

881217

UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

10  
240



**UNIVERSIDAD ANAHUAC**

VINCE IN BONO MALUM

**DISEÑO DE UNA ANTENA PARABOLICA**

# **Tesis**

*Que para obtener el Título de:*

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**EN EL AREA:**

**SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS**

*Presenta:*

**JORGE FRID HIMELFARB**

MEXICO, D. F.



1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DISEÑO DE UNA ANTENA PARABOLICA

I	OBJETIVO	1
II	INTRODUCCION	2
1	CAPITULO I (BASES TEORICAS)	
1.1	Campo Eléctrico	7
1.2	Campo Magnético	9
1.3	Ondas Electromagnéticas	12
2	CAPITULO II (ANTENAS)	
2.1	Antenas para Microondas	18
2.2	Dipolos	20
2.3	Radiación	26
2.4	Reflectores	34
2.5	Ley de Snell	38
2.6	Difracción	43
2.7	Gufas de Onda	45
3	CAPITULO III (DISEÑO Y CARACTERISTICAS)	
3.1	Geometría de la Parábola	49
3.2	Superficie Geométrica	50
3.3	Eficiencia	52
3.4	Método de Distribución de Apertura	54

3.5	Polarización Transversal	63
3.6	Método de Distribución de Corriente	66
3.7	Directividad	74
3.8	Cálculo de la Parábola	75
4	CAPITULO IV (DISEÑO DEL REFLECTOR)	
4.1	Generalidades	84
4.2	Diseño	95
4.3	Materiales	104
5	CAPITULO V (DISEÑO DEL ALIMENTADOR)	
5.1	Cufas de Onda	107
5.2	Frecuencia de Corte	110
5.3	Diseño y Construcción	112
5.4	Estudio Económico del Alimentador	120
III	CONCLUSIONES	122
IV	BIBLIOGRAFIA	125

Una antena parabólica para la recepción de señales de televisión es cada vez más usada, esto se debe a que es más económico mandar la señal desde la tierra a un satélite para que éste la regrese a una sección de la tierra.

Para diseñar una antena parabólica hay que conocer una de las propiedades más importantes de la parábola, la cual dice:

Si un haz que se refleja en la parábola está perpendicular a la directriz de ésta, dicho haz pasará por el foco de la parábola.

Si hacemos nuestra parábola de aluminio, quiere decir que los haces que se reflejen al foco serán ondas electromagnéticas; y si en el foco de la parábola colocamos un alimentador para recibir la señal de 4 Ghz emitida por los satélites geoestacionarios, podremos usar nuestra antena para ver la televisión.

Como todas las señales de los satélites geoestacionarios que se reciben en México son mandadas a los Estados Unidos de Norteamérica, es necesario que en México las parábolas sean mayores a las de Estados Unidos de Norteamérica, pues entre mayor sea la antena, más fácil captaremos la señal emitida por los satélites, siempre y cuando no haya una diferencia de más de 30° en el lugar donde pongamos nuestra antena y los estados de la Unión Americana.

## OBJETIVO

Diseñar una antena parabólica para la recepción de ondas electromagnéticas en altas frecuencias. Analizar la posibilidad de usarla en recepción de señales de satélites meteorológicos, de radioaficionados y de televisión. Hacer el estudio económico sobre el diseño del alimentador, y su construcción para recibir señales de satélites meteorológicos.

## INTRODUCCION

Las antenas parabólicas para programas de televisión emitidos por satélite empiezan ya a ser usuales en algunos - paises del mundo, incluyendo México.

Hace algunos años era una proeza ver un partido de - futbol desde Europa (con el famoso satélite "El Pájaro Andrugdor"), pero ahora, con una antena parabólica podemos ver cualquier programa de los Estados Unidos de Norteamérica al orientar nuestra antena con el satélite deseado. La facilidad de - comunicación actual nos hace decir frecuentemente cosas como - "el mundo se hace cada vez más chico" y otras por el estilo, - pero la realidad es que la televisión hoy día se usa en más -- del 80% del mundo y que la gente está cada vez mejor informada de lo que sucede en el planeta.

Las antenas parabólicas de televisión por satélite - son extremadamente populares en Estados Unidos de Norteamérica, y Canadá, y cada vez se ven más en nuestro propio país, donde pueden recibirse varios de los canales estadounidenses. En -- Estados Unidos de Norteamérica hay 10 satélites que transmiten 12 ó 24 canales, de los cuales la mayoría se recibe en México,

aunque, por supuesto, con alguna dificultad respecto de Estados Unidos de Norteamérica, ya que los satélites son del tipo geostacionario y están destinados a cubrir específicamente el área de la Unión Norteamericana, por lo que México recibe únicamente el área de sombra.

Los programas emitidos por satélite se generan en tierra y se envían al satélite para que éste los retransmita a tierra cubriendo así un área mucho mayor de los aproximadamente 100 kms. que puede abarcar directamente una estación terrestre de televisión.

La señal que se transmite desde la tierra al satélite suele ser de unos 6 GHz y el satélite la retransmite a 4 GHz, como lo muestra la Fig. 1.1.



