		205		295	
30		120		210		300	
35		125		215		305	
40	0	130	0	220	0	310	0
45	0.4	135	0.4	225	0.4	315	0.4
50	0	140	0	230	0	320	0
55		145		235		325	
60		150		240		330	
65		155		245		335	
70		160		250		340	
75		165	1	255		345	1
80		170	0.9	260		350	0.9
85	0	175	0.8	265	0	355	0.8

Tabla 3.5.- Valores que permitirán representar parcialmente 3 antenas diédricas de VHF

Estos valores representarán el diagrama de la figura 3.40:

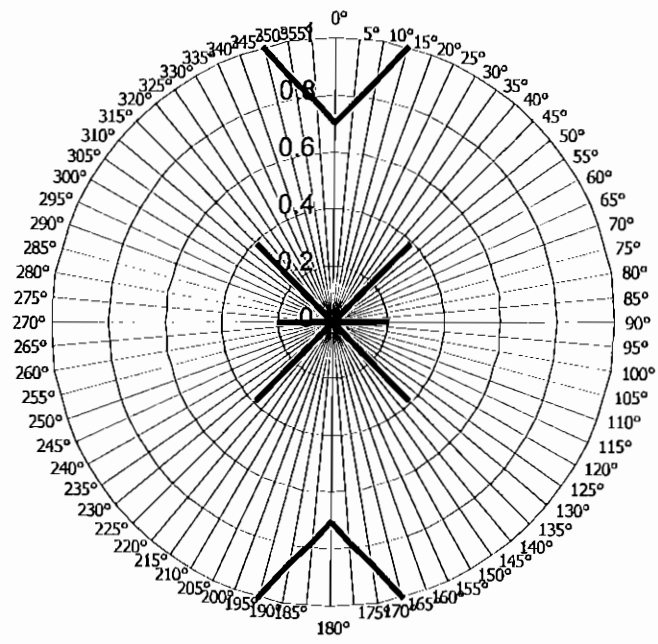


Fig. 3.40.- Representación gráfica preliminar de 3 antenas diédricas de VHF

Con los valores anteriores y los de la tabla 3.6 se representará el siguiente diagrama de la figura 3.41:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
0	0.7	90		180	0.7	270	
5	0.7	95		185	0.7	275	
10	0.7	100		190	0.7	280	
15	0.7	105		195	0.7	285	
20		110		200		290	
25		115		205		295	
30		120		210		300	
35		125		215		305	
40		130		220		310	
45		135		225		315	
50		140		230		320	
55		145		235		325	
60		150		240		330	
65		155		245		335	
70		160		250		340	
75		165	0.7	255		345	0.7
80		170	0.7	260		350	0.7
85		175	0.7	265		355	0.7

Tabla 3.6.- Valores que permitiran aproximarnos a la representación definitiva de 3 antenas VHF

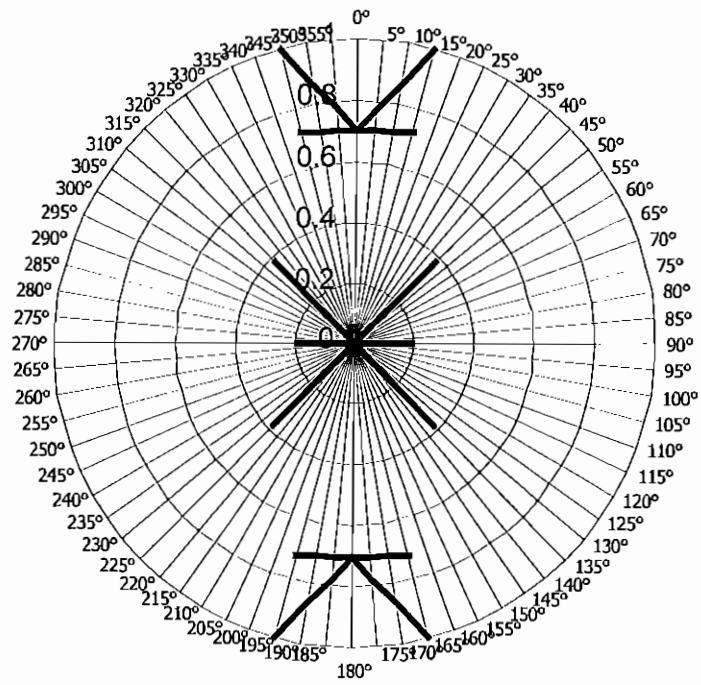


Fig. 3.41.- Representación gráfica intermedia de 3 antenas diédricas en VHF

Finalmente, se añaden los valores de la tabla 3.7 para obtener el diagrama deseado de la figura 3.42:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
0	0.7	90		180	0.7	270	
5	0.7	95		185	0.7	275	
10	0.6	100		190	0.6	280	
15	0.6	105		195	0.6	285	
20	0.5	110		200	0.5	290	
25	0.5	115		205	0.5	295	
30	0.5	120		210	0.5	300	
35		125		215		305	
40		130		220		310	
45		135		225		315	
50		140		230		320	
55		145		235		325	
60		150	0.5	240		330	0.5
65		155	0.5	245		335	0.5
70		160	0.5	250		340	0.5
75		165	0.6	255		345	0.6
80		170	0.6	260		350	0.6
85		175	0.7	265		355	0.7

Tabla 3.7.- Valores últimos que permiten representar finalmente las 3 antenas VHF

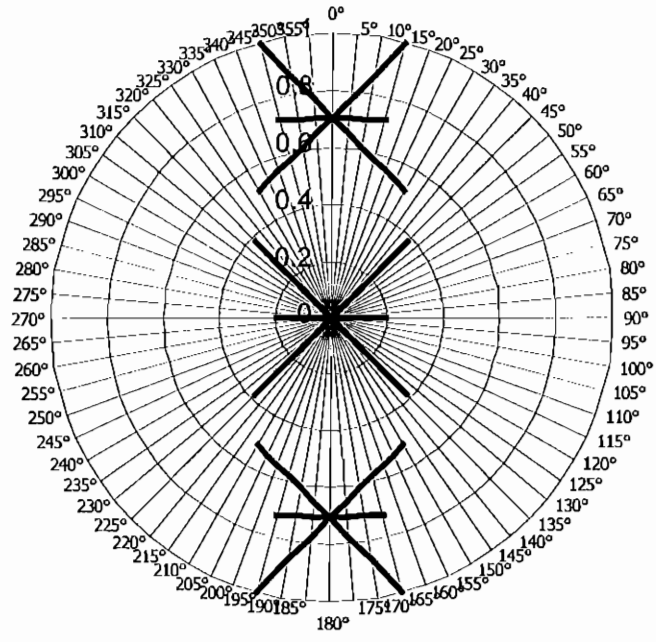


Fig. 3.42.- Representación gráfica final en dos lados para 3 antenas diédricas en VHF

Poniendo una condición lógica equivalente a "cero" al factor de multiplicación de las constantes tabuladas comprendidas entre 0° y 180°, tenemos el diagrama siguiente de la figura 3.43:

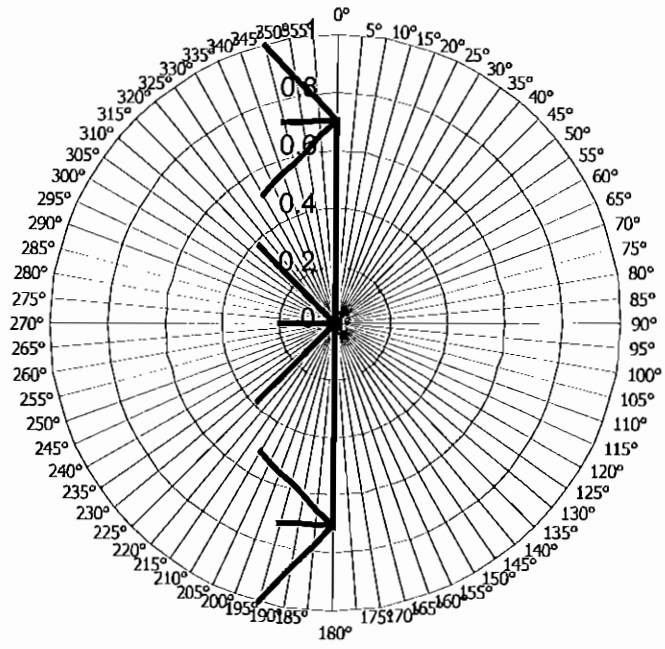


Fig. .3.43.- Representación gráfica final para un solo lado de 3 antenas diédricas en VHF

En este diagrama formado por tres columnas de datos, obtenemos los trazos necesarios para representar una, dos o tres antenas según sea el caso, dando nuevos condicionantes al factor de multiplicación; por ejemplo si deseamos eliminar la antena superior, entonces el factor de multiplicación será igual a 0 en los ángulos comprendidos entre 335° y 360°; la segunda antena será eliminada cuando este factor de multiplicación sea igual a cero en los ángulos comprendidos entre 225° y 315°; finalmente, ninguna antena aparecerá si igualamos a cero el factor de multiplicación en los ángulos comprendidos entre 180° y 210°. En todo caso, la línea vertical central será superpuesta a la arista de la torre.

Los datos comprendidos entre 0° y 180° servirán para representar un diagrama simétrico para las antenas que se encuentran en el sentido opuesto de

la torre, es decir, con un acimut superior en 180° al de la dirección principal de apuntamiento. Superponiendo entonces cuatro de estos diagramas sobre la sección frontal de la torre, dos de ellos en la parte superior y los restantes en la parte inferior, conseguiremos la representación de hasta 12 antenas; si adicionalmente en cada diagrama eliminamos la graficación de la retícula polar, obtendremos un diagrama general de las siguientes características:

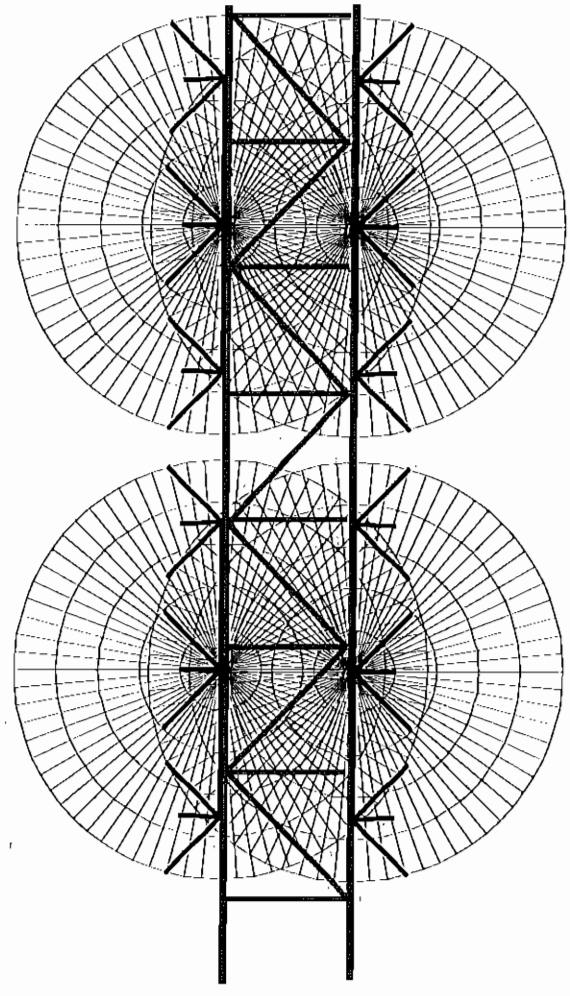


Fig. 3.44- Representación gráfica del Sistema Radiante de TV en VHF

En este gráfico (Fig. 3.44), apenas se ha atenuado la intensidad del color de las retículas; en el diagrama definitivo, estas retículas son completamente eliminadas.

3.7.3.- REPRESENTACIÓN DE ANTENAS DE TV-UHF :

Finalmente para los arreglos de TV en el rango de UHF, considerando el empleo de los paneles compuestos por un arreglo interno de 4 dipolos, ellos han sido diseñados para ser colocados consecutivamente, separados unos de otros una distancia regular estándar de 1 m., medido entre centros de cada panel (centro geométrico o centro de radiación), por lo que su instalación se convierte en una tarea sumamente sencilla, de ágil comprensión al no existir complicación mecánica ni ser difícil su manipulación en la torre, para configurar los sistemas de radiación esperados.

De manera similar a lo tratado con las antenas de TV en VHF, el comportamiento de un arreglo de paneles UHF deberá también ser analizado por cada cara de manera particular, considerando el número y la orientación de cada una de ellas, debiéndose también analizar en forma individual la "inclinación electrónica", la que en ciertos casos podría resultar general para todo el arreglo.

Resulta necesario mencionar que se encuentran arreglos de ciertos fabricantes que recurren frecuentemente al uso de la "inclinación mecánica", de una o varias filas de paneles en la dirección requerida, lo que funciona bastante bien pero demanda una complicación mecánica que bien vale la pena evitar.

Para el caso de los paneles UHF, el procedimiento es muy similar; los datos son los indicados en la tabla 3.8, resultando el gráfico de la figura 3.45:

Primera Columna:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
180	1	195	0.7	...		345	0.7
185	1	200	0.5	335	0.4	350	1
190	1	105	0.4	240	0.5	355	1

Segunda Columna:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
180	0.352	195	0.373	...		345	0.373
185	0.356	200	0.388	335	0.41	350	0.363
190	0.363	105	0.41	240	0.388	355	0.356

Tercera Columna:

θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor	θ°	Valor
180	0.319	225	0.241	270	0.169	315	0.241
185	0.315	230	0.223	275	0.171	320	0.266
190	0.315	235	0.21	280	0.172	325	0.296
195	0.32	240	0.197	285	0.176	330	0.34
200	0.324	245	0.19	290	0.182	335	0.334
205	0.334	250	0.182	295	0.19	340	0.324
210	0.34	255	0.176	300	0.197	345	0.32
215	0.296	260	0.172	305	0.21	350	0.315
220	0.266	265	0.171	310	0.223	355	0.315

Tabla 3.8.- Conjuntos de valores para representar un arreglo de 3 paneles UHF

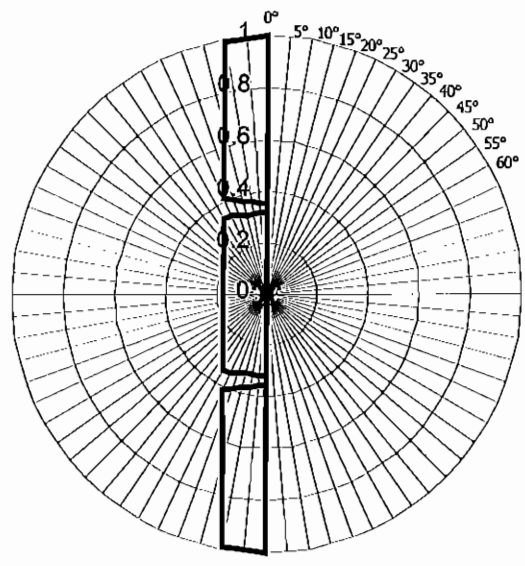


Fig. 3.45.- Representación gráfica básica para un arreglo de paneles UHF

De la misma manera, el diagrama final para arreglos de antenas de televisión en la banda de UHF quedará expresado como lo muestra la figura 3.46:

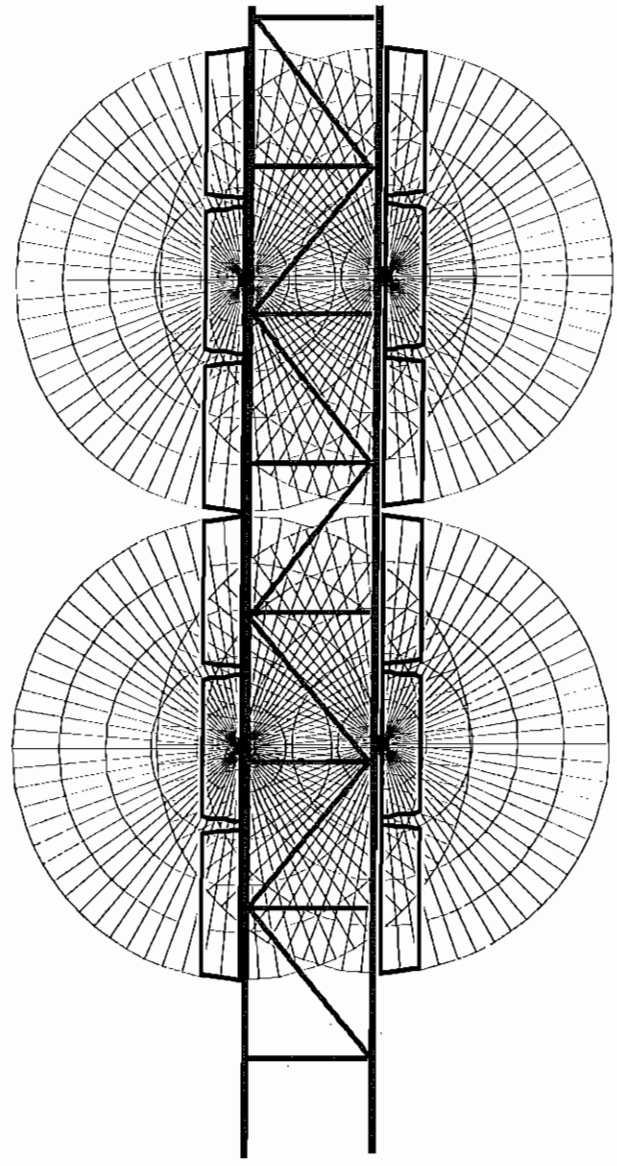


Fig. 3.46.- Representación gráfica final del Sistema Radiante de TV en UHF

3.8.- DESARROLLO DE MACROS PARA INTEGRAR TODAS LAS HOJAS DE CÁLCULO DENTRO DEL LIBRO GENERAL

Es conveniente recordar que se eligió el paquete MS-EXCEL por su versatilidad en cuanto a representación gráfica de datos y facilidades de integración de tareas mediante la utilización de Macros.

Las Macros a utilizar para efectos de representación gráfica de patrones de radiación de antenas, en realidad no desempeñan tareas de cálculo, no siquiera introducción de datos, tan solamente interacción visual de los elementos gráficos resultantes; esto quiere decir, que se ha escogido una hoja de cálculo para representar un diagrama horizontal FM, otra hoja para representar el diagrama vertical FM, otras dos hojas similares para representación de los patrones de arreglos de antenas de TV y una quinta hoja para presentación del paquete, inicio y selección de la aplicación. Adicionalmente existe una hoja de cálculo por cada uno de los diagramas descritos anteriormente, en las cuales se tienen los datos angulares necesarios y sus correspondientes funciones angulares aplicadas en cada caso. Estas últimas hojas de cálculo no son de interés del usuario y por tanto es conveniente protegerlas y ocultarlas del libro; el procedimiento respectivo se detalla más adelante, en el numeral 3.9 de este capítulo.

Para facilitar el objeto mismo de este paquete, el usuario tendrá la posibilidad de introducir datos en la misma hoja que se presentan los resultados; esto permite de una manera dinámica e instantánea ver el comportamiento del arreglo de antenas que el usuario está diseñando. Esto es posible mediante la asignación fija de celdas para la introducción de datos y un campo definido para que el diagrama muestre el resultado esperado.

Debido a que se trata de un Libro de MS-Excel, el usuario en cualquier momento puede grabar dicho libro en las condiciones últimas tanto de datos como de resultados mostrados, y al momento de abrir nuevamente este libro, lo que aparecerá en pantalla será la vista de la hoja desde la cual se guardó por última vez el libro, por este motivo será conveniente regresar a la página de inicio y guardar, o sencillamente salir del libro sin guardar las modificaciones realizadas.

Lo que nos interesa es que al cambiar de una a otra hoja, la Macro ubique al usuario en la primera celda que contiene el campo de introducción de datos. Esto es posible utilizando la opción "Macro" del menú "Herramientas", de la cual

se escogerá la opción "Grabar nueva Macro". Dando un nombre adecuado a la macro a grabar, tal como el nombre de la hoja destino, aparecerá un ícono con el símbolo de Stop, indicando que la grabación está en proceso y terminará en el momento que sea presionado este ícono. En el transcurso de este período, la Macro grabará exactamente y en el mismo orden la secuencia de eventos y controles que sean ejecutados.

De un modo certero, dentro del proceso de grabación de la nueva Macro, podemos cambiar de hoja aplicando la selección adecuada dentro del listado que aparece en la parte inferior y finalmente ubicándonos en la celda de datos; inmediatamente se puede detener la grabación e iniciar una nueva para regresar de la hoja destino a la hoja inicio. Las Macros necesarias que hayan sido grabadas con su respectivo nombre pueden ejecutarse indistintamente, una y otra vez dependiendo de los resultados a los que desee acceder el usuario. Para brindar más comodidad, se pueden ejecutar las Macros con solamente un "clic" del Mouse presionando un botón que contenga el nombre de la Macro seleccionada. La asignación de una Macro a un botón contenido en la hoja de gráficos es factible de la siguiente manera:

Una vez grabada una Macro para cambio de página, se deberá seleccionar la opción "Barra de herramientas" contenida en el menú "Ver", y de allí escoger la opción "Formularios". Inmediatamente aparecerá una nueva barra de herramientas con varios íconos, de los cuales el que nos interesa es el ícono "Botón", el cual permitirá realizar un trazo delimitando el tamaño de un botón gráfico rectangular con la aparición de una nueva ventana solicitando el nombre de la Macro a la cual será asignada dicho botón. Una vez asignada la Macro, podemos dar un nombre al botón para identificar la hoja o el gráfico al que nos desplazará dicha Macro.

Las Macros que van incluidas en nuestro libro de Diagramas de Radiación, son un total de dos en la hoja de inicio, y dos en cada una de las hojas que contienen gráficos, una de ellas para direccionar a la hoja que contiene el

diagrama complementario y la otra para direccionar al usuario hacia la hoja de inicio. Considerando que esta última Macro es común para todas las cuatro hojas que contienen diagramas, así también las que direccionan al usuario a los diagramas horizontales tanto de FM como de TV, habrá entonces un total de 5 Macros, las cuales, en nuestro caso particular tienen los siguientes nombres: Inicio; FMH; FMV; TVH y TVV, denotando la aplicación tanto para FM como para TV, y el tipo de diagrama (Horizontal o Vertical).

Una presentación visual más detallada de los botones existentes que contienen macros es la mostrada en el siguiente numeral de este capítulo.

3.9.- INTRODUCCIÓN DE DATOS, PRESENTACIÓN DE DATOS DE SALIDA Y ASPECTOS DE PROTECCIÓN DEL PROGRAMA

Para obtener la representación gráfica de los diagramas de radiación de un arreglo de antenas para FM requerimos como datos la frecuencia de operación, el acimut de máxima radiación y el número de antenas. Las consideraciones preliminares establecen un sistema lineal; es decir, antenas alineadas verticalmente sobre un mismo eje, pues, como hemos dicho, se trata de antenas de patrón omnidireccional; otra consideración es la separación vertical constante en 0.75 veces su longitud de onda; una consideración adicional es que las características de radiación se mantienen en toda la banda de FM; por tanto la frecuencia afectará solamente al lóbulo vertical.

Hemos dicho también que la ganancia de los radiadores FM es muy baja y que el arreglo típico de 4 antenas da una ganancia resultante de 3.3 d B; con lo cual, si se realiza un arreglo con diferente número de antenas, se mantiene el patrón horizontal y varían tan solamente el patrón vertical y la ganancia del arreglo. Dicho esto, el valor de la ganancia total del arreglo debe también considerarse como resultado inmediato en la hoja de datos.

Para el caso de antenas de Televisión, es conveniente conocer como primer paso la frecuencia del canal a utilizar; y a fin de identificar la potencia efectiva radiada en cada dirección, se debe determinar seguidamente los diferentes azimut mutuamente ortogonales sobre los cuales irán orientadas las antenas, el número de antenas en cada dirección, la potencia de transmisión, pérdidas en la línea de transmisión, e inclinación electrónica dada a cada cara del arreglo.

Para facilitar la introducción del dato de la frecuencia, conviene identificar solamente el canal VHF o UHF en que operará la estación, y mediante una sección independiente de cálculo, establecer la frecuencia de vídeo correspondiente. El valor de atenuación en la línea de transmisión exige la selección de un tipo específico de línea a utilizar, cuya atenuación dependerá tanto de la longitud de la línea como de la frecuencia de operación.

La frecuencia portadora de vídeo puede obtenerse mediante una combinación de cálculos y condicionantes lógicas en una sola función, y en una sola celda de cálculo, de la siguiente manera:

Sea "M20" la celda que contiene el dato del canal de TV,

la frecuencia portadora de vídeo en otra celda cualquiera puede obtenerse mediante una relación como la siguiente:

= (SI(M20<6.5,1,0))*(SI(M20<4.5,43.25+M20*6,47.25+M20*6))+(SI(M20<13.5,133.25+ M20*6,465.25+((M20-13)*6))*(SI(M20>6.5,1,0)))

La primera parte de la función, previo al signo "mas" (+), es un condicionante que se cumplirá solamente para canales VHF en banda primera, desde 6 hacia abajo; la segunda parte de la función es válida con dos ecuaciones diferentes para canales VHF en banda tercera o canales UHF.

Para determinar la atenuación por línea de transmisión se debe adicionar una hoja de cálculo con tabulación de niveles de atenuación según la frecuencia y según la línea seleccionada. Las líneas comunmente utilizadas corresponden al cable coaxial RG-8, línea de ½", línea de 7/8" y línea de 1-5/8" de diámetro, cuyos niveles de atenuación se resumen en la siguiente tabla:

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACION (dB /100 m)			
	Cable RG8-8214	Cable ½" LDF4-50A	Cable 7/8" LDF5-50A	Cable 1-5/8" HJ7-50A
0.5	0.43	0.152	0.0804	0.048
1	0.5	0.217	0.115	0.069
1.5	0.569	0.266	0.141	0.085
2	0.637	0.308	0.164	0.098
10	1.6	0.692	0.367	0.223
20	2.299	0.985	0.525	0.319
30	2.901	1.21	0.646	0.394
50	3.9	1.57	0.843	0.512
88	5.332	2.1	1.13	0.69
100	5.9	2.24	1.21	0.738
108	6.233	2.34	1.26	0.769
150	7.654	2.77	1.5	0.919
174	8.297	3	1.63	0.997
200	8.9	3.23	1.76	1.08
300	12.007	4	2.18	1.35
400	13.8	4.66	2.56	1.58
450	15.215	4.96	2.74	1.69
500	16.281	5.26	2.9	1.79
512	16.502	5.32	2.94	1.82
600	17.85	5.8	3.21	1.99
700	19	6.31	3.5	2.18
800	20.754	6.79	3.78	2.36

Tabla 3.9.- Datos de atenuación en función de la frecuencia para 4 tipos de líneas de transmisión

Mediante técnicas de interpolación logarítmica se puede obtener el nivel de atenuación exacto a la frecuencia dada y a la longitud dada. Se asume una longitud típica de 30 m.

La elección de la línea es un proceso simple, mediante la introducción de un "Cuadro combinado", el cual puede ser seleccionado dentro de la barra de

herramientas "Formularios" que se encuentra en el menú "Ver". En el Cuadro combinado se debe especificar el rango de celdas en el que constan los nombres de las líneas de transmisión disponibles y dependiendo de esta selección se asigna automáticamente a una celda específica el número correspondiente a tal selección; con este número se habilita el número de columna correspondiente a la matriz de la tabla anterior para seguidamente realizar la interpolación.

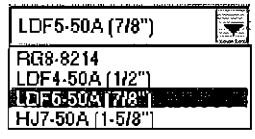


Tabla 3.10.- "Cuadro Combinado" para la selección de la línea de transmisión.

En cuanto a los ángulos de acimut sobre los cuales irán montadas las antenas en la torre, conviene solamente definir la dirección principal; las direcciones laterales y opuesta pueden ser automáticamente determinadas mediante una relación simple que adiciona 90°, 180° o 270° según sea el caso. Con esto, se reduce al máximo el número de datos que deben ser alimentados en la hoja correspondiente.

Como resultados inmediatos deben figurar la frecuencia de la portadora de vídeo, la ganancia del sistema y la potencia efectiva radiada hacia cada lado del arreglo. La obtención de la ganancia en cada dirección del arreglo fue explicada anteriormente y sirve para determinar la potencia efectiva mediante la adición del nivel de potencia de salida y la sustracción del nivel de atenuación dado por la línea.

Finalmente, para efectos de mejorar la presentación de la hoja de inicio y de las hojas que contienen diagramas, puede resultar conveniente adicionar elementos gráficos que faciliten la identificación de los objetos de selección y de las celdas asignadas para introducción de datos. Pese a que la vista en pantalla de la hoja de datos muestra todos los elementos, se puede restringir la impresión de varios elementos, especialmente los elementos gráficos.

Una vez expuestas las consideraciones anteriores, el campo de introducción de datos queda delimitado de la manera mostrada en la figura 3.47:

Fig. 3.47.- Datos ingresados para la consecución de los resultados.

Y la hoja total con datos y resultados quedará diseñada conforme la figura 3.48 :

Fig. 3.48.- Representación de los resultados, conjuntamente con los datos de cálculo.

El Diagrama correspondiente al patrón horizontal quedará determinado por la retícula polar con radiales cada 5°, niveles relativos de campo eléctrico desde 0 hasta la unidad con divisiones principales de 0.2 y secundarias de 0.1. Adicionalmente el diagrama muestra una función para la torre cuadrada y una función para mostrar los diagramas de paneles ubicados sobre los lados de la torre que contienen antenas, cuyos datos también giran según la orientación principal del arreglo de antenas. Ver figura 3.49

Fig. 3.49.- Composición gráfica del resultado para el usuario.

Las constantes que permiten graficar la torre cuadrada en el diagrama polar son las que se muestran en la tabla 3.11 :

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	0.1593	90	0.1593	180	0.1593	270	0.1593
5	0.160875	95	0.160875	185	0.160875	275	0.160875
10	0.162	100	0.162	190	0.162	280	0.162
15	0.165825	105	0.165825	195	0.165825	285	0.165825
20	0.16965	110	0.16965	200	0.16965	290	0.16965
25	0.176175	115	0.176175	205	0.176175	295	0.176175
30	0.1845	120	0.1845	210	0.1845	300	0.1845
35	0.1944	125	0.1944	215	0.1944	305	0.1944
40	0.208125	130	0.208125	220	0.208125	310	0.208125
45	0.225	135	0.225	225	0.225	315	0.225
50	0.208125	140	0.208125	230	0.208125	320	0.208125
55	0.1944	145	0.1944	235	0.1944	325	0.1944
60	0.1845	150	0.1845	240	0.1845	330	0.1845
65	0.176175	155	0.176175	245	0.176175	335	0.176175
70	0.16965	160	0.16965	250	0.16965	340	0.16965
75	0.165825	165	0.165825	255	0.165825	345	0.165825
80	0.162	170	0.162	260	0.162	350	0 162
85	0.160875	175	0.160875	265	0.160875	355	0.160875

Tabla. 3.11.- Datos para representar una torre cuadrada en el diagrama polar

Las constantes que permiten representar a las antenas tipo panel UHF vienen dadas de acuerdo a los datos de la tabla 3.12, y serán mostrados en cada dirección mediante criterio de decisión solamente en el caso que exista por lo menos una antena en la dirección considerada, caso contrario, la función se adaptará a los datos de la torre cuadrada descritos en la tabla 3.11 anterior.

Para el caso de antenas diédricas VHF, las constantes que permiten su representación sobre los lados de la torre cuadrada son las que se muestran en la tabla 3.13 ; el criterio de decisión se mantiene igual que en el caso anterior.

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	0.26163	90	0.1593	180	0.1593	270	0.1593
5	0.26271	95	0.160875	185	0.160875	275	0.160875
10	0.26487	100	0.162	190	0.162	280	0.162
15	0.27	105	0.165825	195	0.165825	285	0.165825
20	0.24237	110	0.16965	200	0.16965	290	0.16965
25	0.225	115	0.176175	205	0.176175	295	0.176175
30	0.1845	120	0.1845	210	0.1845	300	0.1845
35	0.1944	125	0.1944	215	0.1944	305	0.1944
40	0.208125	130	0.208125	220	0.208125	310	0.208125
45	0.225	135	0.225	225	0.225	315	0.225
50	0.208125	140	0.208125	230	0.208125	320	0.208125
55	0.1944	145	0.1944	235	0.1944	325	0.1944
60	0.1845	150	0.1845	240	0.1845	330	0.1845
65	0.176175	155	0.176175	245	0.176175	335	0.225
70	0.16965	160	0.16965	250	0.16965	340	0.24237
75	0.165825	165	0.165825	255	0.165825	345	0.27
80	0.162	170	0.162	260	0.162	350	0.26487
85	0.160875	175	0.160875	265	0.160875	355	0.26271

Tabla 3.12.- Datos para representar paneles UHF montados sobre torre cuadrada en el diagrama polar

θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx	θ°	E/Emáx
0	0.2721	90	0.1062	180	0.1062	270	0.1062
5	0.2739	95	0.10725	185	0.10725	275	0.10725
10	0.2775	100	0.108	190	0.108	280	0.108
15	0.282	105	0.11055	195	0.11055	285	0.11055
20	0.2889	110	0.1131	200	0.1131	290	0.1131
25	0.3	115	0.11745	205	0.11745	295	0.11745
30	0.2124	120	0.123	210	0.123	300	0.123
35	0.1668	125	0.1296	215	0.1296	305	0.1296
40	0.1371	130	0.13875	220	0.13875	310	0.13875
45	0.15	135	0.15	225	0.15	315	0.15
50	0.13875	140	0.13875	230	0.13875	320	0.1371
55	0.1296	145	0.1296	235	0.1296	325	0.1668
60	0.123	150	0.123	240	0.123	330	0.2124
65	0.11745	155	0.11745	245	0.11745	335	0.3
70	0.1131	160	0.1131	250	0.1131	340	0.2889
75	0.11055	165	0.11055	255	0.11055	345	0.282
80	0.108	170	0.108	260	0.108	350	0.2775
85	0.10725	175	0.10725	265	0.10725	355	0.2739

Tabla 3.13.- Datos para representar antenas diédricas VHF sobre torre cuadrada en el diagrama polar

Con solamente cambiar el dato de entrada correspondiente al canal, por uno en la banda de VHF, se tendrá un diagrama muy similar pero con la representación de antenas diédricas VHF en vez de paneles UHF, pudiendo obtener en pantalla la siguiente vista representada en la figura 3.50 :

Fig. 3.50.- Representación del diagrama de Radiación generado por antenas tipo diedro VHF.