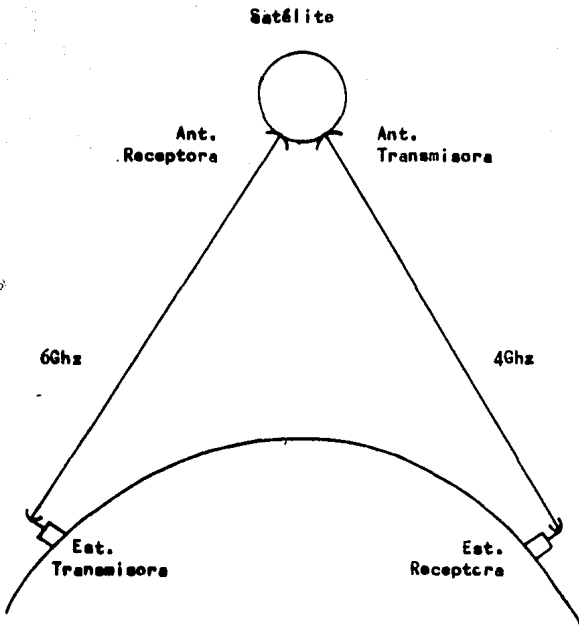


FIGURA 1.1 Emisión y Recepción de la Señal de Televisión

La intención de este trabajo fue, en primer lugar, diseñar una antena parabólica pensando, en principio, en un sistema de radar. Sin embargo, la verdad es que resulta bastante difícil abordar este tipo de empresas cuando el nivel tecnológico del país apunta carencias de nivel básico. Las comunicaciones hoy día han alcanzado un grado de complejidad tecnológica sumamente elevado. Para trabajar a ese nivel se necesitaría contar con algo más de infraestructura y, en especial, equipo y materiales que por el momento no existen en el país y proceden exclusivamente de importaciones. Es por ello que nos propusimos diseñar y evaluar una antena para recepción de televisión por satélite, la cual operará a una frecuencia de 4 GHz. Con la misma antena se podrían recibir señales de satélites meteorológicos y probablemente también de radio-aficionados, aunque ya en este caso sería preciso también emitir.

En resumen, nos concentraremos en el estudio de reflectores parabólicos y en el cálculo particular de una antena para 4 GHz a la que intentaremos posteriormente dar uso en aplicaciones de televisión, tomando en cuenta los siguientes puntos: - Se explicará el principio de las ondas electromagnéticas así como su comportamiento en el espacio; se definirán las propiedades de

un reflector parabólico, obteniendo las ventajas y desventajas de éste, así como ejemplos de uso de dichos reflectores; se diseñará un receptor parabólico para uso particular y se construirá, por factibilidad, un alimentador para la recepción de ondas electromagnéticas de los satélites meteorológicos. Se hará un estudio económico sobre el alimentador, sus prestaciones y la ganancia relativa que representaría construir la antena.

## CAPITULO 1

### CAMPO ELECTRICO

En todos los medios dieléctricos se encuentra un campo eléctrico. La dirección de este campo es la dirección de la fuerza que actúa sobre una partícula exploradora cargada positivamente y la intensidad del campo  $E$  es proporcional a la magnitud de la fuerza. Si la carga sobre la partícula exploradora es  $q$ , la fuerza  $F = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2} r$

Las líneas del flujo eléctrico se han visualizado como saliendo de la carga eléctrica positiva y terminando en la carga negativa. Por lo tanto, las líneas de flujo (o líneas de fuerza) estarán como se indica en la Fig. 1.1

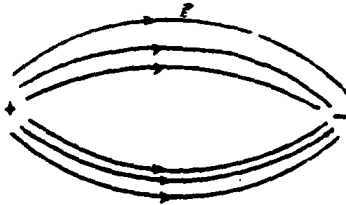


Figure 1.1 Líneas de Flujo Eléctrico

La tensión o diferencia de potencial es por definición la integral de línea de la intensidad del campo eléctrico.

$$v = \text{diferencia de potencial} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

### TRABAJO ELECTRICO

Supóngase que una pequeña carga eléctrica positiva  $q$  es liberada en la Fig. 1.1. Como estará en una región de intensidad de campo  $\vec{E}$ , se ejercerá sobre ella una fuerza  $\vec{F} = q\vec{E}$ . Al moverse la carga se efectuará un trabajo sobre ella por el campo eléctrico, y de acuerdo con la ley conocida de la mecánica, el trabajo es  $w = \vec{F} \cdot \vec{s}$ . Como  $\vec{F} = q\vec{E}$ , el trabajo es  $w = q\vec{E} \cdot \vec{s}$ . Pero acabamos de decir que la tensión es  $v = \vec{E} \cdot \vec{s}$ , por lo que  $w = qv$ .

Así hemos encontrado que cuando las cargas eléctricas se mueven de un punto de un potencial dado a otro punto con otro potencial, el trabajo efectuado es el producto de la cantidad de electricidad y la diferencia de potencial o tensión, a través de la cual se mueve:

$$w = \vec{F} \cdot \vec{s} = q\vec{E} \cdot \vec{s} = qv$$

donde  $w$  es el trabajo (watts-segundo o joules)

$v$  - es la diferencia de potencial (volts)

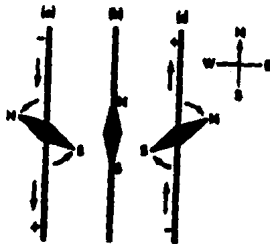
$q$  - es la carga (coulombs)

$F$  - es la fuerza (newtons)

$s$  - es la distancia (metros)

## CAMPO MAGNETICO

El descubrimiento de la relación entre la electricidad y el magnetismo fue hecho por Oesterd en 1820. Oesterd estaba haciendo pruebas para demostrar que la electricidad y el magnetismo no tenían nada en común colocando un alambre con corriente eléctrica en ángulo recto sobre una brújula, y al observar que no había efecto, según Oesterd, los campos eléctrico y magnético no tenían ninguna relación entre sí. En una de sus experimentos se le cayó el alambre y quedó paralelo con la brújula y entonces fue cuando observó moverse la aguja. Una vez observado esto, invirtió la corriente en el alambre y observó que la brújula se movía en la otra dirección, como lo muestra la Figura 1.2.



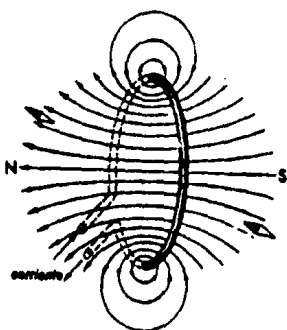
Experimento de Oesterd demostrando el efecto de una corriente de electricidad sobre una brújula.

Figure 1.2

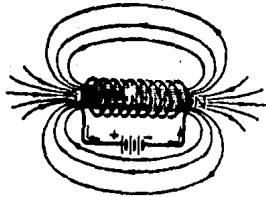
El experimento de Oersted se interpretado como una --  
demostración de que existe un campo magnético alrededor de --  
cualquier conductor que tenga corriente eléctrica.

Poco después de este descubrimiento se encontró que --  
una espira de alambre que conduce electricidad, actúa como un --  
imán, como lo ilustra la Figura 1.3.