ASPECTOS DE PROTECCION DEL PROGRAMA:

Primeramente, es de considerable interés restringir dentro de una hoja, aquellas celdas que presentan resultados, puesto que el usuario accidentalmente

puede borrar las fórmulas de cálculo y grabar en esas condiciones el libro. También es de mucha importancia restringir la presentación en pantalla a la zona donde exclusivamente se encuentran los datos y el resultado; esto con el fin de no desplazarse dentro de la hoja a zonas vacías o sin interés y evitar la pérdida de tiempo en búsqueda del área de trabajo. Adicionalmente, es importante no descuidar la posibilidad de que el contenido del libro se vea afectado por las funciones de edición tal como la introducción o eliminación de filas, columnas, objetos gráficos u hojas. Finalmente, es apropiado restringir el uso de este libro a personas no autorizadas, que pueden dar mal uso e inclusive distribuir copias sin autorización del autor.

Para tales fines, MS-EXCEL dispone de algunas operaciones que facilitarán los propósitos mencionados. Con respecto a la protección de celdas, el mecanismo a seguir consiste en desbloquear las celdas destinadas a la introducción de datos mediante el menú "Formato", opción "Celdas", opción "Proteger" y seleccionar el casillero "Desbloqueada", con lo cual, al seleccionar el menú "Herramientas", opción "Proteger", opción "Proteger Hoja", las celdas seleccionadas anteriormente quedarán libres para introducir datos en tanto que las celdas restantes de toda la hoja de cálculo quedarán bloqueadas, impidiendo al usuario realizar modificaciones. Para proceder al bloqueo definitivo de una hoja, MS-Excel despliega una ventana temporal en la que opcionalmente se puede escribir una contraseña; la hoja quedará bloqueada a menos que se desbloquee introduciendo exactamente la misma contraseña con que fue protegida. El bloqueo de una hoja limita toda clase de edición de la misma.

Para inmovilizar la vista de la hoja en la cual están contenidos los datos de entrada y los diagramas resultantes, se puede recurrir al menú "Ventana", opción "Inmovilizar Paneles"; con esta opción permanecerá estática la presentación en pantalla de la hoja de cálculo pese a que se desplace el Mouse o se utilicen las teclas de desplazamiento. Es importante tener presente que la inmovilización de la vista se efectúa a partir de la celda desde la cual se procedió

a la inmovilización, conservando todo lo que se encuentra hacia arriba y hacia la izquierda de dicha celda.

Las hojas de cálculo que contienen funciones lógicas, matemáticas, trigonométricas y aún las columnas con resultados de las evaluaciones angulares no son de interés del usuario por cuanto en si mismas no contienen información a ser interpretada por el usuario, por tanto es conveniente ocultarlas, lo cual es factible mediante la aplicación del menú "Formato", opción "Hoja", opción "Ocultar".

La protección final que se puede plantear al libro de MS-EXCEL consiste en aplicar una contraseña de apertura, de modo que solo el usuario autorizado se encuentre en condiciones de acceder a este paquete. El procedimiento es el más sencillo posible y consiste en guardar el documento utilizando el menú "Archivo", opción "Guardar como", opción "Opciones ..." y registrar la Contraseña de protección deseada.

De lo analizado en este capítulo, podríamos concluir que todos los aspectos descritos tienden a presentar un paquete funcional y estéticamente amigable al usuario, y especialmente hacia aquellos que no tengan una gran experiencia en diseño de un Sistema Radiante en general.

CAPITULO IV

APLICACIONES PRACTICAS DEL PROGRAMA DE PATRONES DE RADIACIÓN

Se planteó la posibilidad de analizar varios casos de aplicación para configurar arreglos de antenas, entre ellos se consideró también el empleo de inclinación mecánica, y el uso de una torre de sección triangular para la colocación de antenas diédricas de TV, que tal como se había mencionado en el planteamiento original del programa, no estarían considerados entre las posibilidades de su utilización por considerarse casos no típicos, ni recomendados para el empleo de las antenas estudiadas, por tanto para documentar y analizar las aplicaciones especiales será necesario recurrir en esos casos a un paquete de cálculo para arreglos que contemplen estas generalidades, y para ello se empleará el "SR" PRECEDURE de la empresa italiana TELECOMUNICAZIONI ALDENA SRL.

Al utilizar el programa propuesto en esta tesis entonces estaremos en capacidad de diseñar solo los arreglos que cuentan con inclinación electrónica, y en el caso de las antenas diédricas de TV solo para uso en torres de sección cuadrada,

complementando el resto de casos con la información proporcionada por el programa de cálculo auxiliar.

Para una mejor comprensión de los resultados, se presentará una composición particular para la presentación de cada arreglo, compuesta tanto por el diagrama horizontal como por el diagrama vertical, adicionalmente a ello será necesario justificar la forma práctica de obtención para cada uno de los arreglos de antenas, indicando la manera como se ha distribuido la señal, sea ésta de forma simétrica en todas direcciones, o por el contrario favoreciendo con mayor señal a una o varias direcciones de especial interés.

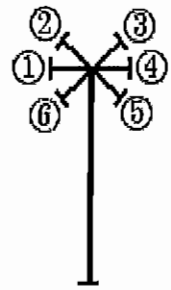
Es necesario aclarar que en los casos de aplicación donde se propone alimentación con fases diferentes, se ha visto conveniente utilizar estas variaciones justificándolo en el hecho de implementar inclinación electrónica en sus coberturas, con ello se cumple el requerimiento propuesto y nos permite desarrollar de manera conveniente los ejemplos solicitados.

A continuación los diferentes diagramas de aplicación:

4.1.- Diagrama para arreglos con inclinación del lóbulo de radiación

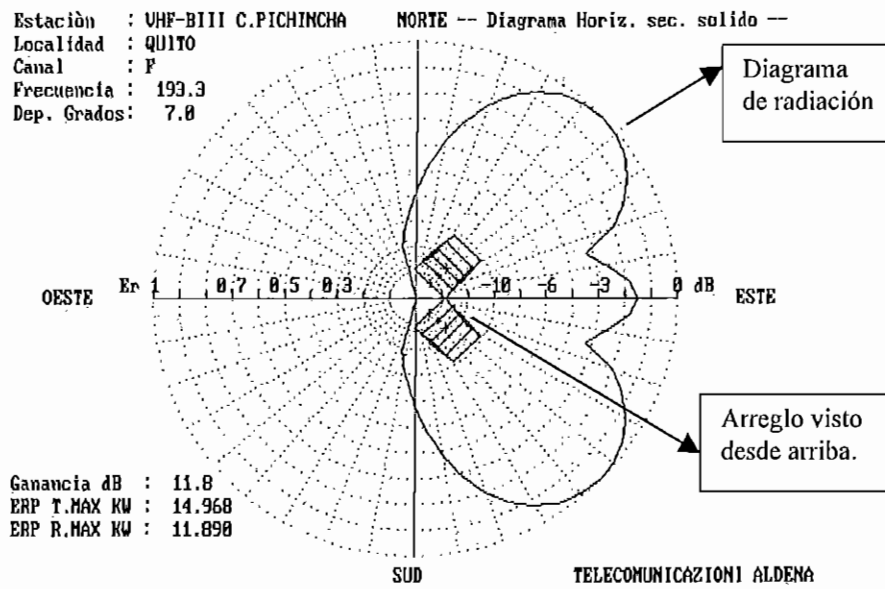
Para este ejemplo se ha considerado la radiación desde un cerro que esté próximo a la zona a cubrir, y que exista una considerable diferencia de altura entre el punto de transmisión el área de servicio, para ello nada mejor que escoger el caso de la ciudad de Quito y como punto de transmisión el cerro Pichincha.

4.1.1.- Inclinación mecánica: Arreglo de 6 diedros en dos direcciones (3+3)



6 Vías

1 0.1666 P ; 0° 4 0.1666 P ; 0°
2 0.1666 P ; 0° 5 0.1666 P ; 0°
3 0.1666 P ; 0° 6 0.1666 P ; 0°



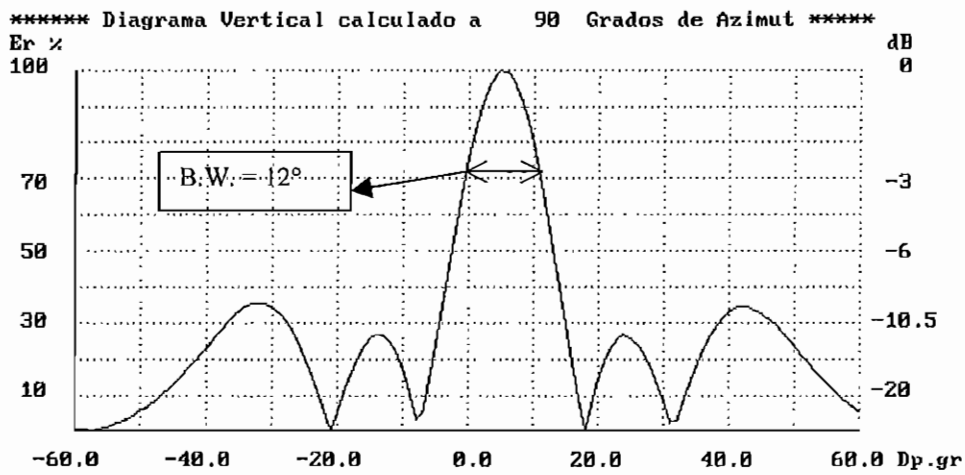


Fig. 4.1.- Diagrama para arreglo de antenas con inclinación mecánica.

4.1.2.- Inclinación electrónica: Arreglo de 6 diedros en dos direcciones (3+3)

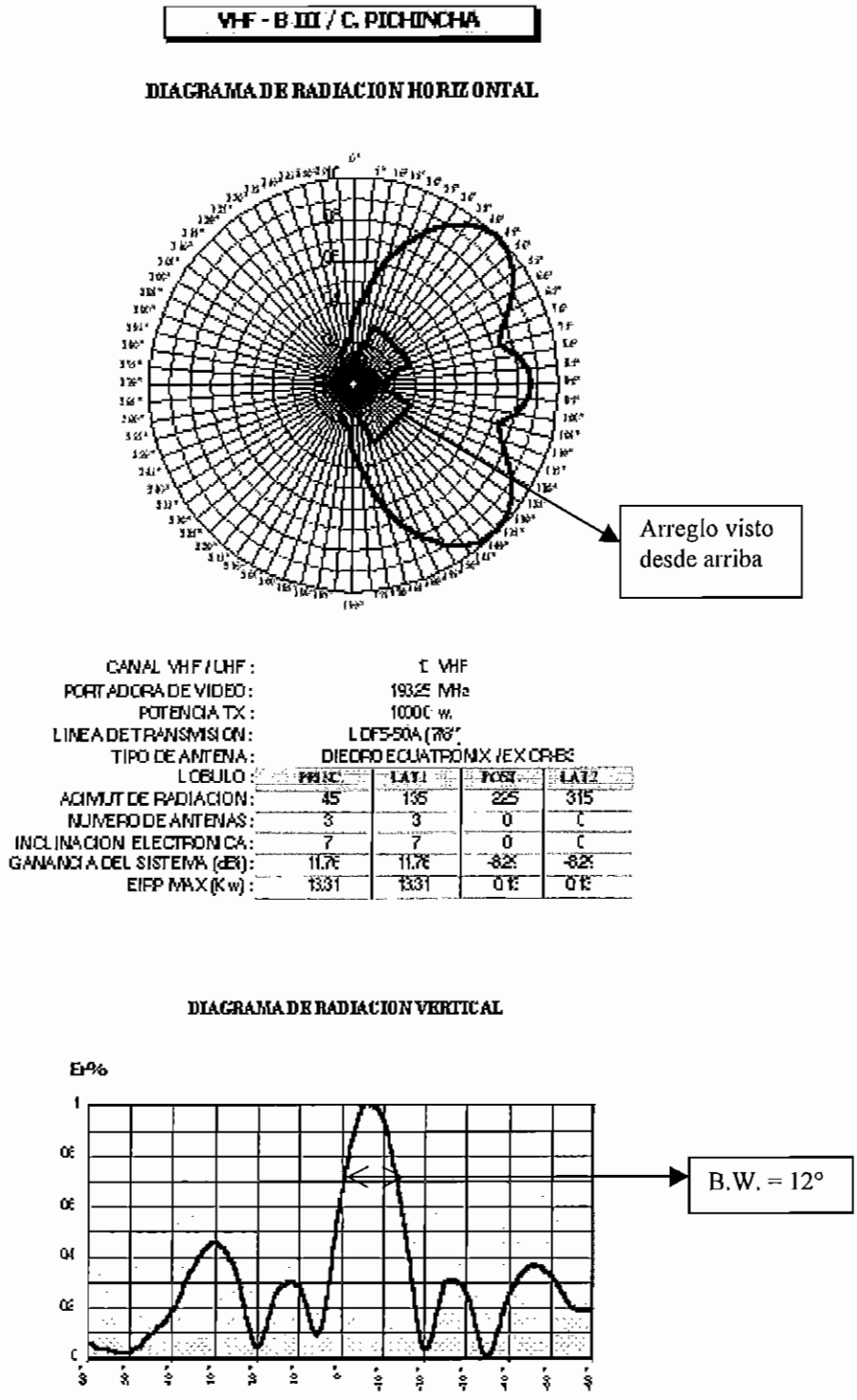


Fig. 4.2.- Diagrama para arreglo de antenas con inclinación electrónica.

4.2.- Diagramas de arreglos en torres triangulares con combinaciones de potencia y fase

Para este ejemplo es conveniente volver a considerar en el análisis el caso de la cobertura sobre la ciudad de Quito, conservando el punto de transmisión también en el cerro Pichincha.

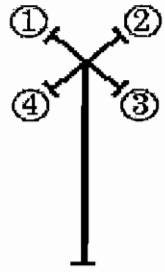
Como ya se dijo anteriormente, la utilización de antenas tipo diédricas de TV colocadas sobre torre de sección triangular no tendrán por resultado un diagrama de radiación conveniente, salvo en el caso de utilizar una sola cara de transmisión, lo que se podría analizar de idéntica forma que si estuviera instalada en un mástil o en una torre de sección cuadrada.

Como veremos a continuación, el resultado expondrá por si mismo las limitaciones indicadas por el uso de este tipo de torre, por lo que definitivamente bien vale haber tomado este ejemplo de aplicación, pues se consigue demostrar concluyentemente las razones expuestas de restricción asumidas.

Para este grupo de ejemplos se utilizarán un total de 4 y 3 antenas de TV en la banda III, configurando un arreglo con cobertura hacia dos direcciones principales de 2 antenas cada una, o de 2 y 1 antenas, constituyendo dos frentes de radiación que posibiliten cubrir un sector que contemple hasta 180°, en este caso correspondería al área que comprende toda la extensión de la ciudad de Quito en sentido longitudinal.

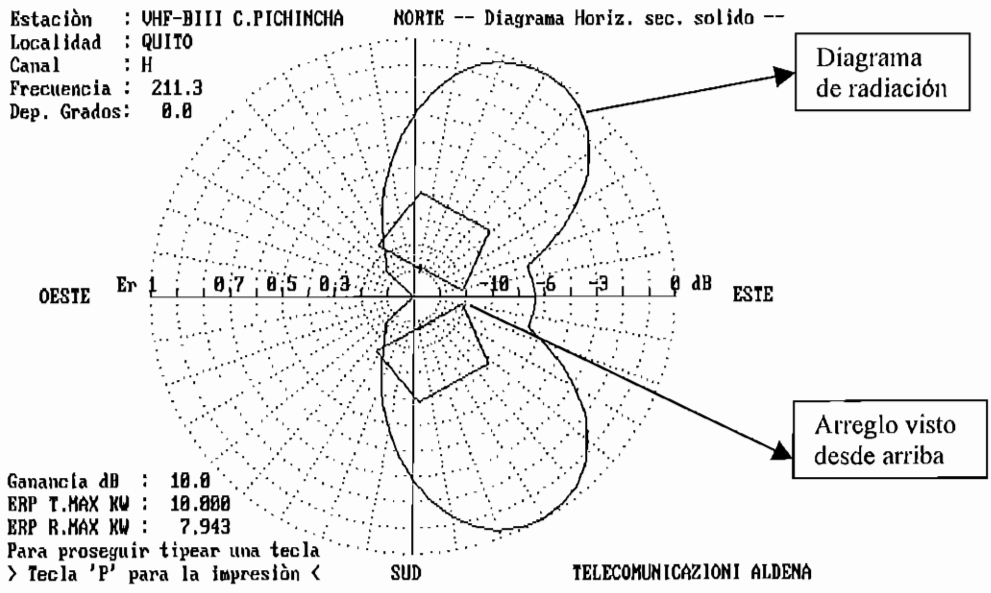
Para los casos de diferente potencia se dará preferencia al sector norte con dirección 30°, resultando una menor señal de radiación para la dirección sur correspondiente a los 150°.