Figura 1.3  
Inducción magnética  
en una espira de al-  
ambre

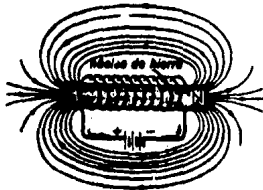


Por medio de la regla de la mano izquierda se puede ob-  
servar la dirección de la inducción magnética en todos los --  
puntos que rodean a la bobina que lleva una corriente eléctri-  
ca y esta regla se puede probar con una brújula. Dentro de --  
cada espira o vuelta de alambre, las líneas de fuerza van en --  
una dirección, mientras que fuera de la misma tienen la direc-  
ción opuesta, como lo muestra la Figura 1.4.



Campo magnético alrededor de un solenoide que lleva una corriente de electrones.

Figura 1.4a



Un alambre y la inducción magnética que lo rodea cuando lleva una corriente por la bobina.

Figura 1.4b

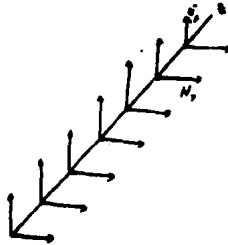


## ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Las ondas electromagnéticas son oscilaciones que se propagan en el vacío a una velocidad de 300,000 Km/seg. En cierto momento, dicha propagación se podría comparar con las ondas que se generan en el agua al tirar una piedra, con la diferencia que en el agua la propagación de las ondas son fuerzas longitudinales y en el vacío, la propagación de las ondas electromagnéticas son fuerzas transversales.

En dicha onda, los campos magnético y eléctrico son mutuamente perpendiculares como lo muestra la Figura 1.5.

Figura 1.5  
Campos Eléctrico y Magnético



Cuando se manda una onda electromagnética, dicha señal se va haciendo más débil al irse alejando de su origen, pero nunca perdiera sus características con respecto al instante en que fueron generadas, como lo muestra la Fig. 1.6.

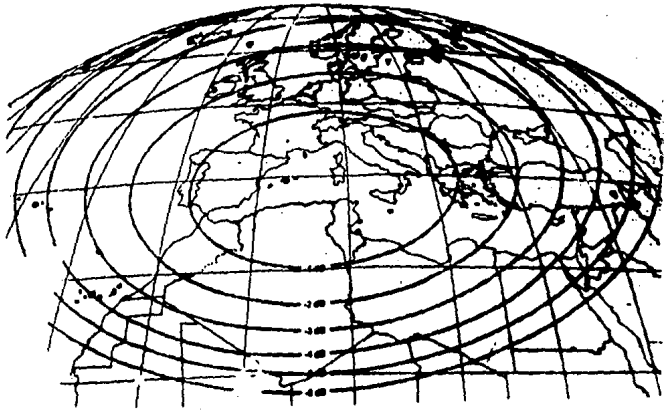


Figura 1.6  
Radiación de ondas electromagnéticas desde un satélite

La onda electromagnética representada en función del desarrollo de las ecuaciones de Maxwell es  $\nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = 0$

cuya solución para el campo eléctrico es  $\vec{E}(R,t) = \vec{E}_0 e^{-\alpha R} e^{i(\omega t - \beta R)}$

Las características principales son:

- |          |                          |          |
|----------|--------------------------|----------|
| $\alpha$ | constante de atenuación  | $M^{-1}$ |
| $\beta$  | constante de fase        | Rad/M    |
| $\gamma$ | constante de propagación | $M^{-1}$ |
| $\omega$ | velocidad angular        | Rad/Seg  |

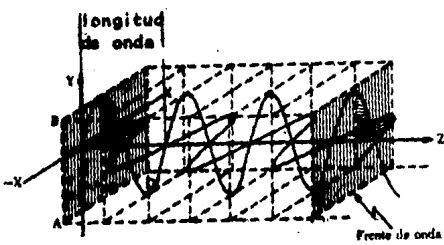


Figura 1.7 Representación de los frentes de onda.

La propiedad fundamental de la parábola es que los haces que refleja convergen en un punto llamado foco, ahora bien, si hacemos la parábola con un material conductor, los haces a reflejar serán las ondas electromagnéticas emitidas por los satélites u otras fuentes.

Si la parábola se elabora de fibra de vidrio, será necesario instalar en la fibra de vidrio un material conductor, pues si no lo hacemos, la parábola no reflejará las ondas electromagnéticas hacia el foco, porque la fibra de vidrio absorbería la señal, y no la reflejaría al foco.

#### SATELITES ARTIFICIALES

Un satélite es un cuerpo que tiene una órbita alrededor de un planeta. La tierra tiene un solo satélite natural (la luna).

Un satélite artificial es un cuerpo que colocó el hombre en una órbita alrededor de la tierra, estos satélites sirven para recibir señales de un punto de la tierra y emitirles a una sección de la tierra. Dicha sección apunta a los Estados Unidos, pero en México se recibe la señal porque nos llega la 'sombra' de la transmisión del satélite, como lo muestra la figura 1 6

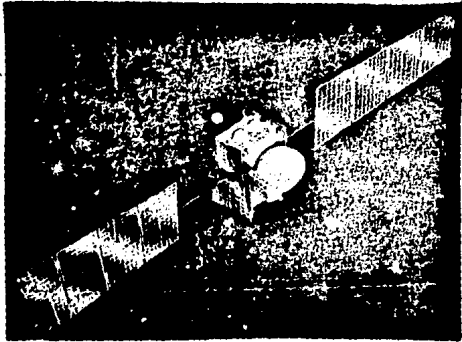
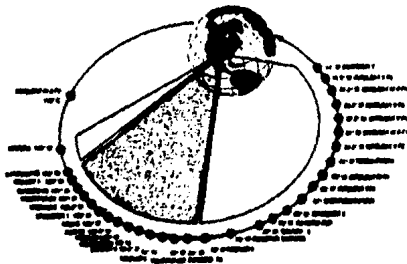


Figura 1.7 Satelite artificial

Los satélites artificiales se encuentran a una distancia de 34,707 kms. sobre el ecuador, esto quiere decir que todos los satélites giran sobre el ecuador, la posición en la que se colocan estos satélites es llamada cinturón de Clarke, como lo muestra la Fig. 1.8