4.2.1.- Igual potencia e igual fase: Arreglo de 4 diédros en 2 direcciones (2+2)



1 0.25 P ; 0° 3 0.25 P ; 0°
2 0.25 P ; 0° 4 0.25 P ; 0°

4 Vías



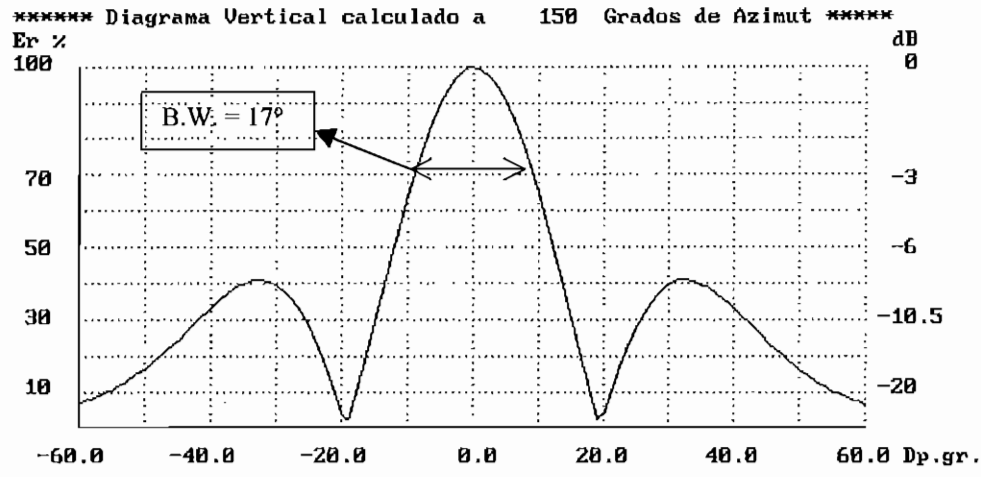
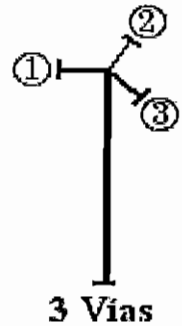


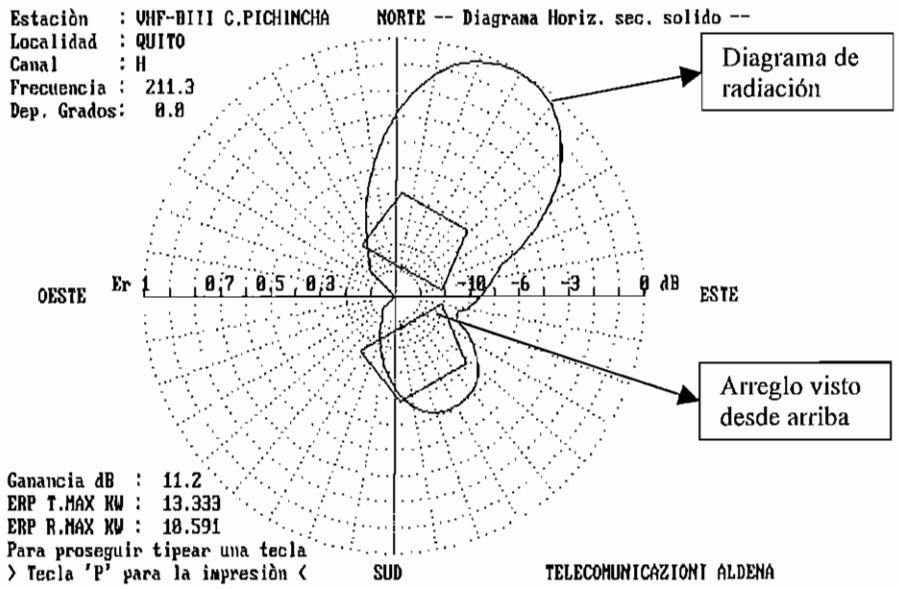
Fig. 4.3.- Diagrama para arreglo de antenas alimentadas con igual potencia e igual fase.

4.2.2.- Potencia diferente e igual fase: Arreglo de 3 diedros en 2 direcciones (2+1)



1 0.3333 P ; 0° 3 0.3333 P ; 0°

2 0.3333 P ; 0°



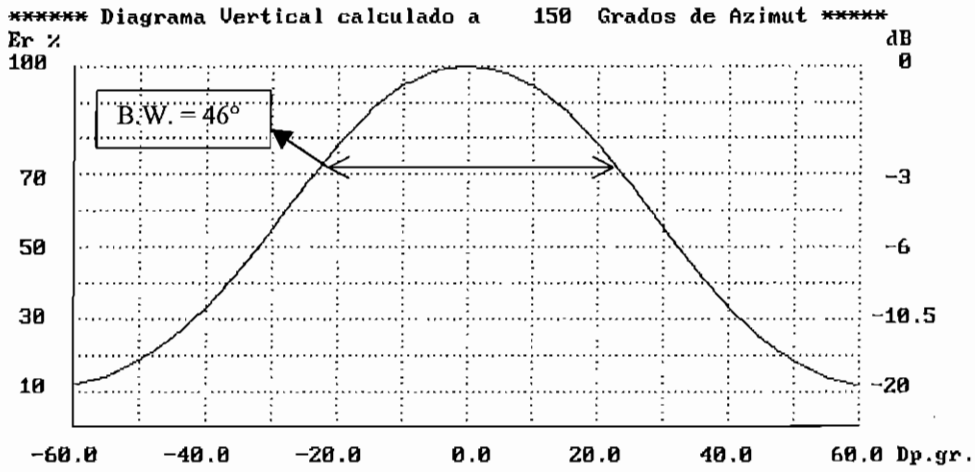
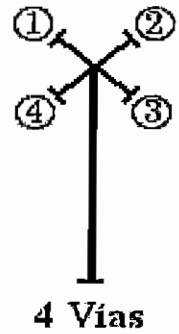


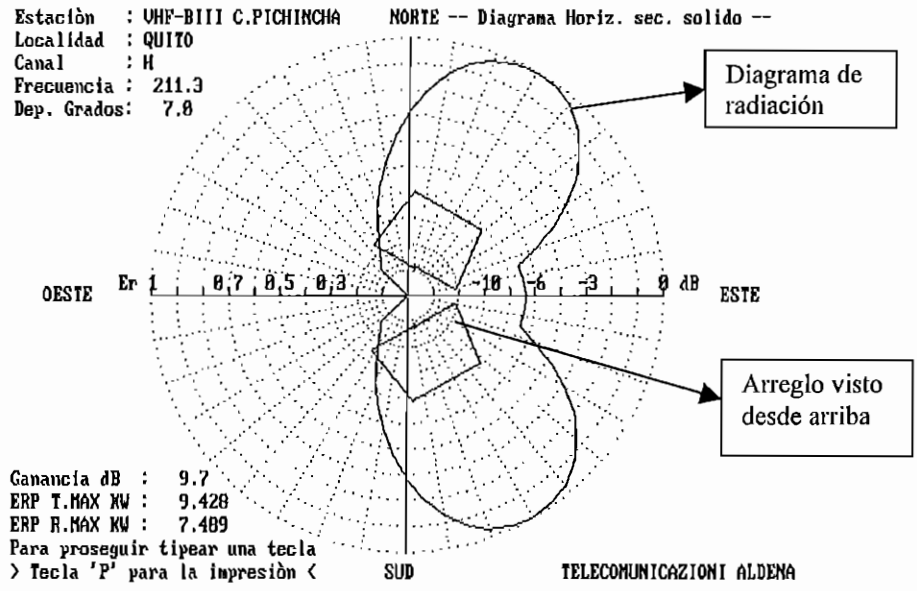
Fig. 4.4.- Diagrama para arreglo de antenas alimentadas con diferente potencia y fases iguales.

4.2.3.- Igual potencia y diferente fase: Arreglo de 4 diedros en 2 direcciones (2+2)



1 0.25 P ; 66° 3 0.25 P ; 66°

2 0.25 P ; 0° 4 0.25 P ; 0°



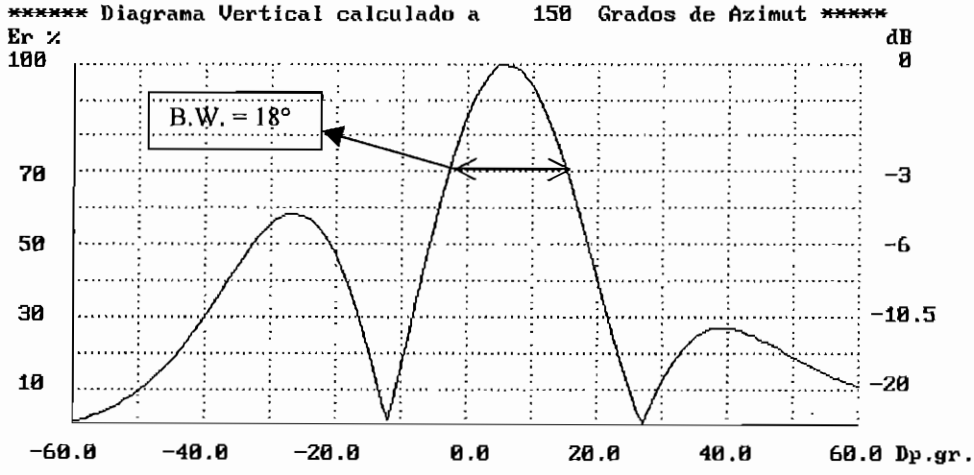
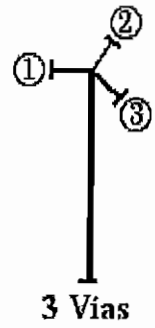


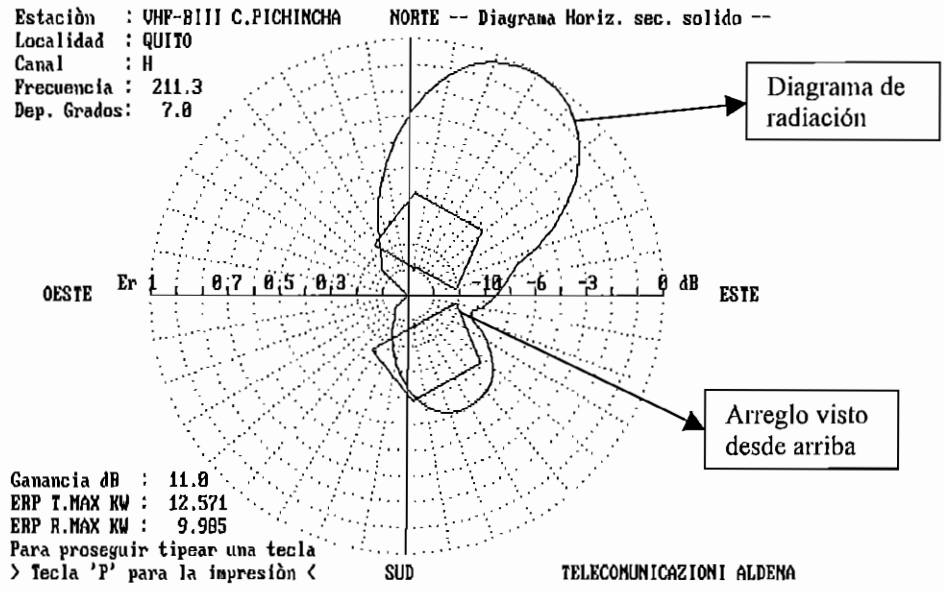
Fig. 4.5.- Diagrama para arreglo de antenas alimentadas con igual potencia y diferentes fases.

4.2.4.- Diferente potencia y diferente fase: Arreglo de 3 diedros en 2 direcciones (2+1)



1 0.3333 P ; 66° 3 0.3333 P ; 0°

2 0.3333 P ; 0°



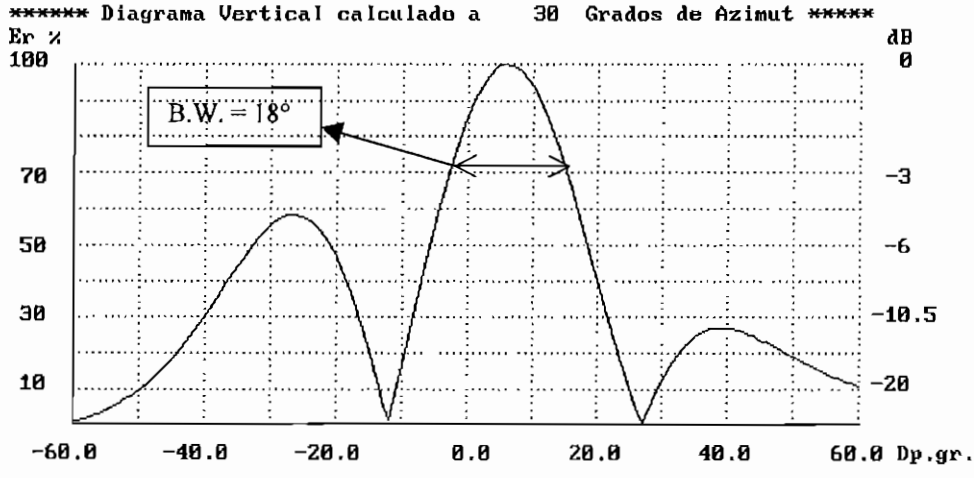


Fig. 4.6.- Diagrama para arreglo alimentado con diferentes potencias y diferentes fases.

4.3.- Diagramas de arreglos en torres de sección cuadrada con combinaciones de potencia y fase

El empleo de torres de sección cuadrada para aplicaciones de TV se había mencionado que es lo más indicado y se podrá observar en estos ejemplos la conveniencia de los resultados obtenidos, no solo en casos de arreglos omnidireccionales sino también en aquellos que se requiere direccionalidad hacia dos o tres caras de interés.

Para una mejor visualización de las diferencias que se generarán al desarrollar cada uno de los ejemplos siguientes, se ha escogido una cobertura de carácter omnidireccional sobre la cual, mediante una diferente distribución de potencia en base a la utilización de un distinto número de antenas hacia los diferentes lados, se conseguirán arreglos con direccionalidad preferente, y para esto se ha escogido la cobertura sobre la ciudad de Guayaquil en donde resultan aplicables cualquiera de los diferentes resultados a obtener.

Dada la escasa altura del punto de transmisión que presenta el Cerro del Carmen, para la aplicación de fases iguales no será necesario la implementación de inclinación electrónica alguna, pero cuando necesitamos alimentar con fases diferentes, es necesario mencionar que se deberán únicamente a la inclinación electrónica que como valor máximo podrá ser de hasta 3°, caso en el que se quiera concentrar señal únicamente al interior de la ciudad.