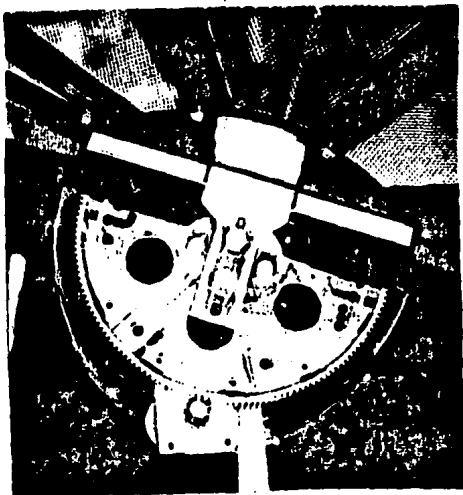
Fig. 1.8  
Cinturon de  
Clarke



Estos satélites son del tipo geostacionario, esto quiere decir que siempre están apuntando a la misma zona en la tierra, y van a una velocidad ligeramente mayor a la rotación de la tierra (para cumplir con la condición de geostacionario).

Estos satélites se encuentran acomodados en el cinturón de Clark de Este a Oeste, por lo que la antena parabólica sólo deberá moverse de Este a Oeste y no en otra dirección como lo muestra la Fig. 1.8

Fig 1.9  
Engrane que  
mueve a la  
parábola de  
Este a Oeste.



## CAPITULO 2

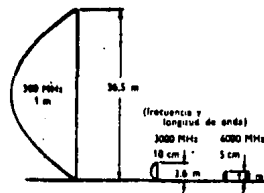
### ANTENAS

#### ANTENAS PARA MICROONDAS

Una de las novedades más importantes de la radio de microondas es la construcción de un sistema especial de radiación. Como las longitudes de onda son de unos cuantos -- centímetros (normalmente entre 6 mm. y 10 cm.) es fácil construir sistemas radiantes que sean grandes comparados con la longitud de onda, cosa que no es posible con las longitudes de onda más largas.

La Figura 2.1 muestra la comparación entre los tamaños de un reflector parabólico simple para tres frecuencias distintas. En todos los casos los diseños son tales que producen haces de rayos idénticos, que tienen una anchura de -- aproximadamente dos grados.

FIG 2.1  
Tamaños relativos de los platos reflectores parabólicos necesarios para producir haces idénticos de una anchura aproximada de 2°, a varias frecuencias.



En la Figura 2.2, aparecen la mayoría de los tipos --  
generales de antenas para microondas, todas ellas construidas --  
de modo que tengan dimensiones del orden de una o más longitu-  
des de onda. Excepto en el caso que algún dipolo único o de un  
aplamiento de dipolos múltiples intervengan en superficies reflej-  
teras que tienen superficies iguales a varias longitudes de on-  
da, y los dipolos, propiamente dicho, son de media longitud de  
onda.

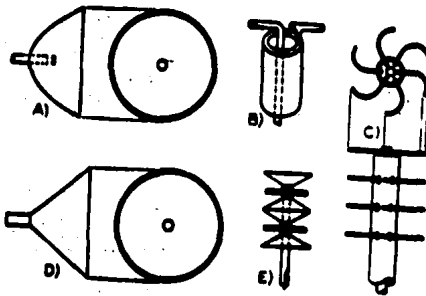


FIG 22

Varios tipos de antenas de microondas. A) plato parabólico con alimentación de guía de ondas o coaxial a un dipolo u otra terminación; B) dipolo único con alimentación coaxial; C) aplamiento de dipolos únicos o múltiples, rectos o doblados; D) bocina con alimentación de guía de ondas; E) aplamiento de bocina bidireccional con dipolo de alimentación.



## DIPOLOS

El dipolo de media onda es un elemento importante en muchas alimentaciones de antena de microondas, así como un -- artefacto útil en sí mismo; en la Figura 2.2 aparece conectado a una línea coaxial o en la Figura 2.3 como una fuente parásita en conjunción con una guía de ondas de extremo abierto.

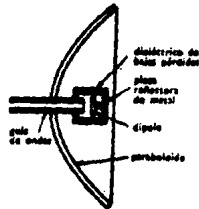


FIG 23

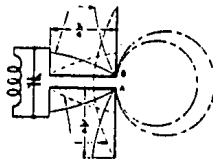
Vista en sección de una guía de ondas de alimentación instalada en un reflector parabólico.

La fuente parásita absorbe energía de la guía y la vuelve a radiar, aunque los que trabajan en este campo los -- han bautizado con el nombre de dipolo a pesar de que realmente no lo son. Son del tipo pequeño, siendo antenas de media onda alimentadas centralmente y conectadas a líneas resonantes equilibradas.

Un dipolo es, estrictamente hablando, un par de cargas oscilantes o estacionarias o un par de polos magnéticos - separados por una distancia que es muy pequeña en comparación con la longitud de onda y de polaridad opuestas.

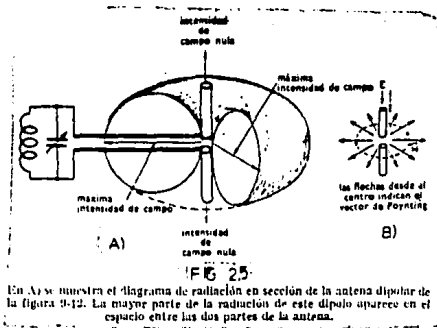
La Figura 2.4 es una representación esquemática de una antena de dipolo de  $1/2$  longitud de onda, que se ha dibujado de nuevo en la Figura 2.5, a fin de dar una vista tridimensional. La separación del dipolo se indica en la Figura 2.4 y las flechas señalan con el vector de Poynting que la energía radial fluye hacia afuera a partir de esta separación entre las dos mitades del dipolo.

FIG 24  
Diagrama esquemático de una antena de dipolo de media onda. Probablemente, la representación de capacidad-inductancia será una cavidad resonante en un montaje de microondas y la línea que conecta este circuito al dipolo será una línea coaxial o una guía de ondas.



El acoplamiento al transmisor (Figuras 2.4 & 2.5), - como una inductancia y capacitancia acopladas al circuito tan- que oscilante del transmisor, sería en un montaje real de micro

ondas una cavidad resonante, en otras palabras, el circuito -  
tanque del transmisor consistiría en una cavidad resonante, y  
el acoplamiento a éste se efectuaría bien mediante una línea  
coaxial provista de una sonda o espira o, bien, mediante una  
gufa de ondas abriéndose directamente en la misma cavidad.



Igualmente, la línea de transmisión que se muestra -  
en las Figuras 2.4 y 2.5, como un par de líneas de  $1/4$  de lon-  
gitud de onda paralelas que conectan el circuito resonante --  
con los conductores radiantes, tomaría una forma de línea co-  
axial o de gufa de ondas de tubo. Estos factores no afectan -  
ni al espectro ni al funcionamiento de los radiadores, con la  
condición de que estén eléctricamente acoplados.

Como en cualquier circuito de corriente alterna, la carga fluye desde la fuente hasta los cables de conexión, hasta que se invierte la polaridad, entonces se mueve en dirección opuesta hasta el siguiente cambio.

Estas variaciones ocurren en el tiempo que la carga necesita para moverse media longitud de onda, así, la carga abandona la fuente después de que un cambio de polaridad ha tenido el tiempo justo para alcanzar el extremo de uno de los radiadores del dipolo cuando llega el momento de empezar a volver; un movimiento hacia atrás equivale a la llegada de carga de signo opuesto, o en otras palabras, al cambio de dirección de la corriente.

Además, puesto que la polaridad de las dos terminales de la fuente siempre son contrarias, la carga se está moviendo hacia la fuente en uno de los dos brazos del radiador, siempre que se esté alejando de la fuente del otro. Pensando sólo en los brazos del dipolo, el efecto es como si la carga solamente se moviera hacia adelante y hacia atrás por toda la longitud, en la línea de transmisión sintonizada. La carga en cada conductor se está moviendo en condiciones opuestas, de modo que cualquier campo electromagnético

tico introducido por una corriente es anulado exactamente por el de la otra, esto quiere decir que la radiación se obtiene del propio dipolo y no del circuito de alimentación asociado.

Realmente, en el espacio libre, el espectro de radiación es simétrico en todas las direcciones a lo largo de los radiadores. Si los círculos de la Figura 2.4 se imaginan girados hacia afuera del papel alrededor de un punto situado a la mitad del camino entre A y B, generarán superficies como la de la Figura 2.4, que son verdaderos espectros de antenas puesto que cada punto de esa superficie será un lugar -- en el que se encontrará igual intensidad de señal.

Según se ha indicado, cada mitad de un dipolo de media onda es nominalmente de un cuarto de longitud de onda. - En realidad, esa longitud es sólo una dimensión nominal, pues en la práctica es necesario considerar ciertos factores de corrección para llegar a una longitud apropiada llamada longitud eficaz, que, por lo normal, es un 10 ó 20% más corta. - Cuanto mayor sea el diámetro del dipolo más corto debe hacerse, puesto que está relacionado con el área eficaz de la antena.

En particular, en el caso de las antenas para los aviones, es importante obtener espectros de radiación que se extiendan en todas las direcciones horizontales y, además, disponer de una antena suficientemente pequeña y ligera para ser montada en el exterior del avión. Dicha antena se diseña de modo que tenga un mínimo de resistencia al viento.

Para producir esta antena es posible curvar los dipolos, y aun usarlos en conjuntos múltiples como lo indica la Figura 2.6. En ésta, una línea coaxial tiene tres dipolos en su terminación; por tener este número y porque cada dipolo está curvado parcialmente en espiral alrededor de la línea coaxial, el espectro de radiación de la antena resultante se aproxima a la superficie esférica.

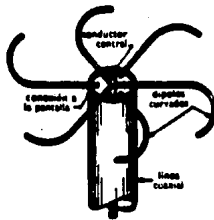


FIG 2.6

Un dipolo de forma múltiple de este tipo dará un espectro de radiación omnidireccional que se aproxima a una superficie esférica.

## **RADIACION**

En la tierra, la propagación de las ondas electromagnéticas no sólo depende de sus propiedades, sino también de la atmósfera terrestre.

En el vacío, las ondas viajan en línea recta, pero las propiedades de la atmósfera de nuestro planeta alteran dicha ruta, aunque es muy raro que se desvíen las ondas de alta frecuencia (VHF y UHF) puesto que viajan en la capa llamada tropósfera, donde las influencias son menores.

Las frecuencias en un nivel más bajo de HF, viajan a lo largo de la curvatura de la tierra; esto significa que hay un efecto de guía de onda por parte de la superficie de la tierra y las capas de ionización atmosféricas.

Las ondas electromagnéticas que están en el rango de HF son reflejadas por las capas ionizadas de la atmósfera. Estas señales son irradiadas y regresadas por la ionósfera a la tierra reflejándose adelante del horizonte, pero para recibir las del otro lado de la tierra tienen que ser reflejadas entre la tierra y la ionósfera varias veces.

## **REFLECTORES**

Un reflector es un objeto de material conductor en -

el cual, al chocar una onda electromagnética, rebotará en determinada dirección, dependiendo de su ángulo de incidencia - (se verá más adelante el ángulo de incidencia).

Como ya mencionamos con anterioridad en nuestro trabajo, se usará un reflector parabólico, por lo que en lo sucesivo hablaremos exclusivamente de reflectores parabólicos.



## RUIDO

La señal recibida, tiene parte de señales aleatorias no deseadas originadas por la atmósfera y los aparatos de transmisión así como los de recepción. Estas señales aleatorias no permiten que se reciba la señal deseada, por lo que se les conoce con el nombre de ruido; y la unidad utilizada para medirlo es la temperatura de ruido.

La temperatura de ruido de los receptores se ha reducido al punto en el que ya no representa una influencia dominante en la elección de las alternativas que existen. Es una paradoja que, por lo común, un parámetro de ruido es la primera característica que se especifica para un receptor, sin embargo, pocos emplean el receptor de menor ruido que se puede conseguir, puesto que tal elección representa un sacrificio demasiado grande en cuanto a alguna característica diferente.