A continuación los ejemplos de aplicación:

4.3.1.- Igual potencia e igual fase: Arreglo de 8 diedros en 4 direcciones (2+2+2+2)

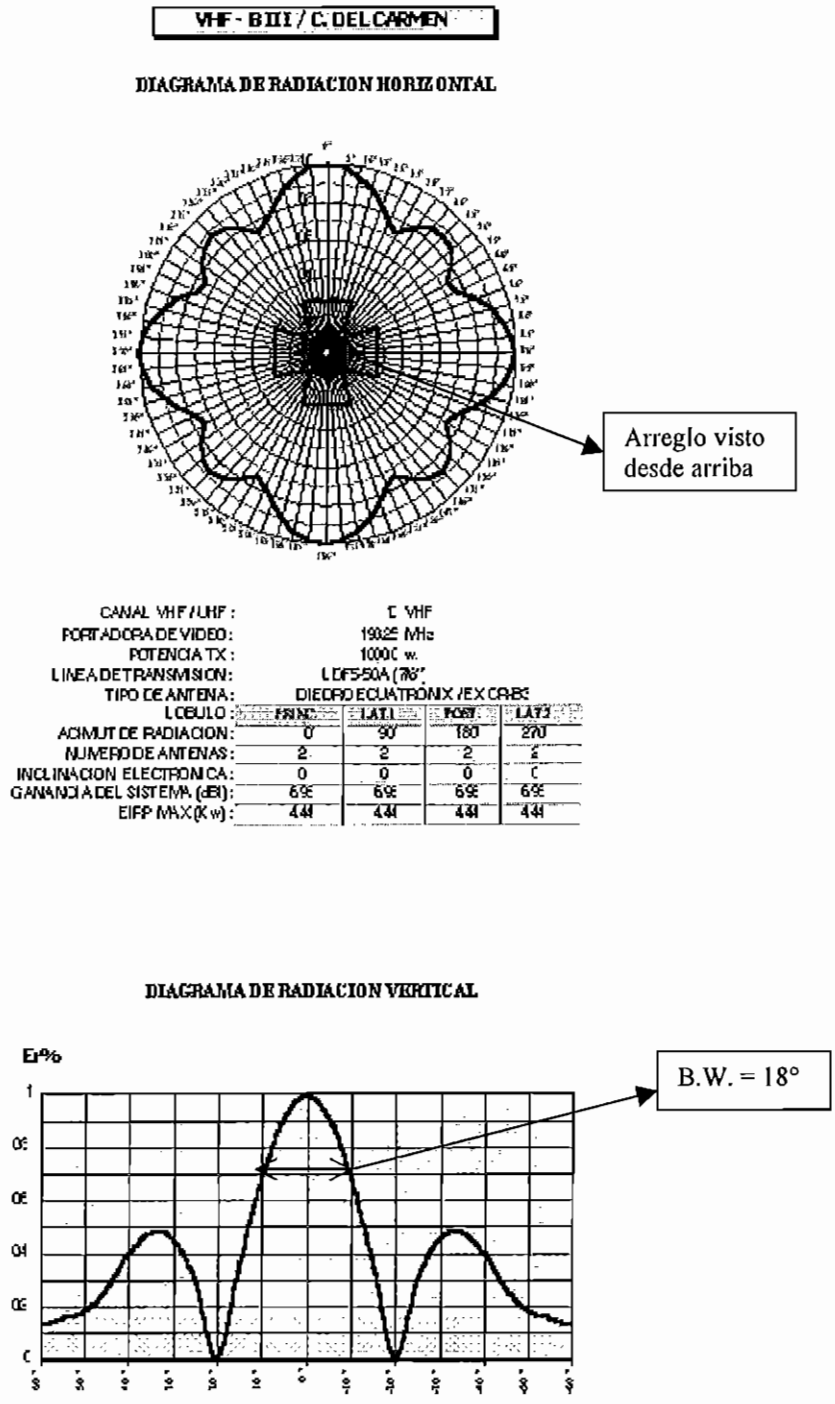
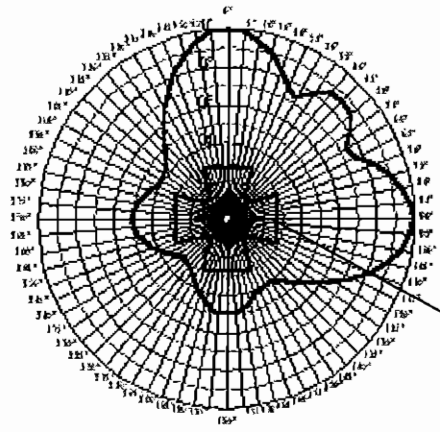


Fig. 4.7.- Diagrama para arreglo de antenas con igual potencia e igual fase.

4.3.2.- Potencia diferente e igual fase: Arreglo de 6 diedros en 4 direcciones (2+2+1+1)

VHF - B III / C. DEL CARMEN

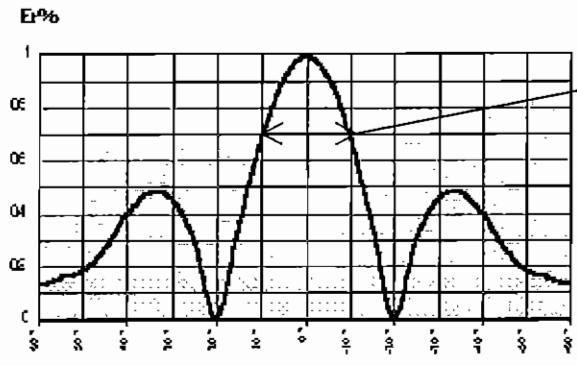
DIAGRAMA DE RADIACION HORIZONTAL



Arreglo visto desde arriba

CANAL VHF / UHF :	1 VHF			
PORTADORA DE VIDEO :	193.25 MHz			
POTENCIA TX :	1000 w.			
LINEA DE TRANSMISION :	LDF5-50A (7/8")			
TIPO DE ANTENA :	DIEDRO ECUATRONIX / EX CR-B3			
LOBULO :	FRONT	LAT.1	POST.	LAT.2
ACIMUT DE RADIACION :	0°	90°	180	270
NUMERO DE ANTENAS :	2	2	1	1
INCLINACION ELECTRONICA :	0	0	0	0
GANANCIA DEL SISTEMA (dBi) :	8.23	8.23	2.21	2.21
EIRP MAX (Kw) :	5.91	5.91	1.48	1.48

DIAGRAMA DE RADIACION VERTICAL



B.W. = 18°

ANTENA TIPO :	DIEDRO ECUATRONIX / EX CR-B3
FRECUENCIA DE OPERACION :	193.2 MHz
INCLINACION ELECTRONICA :	0°
NUMERO TOTAL DE ANTENAS :	6
GANANCIA MAX. - SIST. RADIANTE :	8.23 dBi

Fig.4.8.- Diagrama para arreglo de antenas con diferente potencia y fases iguales.

4.3.3.- Igual potencia y diferente fase: Arreglo de 8 diedros en 4 direcciones (2+2+2+2)

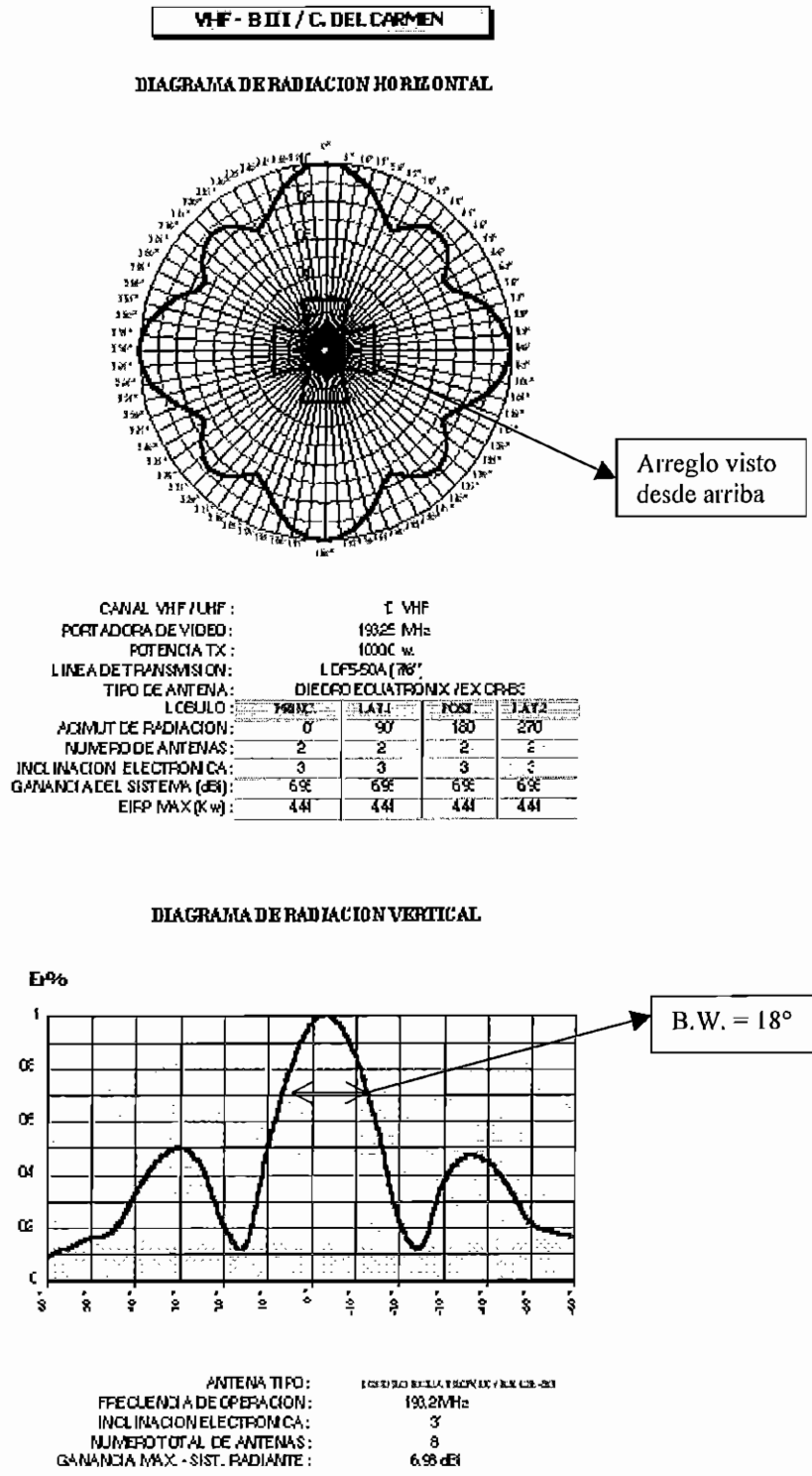


Fig. 4.9.- Diagrama para arreglo de antenas con igual potencia y diferentes fases.

4.3.4.- Diferente potencia y diferente fase: Arreglo de 6 diedros a 4 direcciones (2+2+1+1)

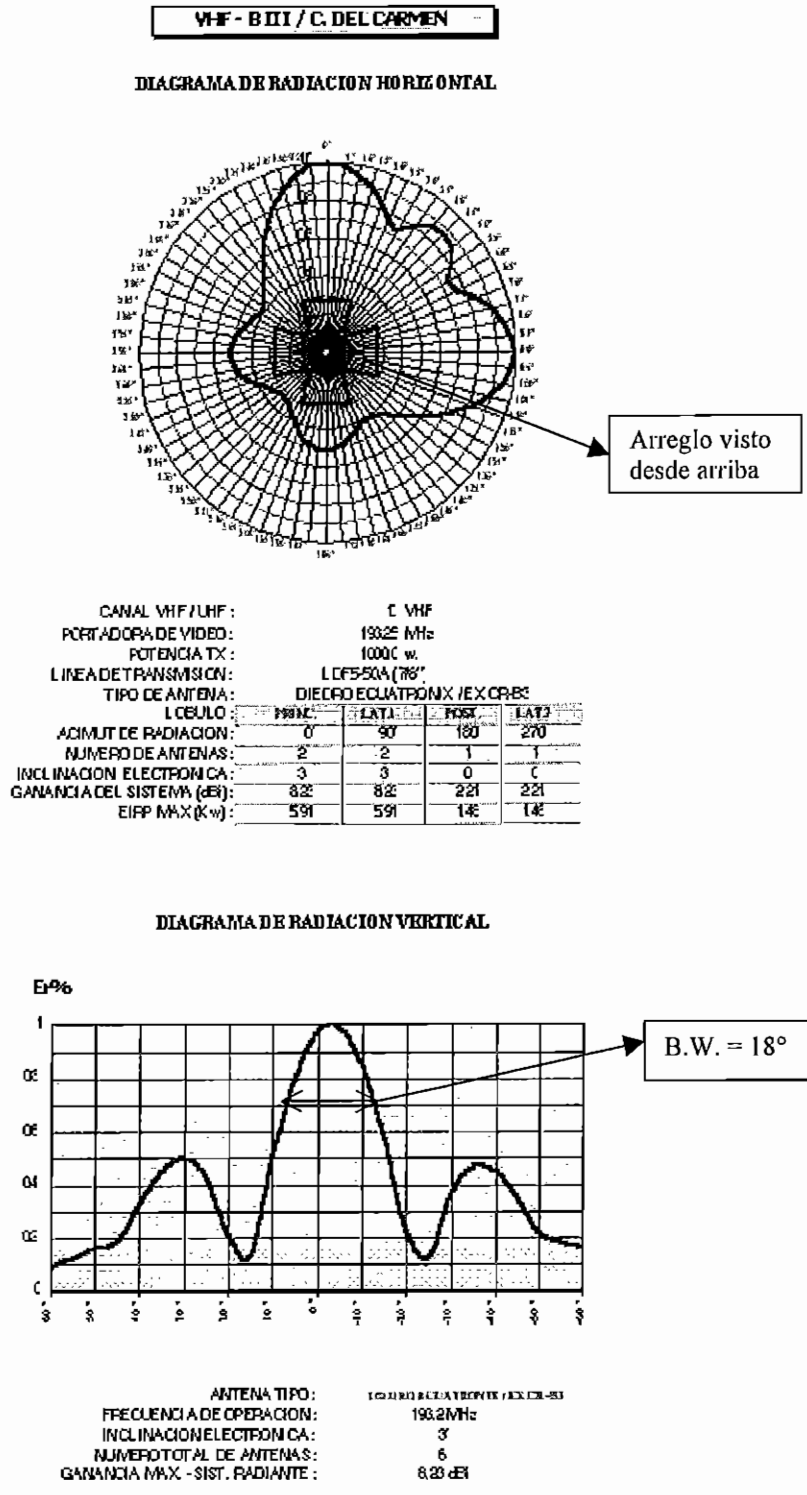


Fig. 4.10.- Diagrama para arreglo de antenas con diferentes potencias y diferentes fases.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de analizado los temas aquí expuestos así como por el aporte de un programa de cálculo que facilite el manejo de las antenas aquí abordadas, podemos concluir que esto nos permite involucrarnos de manera confiable al diseño y a la mejor comprensión de los diferentes arreglos de antenas, en especial de aquellos que los conocemos más familiarmente por su fabricación local.

Al estudiar la teoría de antenas en las aulas de nuestras universidades, lamentablemente carecemos de material didáctico, taller de fabricación y peor aún de un campo de pruebas y su adecuada instrumentación, como para desarrollar de mejor manera un aprendizaje mas profundo y adecuado de esta materia tan apasionante.

Esto ha obligado muchas veces a encontrar en forma repetida una marcada tendencia a la aplicación empírica y la improvisación en estos temas, cuyos resultados a pesar de involucrar su servicio hacia el gran conglomerado social, generalmente han sido puestos en un segundo plano y de esa forma se ha

impedido lograr el rendimiento eficiente, para la gran inversión que representa instalar un sistema de transmisión de cualquier índole.

Para los casos de ciudades importantes, tradicionalmente se ha recurrido a la solvencia y experiencia de fabricantes extranjeros, los que a través de la descripción de las condiciones del área de servicio y el punto de transmisión, han diseñado algunos de los sistemas radiantes que se disponen, pero nada mejor si nuestros ingenieros con las herramientas del caso y el profundo conocimiento de la realidad geográfica de nuestro territorio, son los encargados de proponer el tipo de antenas y los arreglos más adecuados para cada uno de los requerimientos, consiguiendo con ello a mas de conseguir una mejor cobertura final con seguramente una menor inversión final, tener la satisfacción de revertir a la sociedad lo que el país pudo facilitarle en su época de formación superior.

Sin lugar a duda, el aprendizaje y el dominio de los métodos para la optimización en el diseño de arreglos de antenas, no se los encuentra en los libros tradicionales de texto sino únicamente en los manuales de procedimiento de los grandes fabricantes de antenas, afortunadamente las constantes exigencias de superación en nuestro medio, han posibilitado un estrecho contacto con estos fabricantes y la inmejorable posibilidad de trabajar en conjunto en los diferentes diseños aplicados a nuestro medio, esto ha permitido tener acceso a su basta experiencia y participar de sus métodos y procedimientos de cálculo.

Al resultar estas posibilidades de aprendizaje únicas e individuales, ya que generalmente fueron propiciadas en la misma fábrica o en convenciones mundiales de fabricantes de antenas, es conveniente considerar que las técnicas aprendidas deban ser manejadas al menos por el personal de la empresa a la que pertenezco, la que ha respaldado todos esos viajes, por ello resulta de suma justicia poner a disposición de todo su personal el desarrollo de esta tesis, en la que podrán ampliar sus conocimientos técnicos y comprender de una mejor manera la aplicación de los procedimientos para el mejoramiento en el diseño de arreglos de antenas.

Con respecto a ámbito académico, no necesariamente debemos pensar que se deba profundizar en la aplicación de las diferentes técnicas previstas, ya que en la etapa de aprendizaje lo importante es conocer y entender los comportamientos básicos de antenas, por lo que paralelamente se ha propuesto la entrega del paquete de cálculo de arreglos típicos de antenas, con la finalidad de que evitando entrar en complicar condiciones de diseño, conseguir los resultados predecibles que sean factibles de implementar sin la ayuda de una instrumentación complicada y costosa, obteniendo diagramas de radiación que satisfagan las inquietudes y necesidades básicas de cualquier cobertura sencillas.

Como se dijo en un principio, no se pretendió elaborar un programa que incluya todo tipo de antenas o toda posibilidad de instalación, el propósito fundamental ha sido emplear el tipo de antenas más común y utilizado en nuestro medio, de tal forma que en la generalidad de casos se satisfagan inquietudes reales y de muy probable aplicación.