El costo rara vez es una consideración al rechazar una alternativa de menor ruido. Una reducción en los requisitos de ganancia de la antena o de la potencia transmitida produce un ahorro en los costos, y esto, excede cualquier costo adicional de un receptor de menor ruido. Generalmente, las características más importantes de funciona-

miento dictan la elección del extremo frontal del receptor:

- 1.- Rango dinámico y susceptibilidad a sobrecarga.
- 2.- Ancho de banda y rango de sintonización instantáneas.
- 3.- Estabilidad de fase y amplitud.
- 4.- Requisitos de enfriamiento.

Una concesión directa debe hacerse entre la temperatura de ruido y el rango dinámico del receptor. La introducción de un amplificador de RF enfrente del mezclador necesariamente implica elevar el nivel de ruido del sistema en el mezclador para que la contribución del ruido del mezclador sea insignificante. Aun el mismo amplificador RF tiene un rango dinámico más que adecuado, el rango dinámico del mezclador debe adaptarse como se indica abajo:

Relación de ruido del extremo frontal al ruido del mezclador	6 db	10 db	13.3 db
Sacrificio en el rango dinámico del mezclador	7 db	10.4 db	13.5 db
Degradación de temperatura de ruido del sistema por el ruido del mezclador	1 db	0.4 db	0.2 db

#### DEFINICIONES

El rango dinámico que representa el rango de la fuer

za de la señal sobre la que el receptor funcionará como se --  
espera, es más difícil de definir, pues se necesitan las es--  
pecificaciones de tres parámetros:

1. La señal mínima de interés. Por lo regular -  
esto se define como la señal de entrada que -  
produce unidad de relación señal-a-ruido en -  
la salida del receptor. Ocasionalmente, una\_  
definición de señal-mínima-detectable se em--  
plea.
2. Desviación permisible de la característica es--  
perada. La señal máxima es una que causa cier--  
ta desviación del funcionamiento esperado. -  
Por lo común, los receptores lineales especi--  
fican una reducción de 1 db en ganancia cre--  
ciente (la cuesta de la curva de salida vs --  
entrada). Los receptores limitantes o loga--  
rítmicos deben definir un error permisible --  
en sus salidas. Los receptores que controlen  
la ganancia deben distinguir entre rango diná--  
mico instantáneo y el que se logra, en parte,  
como resultado de variación de ganancia pro--  
gramada.

3. Clase de señal. Tres clases de señales son de interés general para determinar los requisitos de rango dinámico: Objetivos distribuidos, objetivos de punto y apilamiento de ruido de ancho de banda. Si el receptor emplea una señal de codificador de fase, los elementos del receptor que preceden al descodificador no restringirán el rango dinámico de un objetivo de punto con tanta severidad como lo harán con desorden distribuido. El producto de tiempo de ancho de banda del pulso codificado indica el rango dinámico agregado que el descodificador extraerá de los objetivos de punto. A la inversa, si el receptor incorpora un amplificador RF con ancho de banda excesivo, su rango dinámico al ruido de interferencia del ancho de banda puede restringirse severamente.

#### EVALUACION

Es necesaria una evaluación detallada de todos los elementos del receptor para evitar degradación no anticipada de la temperatura del ruido o rango dinámico. Un rango dinámico

co que no es adecuado hace que el receptor de radar sea vulnerable a la interferencia, lo que puede causar saturación o sobrecarga, difrazando u ocultando los ecos deseados. Un formato tabular para tal computo permitirá que se identifiquen rápidamente aquellos componentes que contribuyen con ruido significativo o restringen el rango dinámico. Los valores "típicos" se incluyen en la tabla para propósitos de ilustración.

	Línea de transmisión	Amplificador de RF	Mezclador	Filtro
Temperatura de ruido °K		520	1300	300
Ganancia del componente db	-1.0	25	-6	15
Ganancia de entrada db		-1.0	24	18

Para usar la Tabla 1 se necesita tomar una precaución. El rango dinámico de cada componente se computa comparando la señal máxima y los niveles de ruido del sistema en la salida de cada componente. La suposición inherente en este método es que toda la filtración (reducción de ancho de banda y descodificador) de este componente se lleva a cabo antes de cualquier saturación. Es importante tratar esas etapas del receptor que proporcionan filtración significativa como elementos separados; si se juntan múltiples etapas en un solo filtro, esta suposición podrá caer en un grave error.

### PROPIEDADES DEL REFLECTOR PARABOLICO

Recordemos que la parábola se define como "el lugar geométrico de los puntos que equidista de una recta llamada directriz y un punto llamado foco". La ecuación de la parábola del dibujo (Figura 2.7), será pues  $y^2 = 4fx$ , y que se trata de una parábola con vértice en el origen.

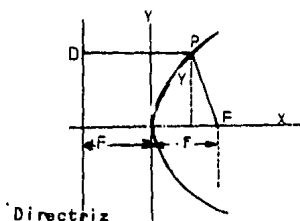


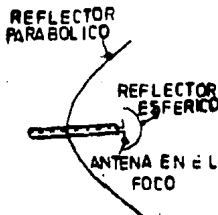
Figura 2.7 Ecuación de la parábola

Un reflector parabólico tiene la propiedad de que los haces que inciden perpendicularmente a la directriz, se reflejan pasando por el foco de la parábola. Esa propiedad hace que la

parábola resulta muy útil para recibir radiaciones procedente de satélites o, en general, puntos muy lejanos, en los cuales puede advertirse que los haces llegan perpendicularmente a la directriz y paralelos entre sí, siempre y cuando la parábola sea orientada convenientemente. Si deseamos usar un reflector parabólico para emitir una señal es necesario alimentarlo desde el foco y hacer que la mayor parte de la energía se refleje en dicho reflector para que éste mande la señal en la dirección que deseamos. La energía directa de alimentación que no es reflejada por la parábola se dispersa desde el foco en todas direcciones y, en consecuencia, altera parcialmente la dirección de la onda. Uno de los medios para evitar esto es poniendo un pequeño reflector esférico delante del foco -- como lo muestra la Figura 2.8.

FIGURA 2.8

Reflector parabólico  
con alimentación central y reflector esférico.





Este reflector regresa las ondas a la parábola principal, para que ésta les irradie sin afectar la dirección de la onda.

Otro método es el que muestra la Figura 2.9.