Una motivación adicional que generó la necesidad de implementar este paquete de cálculo, es la posibilidad de evitar la concentración de información técnica al interior de la empresa a que pertenezco. Tradicionalmente se ha venido dando que las delegaciones de las diferentes provincias tienen inquietudes propias o por consulta de sus clientes, sobre la posibilidad de aumentar o modificar el número de antenas de un arreglo con la finalidad de mejorar las coberturas. Estas consultas generalmente han debido canalizarse hacia nuestra oficina central donde se absorben dichas inquietudes y se recomienda o no la posibilidad de realizar cambios, ahora existirá la posibilidad de distribuir a cada delegación el paquete de cálculo y ellos por si solos podrán analizar y explicar a terceros la conveniencia de aplicar las diferentes opciones.

Al tratarse de personal técnico-electrónico quien estará en contacto con este paquete, resultaba necesario considerar la preparación de ellos para el manejo de un programa de computadora, es por ello que se orientó su manejo para que de una forma intuitiva por lo sencillo y simple se propicie la introducción

de datos, buscando como es lógico la representación de un resultado teórico y gráfico muy fácil de entender y consecuentemente de aplicar.

Podemos concluir entones que se ha conseguido con este trabajo, llenar un vacío académico importante que era necesario solventar en base a proporcionar la herramienta necesaria para el estudiante, tanto en su etapa de formación como para resolver sus inquietudes profesionales, si le corresponde la suerte de trabajar en un medio de servicio masivo por radiofrecuencia.

Concluiremos además que de ninguna manera será conveniente en nuestro país continuar con la improvisación y la aplicación empírica, como resultan algunos casos en que siendo una antena en esencia un trabajo mecánico, se piensa que no es otra cosa sino ensamblar pedazos de metal en forma preestablecida, para luego ser instalados en una torre y cumplir con el esquema de estación transmisora, sin valorar el aspecto técnico - teórico de un verdadero Sistema Radiante que aporte la mejor ganancia a la señal de transmisión disponible.

Con el conocimiento propio y la solvencia de aportar con la ingeniería necesaria para no solo fabricar el tipo de antena tradicional, sino conseguir el mejor aprovechamiento en los diferentes arreglos del empleo de todas ellas, se conseguirá definitivamente afianzar la fe en nuestros profesionales sin necesitar de la importación de tecnologías y productos extranjeros, que muchas veces no hacen otra cosa que encarecer el presupuesto de implementación para la estación de radio difusión o televisión.

Culminaré entonces poniendo a la disposición de quien se interese en ahondar algo más sobre el conocimiento de los temas aquí expuestos, para que se ponga en contacto con mi persona en la empresa ECUATRONIX de la ciudad de Quito, donde disponemos de algunas de los instrumentos y herramientas necesarias como para aportar en beneficio de sus inquietudes.

BIBLIOGRAFIA

- **KRAUS J.D.** / ANTENNAS : Mc. Graw Hill / Segunda Edición 1.988

- **JORDAN E.C.** / ONDAS ELECTROMAGNETICAS Y SISTEMAS RADIANTES : Prentice-Hall / Segunda Edición 1.978

- **BALANIS C. A.** / ANTENNA THEORY : John Wiley & Sons / 1.982

- **CCIR** / SISTEMAS DE ANTENA DE RADIODIFUSION EN B.m. y B.dm: UIT / Ginebra 1.988

- **MICROSOFT EXCEL** / MANUAL DEL USUARIO : Versión 5.0c

- **RYMSA** / ANTENNA SUSTEMS FOR RADIO & TV : Manual

- **ECUATRONIX** / CATALOGO DE PRODUCTOS : Manual

ANEXOS

1.- MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

Comenzare afirmando que de acuerdo a lo propuesto originalmente en la preparación de este programa de cálculo, su empleo será sumamente fácil e intuitivo de tal forma que si el usuario no dispone de un conocimiento extenso de computación o de la teoría de antenas, lo pueda utilizar tan eficientemente como lo haría un experto en cualquiera de estos temas.

Primeramente habrá que tomar en cuenta que el programa fue realizado como un libro de Microsoft Excel, debido a que es la hoja electrónica que brinda las mejores posibilidades de cálculo y representación gráfica para estos fines, por tanto deberá estar cargado y disponible en la computadora que se apreste a utilizar.

Ya ingresado en el programa Excel se deberá localizar el archivo asignado con el nombre de "arregloant" y seguidamente ejecutarlo para entrar en contacto con la hoja de presentación, en ella se puede apreciar las iniciales de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, la FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA y el título del programa "SISTEMAS RADIANTES".

Adicionalmente se tendrá a la disposición dos ventanas en las que se podrá escoger con solo hacer un click una de las opciones de trabajo, sea esta para RADIACION EN FM o para TELEVISION en VHF o en UHF.

Radiación con Antenas de FM:

Luego de escogida esta aplicación, se despliega automáticamente en la pantalla el Diagrama de Radiación Horizontal grabado en última instancia, sobre el que se podrá personalizar los datos para el cálculo del nuevo arreglo que se pretende analizar, con el nombre del cerro, la frecuencia de operación, el acimut de dirección requerido, el número de antenas elegido y el resultado de ganancia en la dirección principal de cálculo.

Para realizar esta actualización bastará con posesionarse en la celda correspondiente ayudado del cursor, y proceder a cambiarlo introduciendo el nuevo dato y seguidamente haciendo un Enter con lo que estará memorizado.

En el caso de que la celda no permita modificar su contenido, será porque no se realizó el posisionamiento adecuado y se encuentra ubicado en la celda contigua, o también porque aquella celda contiene un valor fijo/constante o contiene información de cálculo (fórmulas matemáticas) para la entrega de los resultados, y no es prudente ni permitido modificarlas.

El resultado obtenido luego de este primer proceso de introducción de datos, se lo puede imprimir en base a seleccionar el menú de Archivo/Imprimir y previamente a esto se lo podrá apreciar en pantalla utilizando la herramienta "vista preliminar", en la que siempre será conveniente verificar la correcta introducción de los datos de diseño.

Volviendo al programa, seguidamente se tiene la posibilidad de escoger en el costado derecho de la pantalla cuatro opciones de elección, la primera corresponde a la posibilidad de apreciar el diagrama de radiación vertical, el que

siempre es necesario disponerlo para su análisis y evaluación, y su impresión estará regida bajo las mismas consideraciones ya explicadas anteriormente.

Una segunda ventana de selección disponible en ambos casos de la presentación de los diagramas, es la posibilidad de observar las antenas de forma física dispuestas físicamente sobre un mástil o vértice de la torre, en donde se podrá apreciar en forma escueta algunos pormenores de su instalación.

La tercera ventana disponible para elección en la pantalla del diagrama horizontal, es la posibilidad de modificar el tipo de antenas omnidireccionales por otras con pantalla reflectora, con lo que al ejecutarlo se dispone automáticamente de las mismas posibilidades de cálculo que con las antenas anteriores, pudiendo seguidamente modificar los datos de ingreso para ajustarlo a los nuevos requerimientos.

Para salir de esta última opción y regresar al uso de las antenas omnidireccionales, bastará con hacer click en la ventana disponible de "Arreglo sin Pantalla" con lo que el programa regresará a su presentación original.

Finalmente se dispone de la ventana INICIO y ella nos brindará la posibilidad de regresar a la pantalla de presentación del programa, en donde se podrá seleccionar el cambio de aplicación para empleo de antenas de TV.

Radiación con antenas de TV:

De seleccionarse el uso de antenas de televisión ya sea en la banda de VHF o en la de UHF, se desplegará automáticamente la representación del último diagrama de radiación horizontal memorizado.

En esta aplicación se dispondrá en primer caso la posibilidad de elegir el número del canal a ser utilizado en el cálculo (sistema americano NTSC standard M). Internamente el programa se encargará de presentar la frecuencia de la

portadora de vídeo correspondiente, valor que será de utilidad para el análisis del usuario.

Seguidamente y siempre refiriéndonos a los datos de ingreso, es necesario notar que las celdas sombreadas de color amarillo serán aquellas que son modificables, y es permitido alterarlas en base a los nuevos requerimientos de cálculo. En este orden se deberá ahora ingresar el dato de potencia de transmisión utilizada, ello servirá para el cálculo final de potencia efectiva irradiada que se entrega como resultado para cada una de las caras de la torre.

Más adelante se dispone de dos "cuadros combinados" en los que por selección individual se puede escoger en primer caso el tipo de cable coaxial en la línea de transmisión, generalmente esta selección dependerá en la mayoría de los casos de la potencia de trabajo, y en el segundo caso se podrá escoger el empleo de la antena diédrica estudiada o la del tipo "dipolo doble con pantalla" que tiene ligeras diferencias que podrán ser apreciadas en la revisión del resultado final.

Dirección principal de radiación:

De acuerdo a las condiciones ideales de cobertura se deberá definir la principal dirección de radiación, luego de lo cual se tiene la posibilidad de ingresarla como dato en la dirección principal de apuntamiento, correspondiéndole esta orientación a la cara con mayor importancia de cobertura e impondrá la posición del resto de las caras de la torre.

Vendrá seguidamente el ingreso de los datos que comprenden el número de antenas a utilizarse, y que serán orientadas en cada una de las caras de la torre cuadrada, pudiendo representarse por cero el caso de no requerirse antenas en una o varias direcciones.

Finalmente se tendrá opción a seleccionar los grados de inclinación electrónica apropiados para cada una de las direcciones de radiación, pudiendo ser ésta diferente para todas ellas aunque será preferible encontrar un promedio

conveniente para todo el contorno, sin embargo estos valores estarán sujetos al criterio y las condiciones del diseño.

Ingresados ya todos los datos, se podrá ahora analizar los resultados entregados por el programa a más de evaluar el diagrama de radiación horizontal, y de igual forma que para el caso de los arreglos de antenas de FM, se podrá personalizar su adecuada presentación en base a modificar las celdas de identificación del cerro y el nombre de la estación transmisora, y las posibilidades de impresión recomendados anteriormente serán las mismas para el caso del empleo de antenas de TV en cualquiera de las bandas.

Culminado el análisis del diagrama horizontal, se presenta la posibilidad de acceder a la evaluación del diagrama de radiación vertical a través de la elección de la ventana "Diagrama Vertical". Tras hacer el respectivo click obtenemos la presentación del diagrama resultante, tomando en cuenta que por definición su resultado representará a la dirección principal de radiación, acompañado de los resultados numéricos correspondientes, lo cual podrá ser impreso de idéntica forma que lo explicado anteriormente para los otros diagramas.

Por último se dispondrá también de la posibilidad de elegir la "vista lateral" de las antenas, lo que brindará una noción real de la forma de instalación de las antenas, distribuidas convenientemente sobre las diferentes caras de la torre.

Para terminar, se tendrá a disposición la opción de uso de la ventana INICIO, con la cual el programa regresará a la posición de presentación preliminar y se dispondrá nuevamente de todas las opciones de elección ya revisadas.

ANEXOS

2.- DESCRIPCION DE FUNCIONES DE MICROSOFT EXCEL UTILES PARA DESARROLLAR EL PAQUETE DE REPRESENTACION DE SISTEMAS RADIANTES.

2.1 Funciones Matemáticas y Trigonométricas

Microsoft Excel dispone de una muy completa gama de funciones matemáticas y trigonométricas a disposición del usuario, para lo cual basta tan solo con enunciarlas y haciendo uso de la sintaxis correcta, se podrá obtener el resultado esperado.

Mediante las funciones matemáticas y trigonométricas, pueden ejecutarse cálculos matemáticos simples y complejos, como el cálculo del valor total de un rango de celdas, el del valor total de un rango de celdas que cumplan una condición en otro rango o redondear números.

A continuación se detallan todas las funciones de esta índole disponibles en este paquete, de las cuales describiremos en detalle aquellas que son empleadas en esta aplicación.

Función de hoja de cálculo ABS
Función de hoja de cálculo ACOS
Función de hoja de cálculo ACOSH
Función de hoja de cálculo ALEATORIO
Función de hoja de cálculo ALEATORIO.ENTRE
Función de hoja de cálculo ASENO

Función de hoja de cálculo ASENOH
Función de hoja de cálculo ATAN
Función de hoja de cálculo ATAN2
Función de hoja de cálculo ATANH
Función de hoja de cálculo COCIENTE
Función de hoja de cálculo COMBINAT

Función de hoja de cálculo CONTAR.SI
Función de hoja de cálculo COS
Función de hoja de cálculo COSH
Función de hoja de cálculo ENTERO
Función de hoja de cálculo EXP
Función de hoja de cálculo FACT

Función de hoja de cálculo FACT.DOBLE
Función de hoja de cálculo GRADOS
Función de hoja de cálculo LN
Función de hoja de cálculo LOG
Función de hoja de cálculo LOG10
Función de hoja de cálculo M.C.D

Función de hoja de cálculo M.C.M
Función de hoja de cálculo MDETERM
Función de hoja de cálculo MINVERSA
Función de hoja de cálculo MMULT
Función de hoja de cálculo MULTINOMIAL
Función de hoja de cálculo MULTIPLO.INFERIOR

Función de hoja de cálculo MULTIPLO.SUPERIOR
Función de hoja de cálculo NUMERO.ROMANO
Función de hoja de cálculo PI
Función de hoja de cálculo POTENCIA
Función de hoja de cálculo PRODUCTO
Función de hoja de cálculo RADIANES

Función de hoja de cálculo RAIZ
Función de hoja de cálculo RAIZ2PI
Función de hoja de cálculo REDOND.MULT
Función de hoja de cálculo REDONDEA.IMPAR
Función de hoja de cálculo REDONDEA.PAR
Función de hoja de cálculo REDONDEAR

Función de hoja de cálculo REDONDEAR.MAS
Función de hoja de cálculo REDONDEAR.MENOS
Función de hoja de cálculo RESIDUO
Función de hoja de cálculo SENO
Función de hoja de cálculo SENOH
Función de hoja de cálculo SIGNO

Función de hoja de cálculo SUBTOTALES
Función de hoja de cálculo SUMA
Función de hoja de cálculo SUMA.CUADRADOS
Función de hoja de cálculo SUMA.SERIES
Función de hoja de cálculo SUMAPRODUCTO

Función de hoja de cálculo SUMAR.SI
Función de hoja de cálculo SUMAX2MASY2
Función de hoja de cálculo SUMAX2MENOSY2
Función de hoja de cálculo SUMAXMENOSY2
Función de hoja de cálculo TAN
Función de hoja de cálculo TANH
Función de hoja de cálculo TRUNCAR

A continuación se describe la sintaxis de las diferentes funciones útiles en esta aplicación.

Función de hoja de cálculo ABS

Devuelve el valor absoluto de un número. El valor absoluto de un número es el número sin su signo.

Sintaxis
ABS(número)
Número es el número real cuyo valor absoluto desea obtener.

Ejemplos
ABS(2) es igual a 2
ABS(-2) es igual a 2
Si A1 contiene -16, entonces:
RAIZ(ABS(A1)) es igual a 4

Función de hoja de cálculo ATAN

Devuelve el arco tangente de un número. El arco tangente es el ángulo cuya tangente es número. El valor del ángulo devuelto se expresa en radianes en el intervalo -p/2 a p/2.

Sintaxis

ATAN(número)

Número es la tangente del ángulo deseado.

Observaciones

Para expresar el arco tangente en grados, multiplique el resultado por 180/PI( ).

Ejemplos

ATAN(1) es igual a 0,785398 (p/4 radianes)

ATAN(1)*180/PI() es igual a 45 (grados)

Función de hoja de cálculo COS

Devuelve el coseno de un número.

Sintaxis

COS(número)

Número es el ángulo en radianes cuyo coseno desea obtener. Si el ángulo se expresa en grados, multiplíquelo por PI()/180 para convertirlo en radianes.

Ejemplos

COS(1,047) es igual a 0,500171

COS(60*PI()/180) es igual a 0,5, el coseno de 60 grados

Función de hoja de cálculo ENTERO

Redondea un número hasta el entero inferior más próximo.

Sintaxis

ENTERO(número)

Número es el número real que desea redondear al entero inferior más próximo.

Ejemplos

ENTERO(8,9) es igual a 8

ENTERO(-8,9) es igual a -9

La siguiente fórmula devuelve la porción decimal de un número real positivo en la celda A1:

A1-ENTERO(A1)

Función de hoja de cálculo EXP

Devuelve la constante e elevada a la potencia del argumento número. La constante e es igual a 2,71828182845904, la base del logaritmo neperiano.

Sintaxis

EXP(número)

Número es el exponente aplicado a la base e.

Observaciones

· Use el operador exponencial (^) para calcular potencias en otras bases.

· EXP es la inversa de LN, el logaritmo neperiano de número.

Ejemplos

EXP(1) es igual a 2,718282 (el valor aproximado de e)

EXP(2) es igual a e2 ó 7,389056

EXP(LN(3)) es igual a 3

Función de hoja de cálculo GRADOS

Convierte radianes en grados.

Sintaxis

GRADOS(radianes)

Radianes es el ángulo en radianes que se desea convertir.

Ejemplo
GRADOS(PI()) es igual a 180

Función de hoja de cálculo LOG

Devuelve el logaritmo de un número en la base especificada.

Sintaxis
LOG(número ; base)
Número: es el número real positivo cuyo logaritmo desea obtener.
Base: es la base del logaritmo. Si base se omite, el valor predeterminado es 10.

Ejemplos
LOG(10) es igual a 1
LOG(8; 2) es igual a 3
LOG(86; 2,7182818) es igual a 4,454347

Función de hoja de cálculo PI

Devuelve el número 3,14159265358979, o la constante matemática p, con una exactitud de 15 dígitos.

Sintaxis
PI( )

Ejemplos
PI()/2 es igual a 1,57079...
SENO(PI()/2) es igual a 1

Si el radio de un círculo se almacena en una celda denominada Radio, la siguiente fórmula calcula el área del círculo:

PI()*(Radio^2)

Función de hoja de cálculo POTENCIA

Devuelve el resultado de elevar el argumento número a una potencia.

Sintaxis

POTENCIA(número;potencia)

Número es el número base. Puede ser cualquier número real.

Potencia es el exponente al que desea elevar el número base.

Observación

Se puede utilizar el operador "^" en lugar de la función POTENCIA para indicar a qué potencia se eleva el número base, por ejemplo 5^2.

Ejemplos

POTENCIA(5;2) es igual a 25

POTENCIA(98,6;3,2) es igual a 2401077

POTENCIA(4;5/4) es igual a 5,656854

Función de hoja de cálculo PRODUCTO

Multiplica todos los números que figuran como argumentos y devuelve el producto.

Sintaxis

PRODUCTO(número1;número2; ...)

Número1; número2; ... son entre 1 y 30 números que desea multiplicar.

Observaciones

· Los argumentos que son números, valores lógicos o representaciones textuales de números se toman en cuenta; los argumentos que son valores de error o texto que no se puede convertir en números causan errores.

· Si un argumento es una matriz o una referencia, sólo se tomarán en cuenta los números de la matriz o de la referencia. Se pasan por alto las celdas vacías, valores lógicos, texto o valores de error en la matriz o en la referencia.

Ejemplos
Si las celdas A2:C2 contienen 5, 15 y 30:
PRODUCTO(A2:C2) es igual a 2.250
PRODUCTO(A2:C2; 2) es igual a 4.500

Función de hoja de cálculo RADIANES

Convierte grados en radianes.

Sintaxis
RADIANES(grados)
grados es el ángulo en grados que desea convertir.

Ejemplo
RADIANES(270) es igual a 4,712389 (3/2 radianes)

Función de hoja de cálculo RAIZ

Devuelve la raíz cuadrada de un número.

Sintaxis
RAIZ(número)
Número es el número cuya raíz cuadrada desea obtener. Si número es negativo, RAIZ devuelve el valor de error #¡NUM!

Ejemplos
RAIZ(16) es igual a 4
RAIZ(-16) es igual a #¡NUM!
RAIZ(ABS(-16)) es igual a 4

Función de hoja de cálculo SENO

Devuelve el seno de un ángulo determinado.

Sintaxis

SENO(número)

Número es el ángulo en radianes cuyo seno desea obtener. Si el argumento está en grados, multiplíquelo por PI()/180 para convertirlo en radianes.

Ejemplos

SENO(PI()) es igual a 1,22E-16, que es aproximadamente 0 (cero). El seno de p es 0.

SENO(PI()/2) es igual a 1

SENO(30*PI()/180) es igual a 0,5, el seno de 30 grados

Función de hoja de cálculo SUMA

Suma todos los números de un rango.

Sintaxis

SUMA(número1;número2; ...)

Número1; número2; ... son entre 1 y 30 números cuya suma desea obtener.

- Se toman en cuenta números, valores lógicos y representaciones de números que escriba directamente en la lista de argumentos. Consulte los dos primeros ejemplos.
- Si un argumento es una matriz o una referencia, solamente se contarán los números de esa matriz o referencia. Se pasan por alto las celdas vacías, valores lógicos, texto o valores de error en esa matriz o referencia.
- Los argumentos que sean valores de error o texto que no se pueda traducir a números causarán errores.

Ejemplos
SUMA(3; 2) es igual a 5
SUMA("3"; 2; VERDADERO) es igual a 6, ya que los valores de texto se traducen a números y el valor lógico VERDADERO se traduce como 1.

A diferencia del ejemplo anterior, si A1 contiene "3" y B1 contiene VERDADERO, entonces:

SUMA(A1; B1; 2) es igual a 2, ya que las referencias a valores no numéricos de las referencias no se traducen.
Si las celdas A2:E2 contienen 5; 15; 30; 40 y 50:
SUMA(A2:C2) es igual a 50
SUMA(B2:E2; 15) es igual a 150

Función de hoja de cálculo TAN

Devuelve la tangente del ángulo dado.

Sintaxis
TAN(número)
Número es el ángulo en radianes cuya tangente desea obtener. Si el argumento está en grados, multiplíquelo por PI()/180 para convertirlo en radianes.

Ejemplos
TAN(0,785) es igual a 0,99920
TAN(45*PI()/180) es igual a 1

Operadores de cálculo de las fórmulas

Los operadores especifican el tipo de cálculo que se desea realizar con los elementos de una fórmula. Microsoft Excel incluye cuatro tipos diferentes de operadores de cálculo: aritmético, comparación, texto y referencia.

· Los operadores aritméticos ejecutan las operaciones matemáticas básicas como suma, resta o multiplicación; combinan números y generan resultados numéricos.

Operador aritmético	Significado	Ejemplo
+ (signo más)	Suma	3+3
- (signo menos)	Resta	3-1
	Negación	–1
* (asterisco)	Multiplicación	3*3
/ (barra oblicua)	División	3/3
% (signo de porcentaje)	Porcentaje	20%
^ (acento circunflejo)	Exponente	3^2 (el mismo que 3*3)

2.2 Funciones lógicas

Pueden utilizarse las funciones lógicas para ver si una condición es cierta o falsa o, para provocar varias condiciones. Por ejemplo, puede utilizarse la función SI para determinar si una condición es verdadera o falsa. Si la condición es verdadera, se devolverá un valor, y si la condición es falsa, se devolverá otro.

Las funciones Lógicas disponibles en Microsoft Exel son las siguientes:

· Los operadores de comparación comparan dos valores y generan el valor lógico VERDADERO o FALSO.

Operador de comparación	Significado	Ejemplo
= (igual)	Igual a	A1=B1
> (mayor que)	Mayor que	A1>B1
< (menor que)	Menor que	A1<B1
>= (mayor o igual que)	Mayor o igual que	A1>=B1
<= (menor o igual que)	Menor o igual que	A1<=B1
<> (distinto)	Distinto de	A1<>B1

Se describe la sintaxis de las funciones útiles en esta aplicación.

2.3 Funciones de Búsqueda y Referencia

Para nuestro propósito de cálculos es indispensable utilizar un gran número de datos almacenados en diferentes tablas y hojas de trabajo, por lo que resulta fundamental el uso de las funciones de búsqueda y referencia.

Cuando se necesita buscar valores en listas o tablas o si se necesita buscar la referencia de una celda, puede utilizarse las funciones de consulta y referencia. Por ejemplo, para buscar un valor en una tabla que coincida con un valor en la primera columna de otra tabla, se utiliza la función BUSCARV. Para determinar la posición de un valor en una lista, se utiliza la función COINCIDIR.

A continuación el listado de las funciones de búsqueda y referencia disponibles en Microsoft Excel.

Función de hoja de cálculo AREAS
Función de hoja de cálculo BUSCAR
Función de hoja de cálculo BUSCARH
Función de hoja de cálculo BUSCARV
Función de hoja de cálculo COINCIDIR
Función de hoja de cálculo COLUMNA

Función de hoja de cálculo COLUMNAS
Función de hoja de cálculo DESREF
Función de hoja de cálculo DIRECCION
Función de hoja de cálculo ELEGIR
Función de hoja de cálculo FILA
Función de hoja de cálculo FILAS

Función de hoja de cálculo HIPERVINCULO
Función de hoja de cálculo INDICE
Función de hoja de cálculo INDIRECTO
Función de hoja de cálculo TRANSPONER

Se describe la sintaxis de las funciones útiles para esta aplicación.

Función de Hoja de cálculo BUSCAR

Devuelve un valor de un rango de una fila o de una columna o de una matriz. La función BUSCAR tiene dos sintaxis, vectorial y matricial. La forma vectorial de BUSCAR busca un valor en un rango de una fila o de una columna (vector) y devuelve un valor desde la misma posición en un segundo rango de una fila o de una columna. La forma matricial de BUSCAR busca el valor especificado en la primera fila o en la primera columna de la matriz y devuelve el valor desde la misma posición en la última fila o columna de la matriz.

Sintaxis 1 (vector)
Sintaxis 2 (matriz)

Función de hoja de cálculo BUSCARH

Busca un valor en la fila superior de una tabla o una matriz de valores, y a continuación, devuelve un valor en la misma columna de una fila especificada en la tabla o en la matriz. Use BUSCARH cuando los valores de comparación se encuentren en una fila en la parte superior de una tabla de datos y desee encontrar información que se encuentre dentro de un número especificado de filas. Use BUSCARV cuando los valores de comparación se encuentren en una columna a la izquierda o de los datos que desee encontrar.

Sintaxis

BUSCARH(valor_buscado;matriz_buscar_en;indicador_filas; ordenado)

Valor_buscado es el valor que se busca en la primera fila de matriz_buscar_en. Valor_buscado puede ser un valor, una referencia o una cadena de texto.

Matriz_buscar_en es una tabla de información en la que se buscan los datos. Utilice una referencia a un rango o el nombre de un rango.

· Los valores de la primera fila del argumento matriz_buscar_en pueden ser texto, números o valores lógicos.

· Si el argumento ordenado es VERDADERO, los valores de la primera fila del argumento matriz_buscar_en deberán colocarse en orden ascendente: ...-2; -1; 0; 1; 2;..., A-Z, FALSO, VERDADERO; de lo contrario, es posible que BUSCARH no devuelva el valor correcto.

· El texto en mayúsculas y minúsculas es equivalente.

· Se pueden poner los datos en orden ascendente de izquierda a derecha seleccionando los valores y eligiendo el comando Ordenar del menú Datos. A continuación haga clic en Opciones y después en Ordenar de izquierda a derecha y Aceptar. Bajo Ordenar por haga clic en la fila deseada y después en Ascendente.

Indicador_filas es el número de fila en matriz_buscar_en desde el cual se deberá devolver el valor coincidente. Si indicador_filas es 1, devuelve el valor de la primera fila en matriz_buscar_en; si indicador_filas es 2, devuelve el valor de la segunda fila en matriz_buscar_en y así sucesivamente. Si indicador_filas es menor que 1, BUSCARH devuelve el valor de error #¡VALOR!; si indicador_filas es mayor que el número de filas en matriz_buscar_en, BUSCARH devuelve el valor de error #¡REF!

Ordenado es un valor lógico que especifica si desea que el elemento buscado por la función BUSCARH coincida exacta o aproximadamente. Si ordenado es VERDADERO o se omite, la función devuelve un valor aproximado, es decir, si no se encuentra un valor exacto, se devuelve el mayor valor que sea menor que el argumento valor_buscado. Si ordenado es FALSO, la función BUSCARH encontrará el valor exacto. Si no se encuentra dicho valor, devuelve el valor de error #N/A.

Observaciones

- Si BUSCARH no logra encontrar valor_buscado, utiliza el mayor valor que sea menor que valor_buscado.
- Si valor_buscado es menor que el menor valor de la primera fila de matriz_buscar_en, BUSCARH devuelve el valor de error #N/A.

Ejemplos

Supongamos que en una hoja se guarda un inventario de repuestos. A1:A4 contiene "Ejes"; 4; 5; 6. B1:B4 contiene "Cojinetes"; 4; 7; 8. C1:C4 contiene "Engranajes"; 9; 10; 11.

BUSCARH("Ejes"; A1:C4;2;VERDADERO) es igual a 5

BUSCARH("Cojinetes";A1:C4;3;VERDADERO) es igual a 8

BUSCARH("Engranajes";A1:C4;4;) es igual a 11

Matriz_buscar_en también puede ser una constante matricial:

BUSCARH(3;{1;2;3/"a";"b";"c"/"d";"e";"f"};2;VERDADERO) es igual a "c"

Función de hoja de cálculo BUSCARV

Busca un valor específico en la columna más a izquierda de una matriz y devuelve el valor en la misma fila de una columna especificada en la tabla. Utilice BUSCARV en lugar de BUSCARH cuando los valores de comparación se encuentren en una columna situada a la izquierda de los datos que desea encontrar.

Sintaxis

BUSCARV(valor_buscado;matriz_de_comparación;indicador_columnas;ordenado)

Valor_buscado es el valor que se busca en la primera columna de la matriz. Valor_buscado puede ser un valor, una referencia o una cadena de texto.

Matriz_de_comparación es el conjunto de información donde se buscan los datos. Utilice una referencia a un rango o un nombre de rango, como por ejemplo Base_de_datos o Lista.

· Si el argumento ordenado es VERDADERO, los valores de la primera columna del argumento matriz_de_comparación deben colocarse en orden ascendente: ...; -2; -1; 0; 1; 2; ... ; A-Z; FALSO; VERDADERO. De lo contrario, BUSCARV podría devolver un valor incorrecto.

· Para colocar los valores en orden ascendente, elija el comando Ordenar del menú Datos y seleccione la opción "Ascendente".

· Los valores de la primera columna de matriz_de_comparación pueden ser texto, números o valores lógicos.

· El texto escrito en mayúsculas y minúsculas es equivalente.

Indicador_columnas es el número de columna de matriz_de_comparación desde la cual debe devolverse el valor coincidente. Si el argumento indicador_columnas es igual a 1, la función devuelve el valor de la primera columna del argumento matriz_de_comparación; si el argumento indicador_columnas es igual a 2, devuelve el valor de la segunda columna de matriz_de_comparación y así sucesivamente. Si

indicador_columnas es menor que 1, BUSCARV devuelve el valor de error #¡VALOR!; si indicador_columnas es mayor que el número de columnas de matriz_de_comparación, BUSCARV devuelve el valor de error #¡REF!

Ordenado Es un valor lógico que indica si desea que la función BUSCARV busque un valor igual o aproximado al valor especificado. Si el argumento ordenado es VERDADERO o se omite, la función devuelve un valor aproximado, es decir, si no encuentra un valor exacto, devolverá el valor inmediatamente menor que valor_buscado. Si ordenado es FALSO, BUSCARV devuelve el valor buscado. Si no encuentra ningún valor, devuelve el valor de error #N/A.

Observaciones

· Si BUSCARV no puede encontrar valor_buscado y ordenado es VERDADERO, utiliza el valor más grande que sea menor o igual a valor_buscado.

· Si valor_buscado es menor que el menor valor de la primera columna de matriz_de_comparación, BUSCARV devuelve el valor de error #N/A.

· Si BUSCARV no puede encontrar valor_buscado y ordenado es FALSO, devuelve el valor de error #N/A.

Ejemplos

En la hoja de cálculo anterior, donde el rango A4:C12 se denomina Rango:

BUSCARV(1;Rango;1;VERDADERO) es igual a 0,946

BUSCARV(1;Rango;2) es igual a 2,17

BUSCARV(1;Rango;3;VERDADERO) es igual a 100

BUSCARV(0,746;Rango;3;FALSO) es igual a 200

BUSCARV(0,1;Rango;2;VERDADERO) es igual a #N/A debido a que 0,1 es menor que el menor valor de la columna A

BUSCARV(2;Rango;2;VERDADERO) es igual a 1,71

Función de hoja de cálculo INDICE

Devuelve un valor o la referencia a un valor en una tabla o rango. La función INDICE( ) tiene dos formas, referencia y matricial. La forma de referencia siempre devuelve una referencia y la forma matricial siempre devuelve un valor o una matriz de valores.

· INDICE(matriz;núm_fila;núm_columna) devuelve el valor de una celda o de una matriz de celdas determinada dentro del argumento ref.

· INDICE(ref;núm_fila;núm_columna;núm_área) devuelve una referencia a una celda o a varias celdas dentro del argumento ref.

Sintaxis 1 (matriz)
Sintaxis 2 (ref)

Función de hoja de cálculo INDIRECTO

Devuelve la referencia especificada por una cadena de texto. Las referencias se evalúan de inmediato para presentar su contenido. Use INDIRECTO cuando desee cambiar la referencia a una celda en una fórmula sin cambiar la propia fórmula.

Sintaxis
INDIRECTO(ref;a1)
Ref es una referencia a una celda que contiene una referencia de tipo A1, de tipo L1C1, un nombre definido como referencia o una referencia a una celda como una cadena de texto. Si ref no es una referencia de celda válida, INDIRECTO devuelve el valor de error #¡REF!

a1 es un valor lógico que especifica el tipo de referencia que contiene la celda ref.