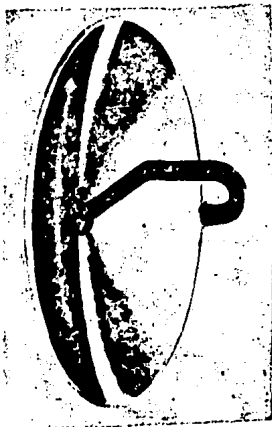


Figura 2.9  
Antena parabólica con  
alimentador central

En este método la antena apunta a la parábola, lo --  
cual puede hacer parecer que la antena puede afectar a las --  
transmisiones del reflector, sin embargo, si suponemos un re-  
flector de 30 cms. de diámetro en el foco de una parábola de  
3 metros de diámetro, el área obstruida es únicamente el 1% del  
área total.

Las parábolas completas no son el único método práctico para la reflexión, existen otros tipos de parábolas con las mismas propiedades.

Hay varios tipos de reflectores parabólicos usados con más frecuencia que tienen la ventaja sobre el de parábola completa que, como son más pequeños, son más baratos, pero la desventaja que tienen, es que el rayo no puede ser direccionado con tanta facilidad en alguno de los planos de las parábolas incompletas, por ejemplo, la parábola que usan para mandar señales de barco a barco, el rayo irradiado es muy delgado horizontalmente y más ancho en forma vertical, lo cual es una gran ventaja para los navíos pero es deficientes para los aviones.

#### DEFECTOS DE LOS REFLECTORES PARABOLICOS

El reflector parabólico, en teoría, debe estar pulido a espejo para que las ondas electromagnéticas se dirijan al blanco deseado, pero, en realidad, dicho reflector tiene algunos lóbulos laterales, los cuales afectan dicha transmisión creando ecos falsos al radar al regresar al reflector sin dar en un blanco, esto incrementa el ruido existente en el radar; por otro lado, cuando el haz pega exactamente en --

los lóbulos laterales (en los picos de la parábola) producen una interferencia al radar. Esta es la razón por la cual se utilizan reflectores con una abertura, de preferencia, mayor de 10 veces la longitud de la onda.

#### LEY DE SNELL

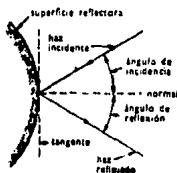
El problema de construir las superficies reflectoras, más eficaces detrás de un radiador de dipolo de modo que hagan que una fracción grande de la energía vaya hacia adelante en un haz estrecho, es similar al que se encuentra en la construcción de un reflector o de un telescopio.

Siempre que las ondas de radio de pequeña longitud chocan con una superficie reflectante, se reflejan de forma que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión (Ley de Snell).

En la Figura 2.10, se dibuja una línea a partir de la superficie de modo que sea perpendicular a ésta o a su tangente si se considera la curvatura; se define el ángulo de incidencia como el ángulo entre esa línea normal y la onda de radio incidente. El ángulo de reflexión es el ángulo entre la normal y la onda reflejada.

Usando la Ley de Snell de la igualdad entre los --  
ángulos de incidencia y reflexión, se puede dibujar el cami-  
no que seguirá la energía del haz hacia la antena y desde\_  
ella.

FIG. 2.10 derecha  
Cuando un haz de microondas llega a una  
superficie reflectora se refleja de modo  
que el ángulo de incidencia es igual al de  
reflexión.

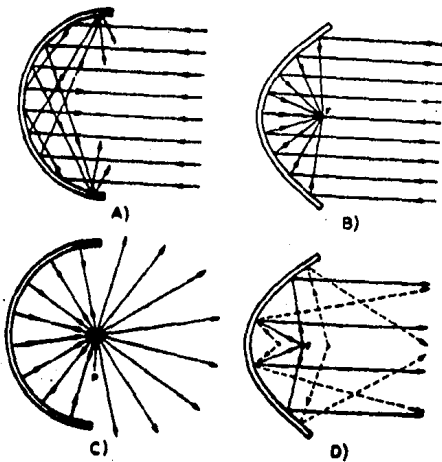


Se supone una fase puntual en un reflector de antg  
na transmisora o un receptor puntual en un reflector de an-  
tena receptora; en la Figura 2.5, se han hecho tales dibu-  
jos para superficies esféricas y parabólicas.

En la Figura 2.11, se ve que si se utiliza una su-  
perficie esférica para interceptar la radiación de microon-  
das, la energía que alcanza las distintas partes de la su-  
perficie, no se refleja hacia un punto único en el que se pug-  
da situar un dipolo o una gafa de extremo abierto para recog-  
ger la energía y llevarla a receptor. Este es un caso ex-

trame; en la práctica es completamente posible usar un reflector en forma de plato (plato se le dice al reflector que tiene la forma de un plato hondo) y llevar los rayos hacia un foco aproximado.

FIG 2.11  
Reflexión de los rayos que llegan a A) un reflector esférico receptor y B) parabólico y reflexión de los rayos que salen de C) un reflector transmisor esférico y D) parabólico.



Puesto que en las antenas actuales la alimentación siempre es de tamaño finito, no es imperativo un foco exacto, y es posible cierta desviación de un paraboloide exacto, lo cual es muchas veces conveniente.

Siempre se encontrará la falta de un foco exacto, es decir, un punto de concentración de la energía que entra o sale en la antena con cualquier forma de reflector, excepto el paraboloide; por lo que es norma usar platos de esa forma para haces de microondas agudos y simétricos.

Aunque éstos se construyen como paraboloides bastante exactos, en realidad no es necesario mantener una precisión muy alta, puesto que si su forma se aproxima al paraboloide tendrán una aberración suficientemente pequeña del foco de modo que la alimentación se pueda disponer en forma eficaz.

En la Figura 2.11 se muestra cómo toda la energía incidente que choca en la superficie parabólica se refleja pasando por un punto llamado punto focal de la parábola. Se puede colocar la terminación de una línea de transmisión en el punto focal  $F$  para recoger toda la energía incidente y transportarla al receptor.

En la Figura 2.11, se muestra un reflector esférico pero que, a diferencia del otro, está actuando como superficie transmisor desde una fuente puntual de alimentación P, localizada en el centro del semicírculo a partir del que se genera la superficie reflectante. En este caso no sólo se obtiene un rayo ampliamente divergente sino que también se encuentra un refuerzo especial o un efecto de anulación.