· Si a1 es VERDADERO o se omite, ref se interpreta como una referencia estilo A1.

· Si a1 es FALSO o se omite, ref se interpreta como una referencia estilo L1C1.

Observaciones

· SI ref hace referencia a otro libro (una referencia externa), el otro libro debe estar abierto. Si el libro de origen no está abierto, INDIRECTO devolverá el valor de error #REF!

Ejemplos

Si la celda A1 contiene el texto "B2" y la celda B2 contiene el valor 1,333; entonces:

INDIRECTO(A1) es igual a 1,333

Si cambia el texto en A1 a "C5" y la celda C5 contiene el valor 45, entonces:

INDIRECTO(A1) es igual a 45

Si el área de trabajo se ha ajustado de manera que presente referencias de estilo L1C1, la celda L1C1 contiene L2C2 y la celda L2C2 contiene el valor 1,333; entonces:

ENTERO(INDIRECTO(L1C1;FALSO)) es igual a 1

Si B3 contiene el texto "Marina" y la celda definida como Marina contiene el valor 10, entonces:

INDIRECTO(B3) es igual a 10

Cuando cree una fórmula que haga referencia a una celda, la referencia a la celda se actualizará si la celda se desplaza utilizando el comando Cortar para eliminar la celda o si la celda se desplaza porque se insertan o eliminan filas o columnas. Si desea que la fórmula siempre haga referencia a la misma fórmula sin tener en cuenta si se elimina o desplaza la fila sobre la celda, utilice la función de hoja de cálculo INDIRECTO. Por ejemplo, si desea que siempre se haga referencia a la celda A10, utilice la sintaxis siguiente:

INDIRECTO("A10")

2.4 Funciones de Texto

Mediante las funciones de texto pueden manipularse cadenas de texto en fórmulas. Por ejemplo, puede cambiarse el caso o determinarse la longitud de una cadena de texto. También puede unirse o concatenarse una fecha o una cadena de texto. La siguiente fórmula es un ejemplo de cómo utilizar la función HOY con la función TEXTO para crear un mensaje que contenga la fecha actual y dé el formato de fecha "dd-mmm-aa" al formato de número.
="Informe de presupuesto como "&TEXTO(HOY(),"dd-mmm-aa")

A continuación las funciones de texto disponibles en Microsoft Excel:

Función de hoja de cálculo CARACTER
Función de hoja de cálculo CODIGO
Función de hoja de cálculo CONCATENAR
Función de hoja de cálculo DECIMAL
Función de hoja de cálculo DERECHA
Función de hoja de cálculo ENCONTRAR

Función de hoja de cálculo ESPACIOS
Función de hoja de cálculo EXTRAE
Función de hoja de cálculo HALLAR
Función de hoja de cálculo IGUAL
Función de hoja de cálculo IZQUIERDA
Función de hoja de cálculo LARGO

Función de hoja de cálculo LIMPIAR
Función de hoja de cálculo MAYUSC
Función de hoja de cálculo MINUSC
Función de hoja de cálculo MONEDA
Función de hoja de cálculo NOMPROPIO
Función de hoja de cálculo REEMPLAZAR

Función de hoja de cálculo REPETIR
Función de hoja de cálculo SUSTITUIR
Función de hoja de cálculo T
Función de hoja de cálculo TEXTO
Función de hoja de cálculo VALOR

Se describe la sintaxis de las funciones útiles en esta aplicación.

Función de hoja de cálculo CONCATENAR

Concatena argumentos de texto.

Sintaxis

CONCATENAR (texto1;texto2; ...)
Texto1, texto2, ... son de 1 a 30 elementos de texto que serán unidos en un elemento de texto único. Los elementos de texto pueden ser cadenas de texto, números o referencias a celdas únicas.

Observaciones
Puede usar el operador "&" en lugar de CONCATENAR para unir elementos de texto.

Ejemplos
CONCATENAR("Total ";"Valor") es igual a "Total Valor". Esto equivale a escribir: "Total"&" "&"Valor"
Supongamos una hoja de cálculo con datos acerca del estudio de un río, en la que la celda C2 contiene " trucha de río", C5 contiene "especie" y C8 el total 32.
CONCATENAR("La densidad de población para la ";C5;" ";C2;" es de ";C8;"/kilómetro") es igual a "La densidad de población para la especie trucha de río es de 32/kilómetro."

Funciones de hoja de cálculo DECIMAL

Redondea un número al número de decimales especificado, da formato al número con el formato decimal usando comas y puntos, y devuelve el resultado como texto.

Sintaxis

DECIMAL(número;decimales;no_separar_millares)

Número es el número que desea redondear y convertir en texto.

Decimales es el número de dígitos a la derecha del separador decimal.

No_separar_millares es un valor lógico que, si es VERDADERO, impide que DECIMAL incluya un separador de millares en el texto devuelto. Si el argumento no_separar_millares es FALSO o se omite, el texto devuelto incluirá el separador de millares.

- Los números en Microsoft Excel nunca pueden tener más de 15 dígitos significativos, pero el argumento decimales puede tener hasta 127 dígitos.
- Si el argumento decimales es negativo, el argumento número se redondea a la izquierda del separador decimal.
- Si omite el argumento decimales, se calculará como 2.

Observaciones

La principal diferencia entre dar formato a una celda que contiene un número con el comando Celdas del menú Formato y dar formato a un número directamente con la función DECIMAL es que DECIMAL convierte el resultado en texto. Un número que recibe formato con el comando Celdas sigue siendo un número.

Ejemplos

DECIMAL(1234,567; 1) es igual a "1234,6"

DECIMAL(1234,567; -1) es igual a "1230"

DECIMAL(-1234,567; -1) es igual a "-1230"

DECIMAL(44.332) es igual a "44,33"

Funciones de hoja de cálculo HALLAR

Devuelve el número del carácter en el que se encuentra inicialmente un carácter específico o una cadena de texto, leyendo de izquierda a derecha. Utilice HALLAR para encontrar la ubicación de un carácter o de una cadena de texto dentro de otra cadena de texto, a fin de poder utilizar las funciones EXTRAE o REEMPLAZAR para cambiar el texto.

Sintaxis

HALLAR(texto_buscado;dentro_del_texto;núm_inicial)

Texto_buscado es el texto que se desea encontrar. Puede utilizar los caracteres comodines, signo de interrogación (?) y asterisco (*) en el argumento texto_buscado. El signo de interrogación corresponde a un carácter cualquiera y el asterisco equivale a cualquier secuencia de caracteres. Si lo que desea encontrar es un asterisco o un signo de interrogación, escriba una tilde (~) antes del carácter. Si no se puede hallar el argumento texto_buscado, la función devuelve el valor de error #¡VALOR!

Dentro_del_texto es el texto en el que se desea encontrar texto_buscado.

Núm_inicial es, contando desde la izquierda, el número de carácter en dentro_del_texto en que se desea iniciar la búsqueda.

· Si el argumento núm_inicial se omite, el valor predeterminado es 1.
· Si el valor del argumento núm_inicial no es mayor que 0 (cero) o si es mayor que el largo del argumento dentro_del_texto, se devuelve el valor de error #¡VALOR!

Sugerencia Utilice núm_inicial para saltar un número específico de caracteres desde la izquierda del texto. Por ejemplo, suponga que está utilizando la siguiente cadena de texto: "AYF0093.AtuendoParaJóvenes". Para encontrar el número de la primera "A" en la parte descriptiva de la cadena de texto, establezca núm_inicial igual a 8, de manera que la función no busque en la parte correspondiente al número de serie. HALLAR comienza a partir del carácter 8, encuentra

texto_buscado en el siguiente carácter y devuelve el número 9. HALLAR siempre devuelve el número de caracteres desde la izquierda de la cadena de texto, no desde núm_inicial.

Observaciones

· HALLAR no distingue entre mayúsculas y minúsculas cuando busca texto.

· HALLAR es similar a ENCONTRAR con la excepción de que ENCONTRAR sí distingue entre mayúsculas y minúsculas.

Ejemplos

HALLAR("a";"Estados";1) es igual a 4

Si la celda B17 contiene "de ganancia" y la celda A14 contiene "Margen de Ganancia", entonces:

HALLAR(B17;A14) es igual a 8

Utilice HALLAR con la función REEMPLAZAR para dar la posición exacta del argumento núm_inicial, a partir de la cual REEMPLAZAR comenzará a insertar el nuevo texto. Utilizando la misma referencia de celda que en el ejemplo anterior:

REEMPLAZAR(A14;HALLAR(B17;A14);11;"de Pérdida") devuelve el texto "Margen de Pérdida".

2.5 Escala Angular y el gráfico de Radar

Un gráfico es la representación gráfica de los datos de una hoja de cálculo. Los valores de las celda, o puntos de datos, aparecen en el gráfico en forma de barras, líneas, columnas, secciones de un gráfico circular o en otras formas. Los puntos de datos se agrupan en series de datos y se distinguen por sus diferentes colores o diseños.

Además de facilitar la lectura de los datos, un gráfico le permite presentarlos de una manera más clara e interesante. Los gráficos también le ayudan a evaluar los datos y a comparar entre distintos valores de la hoja de cálculo.

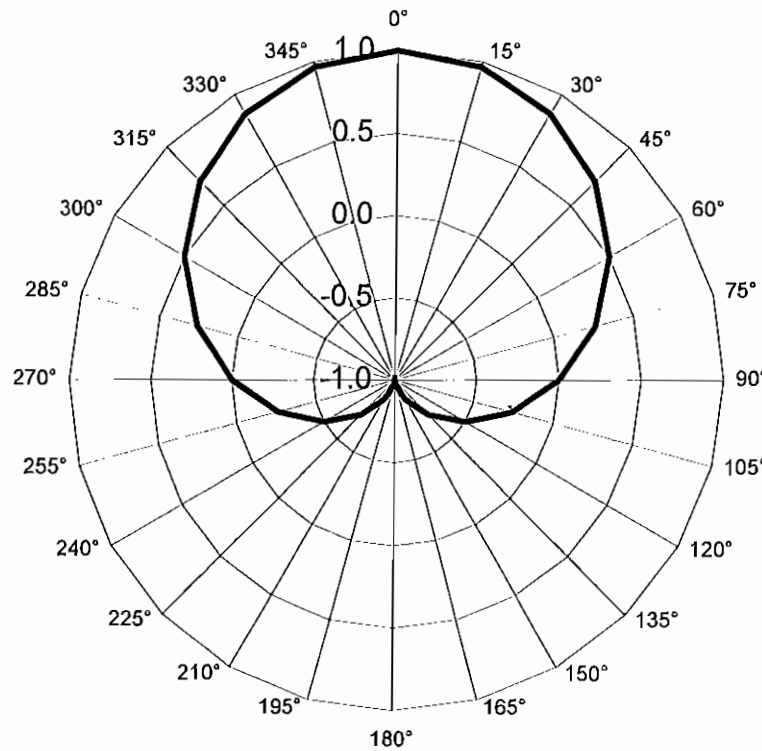
Como ya se indicó, se puede presentar los datos de Microsoft Excel en un gráfico, el que se vinculan a los datos a partir de los que se crean y se actualizan cuando se cambian éstos.

Se puede crear gráficos a partir de celdas o rangos no contiguos. También puede crear gráficos a partir de tablas dinámicas.

Gráfico Radial :

En los gráficos radiales, cada categoría tiene su propio eje de valores con epicentro en el punto central. Las líneas conectan todos los valores de las mismas series.

. β°	Cos (β)
0°	1.0000
15°	0.9659
30°	0.8660
45°	0.7071
60°	0.5000
75°	0.2588
90°	0.0000
105°	-0.2588
120°	-0.5000
135°	-0.7071
150°	-0.8660
165°	-0.9659
180°	-1.0000
195°	-0.9659
210°	-0.8660
225°	-0.7071
240°	-0.5000
255°	-0.2588
270°	0.0000
285°	0.2588
300°	0.5000
315°	0.7071
330°	0.8660
335°	0.9659
360°	1.0000



El gráfico radial compara los valores agregados de determinada cantidad de series de datos. En este gráfico, la serie de datos que cubre la mayor parte del área (la Marca A), representa la marca con mayor contenido vitamínico.

2.6 Utilización de Macros para comodidad del usuario

Macros: automatización de tareas de uso frecuente

Si ejecuta frecuentemente una tarea en Microsoft Excel, puede automatizarla mediante una macro. Una macro consiste en una serie de comandos y funciones que se almacenan en un módulo de Visual Basic y que puede ejecutarse siempre que sea necesario ejecutar la tarea. Una macro se graba igual que se graba música en un casete. A continuación, se ejecuta la macro para que repita los comandos.
Antes de grabar o escribir una macro, planifique los pasos y los comandos que desea que ejecute la macro. Si se comete algún error mientras se graba la macro, también se grabarán las correcciones que se realicen. Cada vez que se grabe una macro, ésta se almacenará en un nuevo módulo adjunto a un libro.

Con el Editor de Visual Basic, se pueden modificar macros, copiar macros de un módulo en otro, copiar macros entre diferentes libros, cambiar de nombre a los módulos que almacenan las macros o cambiar de nombre a las macros.

Grabar una macro

1 Seleccione Macro en el menú Herramientas y, a continuación, haga clic en grabar.

Mostrar

2 En el cuadro Nombre de la macro, escriba un nombre para la macro.

El primer carácter del nombre de la macro debe ser una letra. Los demás caracteres pueden ser letras, números o caracteres de subrayado. No se permiten espacios en un nombre de macro; puede utilizarse un carácter de subrayado como separador de palabras.

3 Para ejecutar la macro presionando un método abreviado, escriba una letra en el cuadro Tecla de método abreviado. Puede utilizarse CONTROL+ letra (para letras minúsculas) o CONTROL+ MAYÚS + letra (para letras mayúsculas), donde letra es cualquier tecla del teclado. La tecla de método abreviado que se utilice no puede ser ni un número ni un carácter especial. La tecla de método abreviado suplantará a cualquier tecla de método abreviado predeterminada en Microsoft Excel mientras esté abierto el libro que contiene la macro.

4 En el cuadro Guardar macro en, haga clic en la ubicación en que desea almacenar la macro.

Si desea que la macro esté disponible siempre que se utilice Microsoft Excel, almacene la macro en el libro de macros personales en la carpeta INICIAR.

Para incluir una descripción de la macro, escriba la descripción en el cuadro Descripción.

5 Haga clic en Aceptar.

Si se seleccionan celdas mientras se está ejecutando una macro, ésta seleccionará las mismas celdas independientemente de la celda que se haya seleccionado en primer lugar, ya que graba referencias absolutas de celda. Si desea tener una macro para seleccionar celdas independientemente de la posición que tenga la celda activa cuando se ejecute la macro, configure el grabador de macros para que grabe referencias relativas de celda. En la barra de herramientas Detener grabación, haga clic en Referencia . Microsoft Excel continuará grabando macros con referencias relativas hasta que termine la sesión con Microsoft Excel o hasta que haga clic otra vez en Referencias relativas .

6 Ejecute las acciones que desee grabar.

7 En la barra de herramientas Detener grabación, haga clic en Detener grabación.

Sugerencia Si desea tener una macro para seleccionar una celda determinada, ejecute una acción y seleccione otra celda relativa a la celda activa; cuando se grabe una macro, pueden mezclarse referencias relativas y absolutas. Para grabar una macro utilizando referencias, compruebe que está activada la opción Referencias relativas . Para grabar una macro utilizando referencias absolutas, compruebe que la opción Referencias relativas no está habilitada.

Ejecutar una macro

Una vez grabada, una macro puede ejecutarse en Microsoft Excel o en el Editor de Visual Basic. Normalmente, se ejecutará la macro en Microsoft Excel; sin embargo, puede ejecutarse desde el Editor de Visual Basic, mientras se realiza la macro. Para interrumpir la macro antes de que finalice las acciones que se han grabado, presione ESC.

Ejecutar una macro en Microsoft Excel

1 Abra el libro que contiene la macro.

2 Seleccione Macro en el menú Herramientas y, a continuación, haga clic en Macros.

5 En el cuadro Nombre de la macro, escriba el nombre de la macro que desea ejecutar.

4 Haga clic en Ejecutar.

Nota Para interrumpir una macro antes de que finalice las acciones, presione ESC.

Ejecutar una macro desde un módulo de Visual Basic

1 Abra el libro que contiene la macro.

2 Seleccione Macro en el menú Herramientas y, a continuación, haga clic en Macros.

3 En el cuadro Nombre de la macro, escriba el nombre de la macro que desea ejecutar.

4 Haga clic en Modificar.

5 Haga clic en Ejecutar sub .

Sugerencia Si desea ejecutar otra macro diferente mientras está utilizando el Editor de Visual Basic, haga clic en la opción Macros en el menú Herramientas. En el cuadro Nombre de la macro, escriba el nombre de la macro que desea ejecutar y, a continuación, haga clic en Ejecutar.