La radiación desde la fuente puntual hasta la superficie reflejante debe, después de la reflexión, pasar de nuevo por la fuente. La reacción de la fuente será de tal forma que producirá resonancia si el radio es  $1/4$  de longitud de onda y un efecto de descarga si el radio es de media longitud de onda. Este problema es parcialmente arreglado cuando se utiliza una superficie parabólica como la de la Figura 2.11.- Si la fuente está exactamente en el foco se obtiene el inverso exacto del caso del receptor de la Figura 2.4B y no se obtiene ni convergencia ni divergencia del haz de radio a causa de la forma del receptor.

Sin embargo, según se muestra por la línea de puntos de la Figura 2.11, si la alimentación está localizada hacia adentro o hacia afuera del punto focal se obtiene divergencia o convergencia, respectivamente. Puesto que un rayo convergente tiene necesariamente un punto de cruce y luego se

hace divergente, ambas situaciones conducirán igualmente a reducir la ganancia de la antena.

Lo anterior parece indicar que una antena formada apropiadamente con un montaje de alimentación ideal, permitiría transmitir un haz de radio de microondas que sea de forma exactamente cilíndrica y que no tenga ninguna dispersión, salvo la debida a defectos de la parábola y de la divergencia necesaria de un sistema ideal de alimentación, que suministra excitación a la antena desde un punto que está exactamente en el foco.

#### DIFRACCION

En realidad, es imposible obtener algo más que un haz cónico de un parabolóide práctico que está alimentado en un punto que está en o cerca del foco, por las razones ya mencionadas, y por una más importante llamada DIFRACCION.

El fenómeno de la difracción causa una dispersión de energía lejos de los límites que se pueden predecir por la óptica geométrica. Se observa un fenómeno similar con luces y reflectores, pero se nota más en el caso de la radio a causa de que las microondas son muy grandes en comparación con las ondas de la luz visible.



Se ha demostrado que la luz paralela que pasa a través de un orificio circular (o que se refleja en un espejo -- circular), produce una mancha de luz algo más grande que el -- orificio en cuestión. Por la misma razón, la luz reflejada -- en un espejo perfectamente parabólico producirá una pequeña -- mancha de luz en el foco en vez de un punto ideal como indica la construcción geométrica; este resultado no se debe a defectos del espejo, sino que es consecuencia de la misma naturaleza de la luz.

Aunque se dice que la luz viaja en línea recta, la observación muestra que se curva suavemente en los bordes de un obstáculo. La dispersión de un rayo de luz detrás de un -- obstáculo, y, especialmente, la dispersión de la energía de -- radio en los bordes de un reflector parabólico, se llama DIFRACCION.

A causa de la difracción, los rayos de microondas -- emitidos por un paraboloide nunca pueden moverse en el espacio y conservar una sección transversal igual a la de la antena que los ha enviado, sino que siempre tienen alguna divergencia por mínima que sea. Naturalmente, a medida que el paraboloide es más grande, de modo que sus bordes están apartados más longitud de onda de la alimentación, los efectos de .

difracción se hacen menores y se aproxima uno al caso de la -  
Figura 2.11, en la que el rayo no se dispersa. Esto hecho es  
tan importante para determinar la anchura del haz, que para --  
todos los fines prácticos es el único que se necesita consi--  
derar (si el emplazamiento de la alimentación y la forma del  
plato están razonablemente bien hechos, entonces la anchura -  
del rayo sólo dependerá del tamaño del plato).

#### GUIAS DE ONDA

La Figura 2.12 muestra un montaje típico de alimenta-  
ción de guía de ondas para un reflector parabólico; la guía -  
de ondas entra en el paraboloide por atrás, a través de un --  
orificio adecuado cortado en el centro.

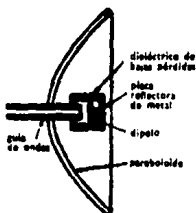


FIG 2.12  
Vista en sección de una  
guía de ondas de alimenta-  
ción instalada en un reflec-  
tor parabólico.

Esta gufa es de extremo abierto y enfrente de ésta se encuentra montado un dipolo cuya energía varía por acoplamiento según los campos eléctricos y magnéticos que se mueven por la gufa de tubo. Entonces, el dipolo radia energía que va hacia la superficie parabólica reflectante principal a través del fino soporte dieléctrico que se indica en la Figura 2.12 o sin esta transición si el dipolo está soportado de alguna otra forma.

Normalmente, se monta una pequeña placa reflectante cerca del dipolo, de forma que toda la energía debe reflejarse en el espejo parabólico antes de formar parte del haz. -- Esto evita cualquier dificultad con la interferencia, que de otra manera surgiría con el hecho de que la energía que llega directamente de la alimentación tiene una considerable diferencia de camino si se compara con la que va desde el dipolo al espacio. La pequeña placa reflectante ensombrece de tal forma el dipolo que prácticamente toda su energía debe chocar con la superficie parabólica.

En la práctica, se encuentra convenientemente que el dipolo de una alimentación, como en la Figura 2.12, esté -- colocado algo fuera del punto focal; normalmente, sobrepasa la distancia focal en el 10 o 20%.

La convergencia que se obtiene así compensará en -- parte otros efectos de divergencia que son inherente a la estructura.

Si se mide la intensidad de señal en función del -- ángulo, estando siempre a la misma distancia R de la antena -- parabólica de transmisión indicada en la Figura 2.13, se puede obtener un diagrama como el de la Figura 2.13.

Si el equipo de medida se mueve en el círculo alrededor de la antena, se encontrarán intensidades máximas directamente enfrente del reflector. Se dice que esta región es -- la que contiene el LOBULO PRINCIPAL O MAYOR de la antena.

Aumentando o disminuyendo el ángulo a partir de esta posición, la amplitud de la señal decrecerá y, por último, llegará a ser cero. Para ángulos aún mayores se encontrarán -- pequeños lóbulos laterales o MENORES que a menudo se desprecian.

Estos lóbulos laterales o menores, se deben a las -- desviaciones de la onda electromagnética debido al alimentador, las varillas que sostienen el alimentador y, en general, a pequeñas irregularidades que pueda haber en la parábola, -- las cuales no reflejan el haz hacia el foco.

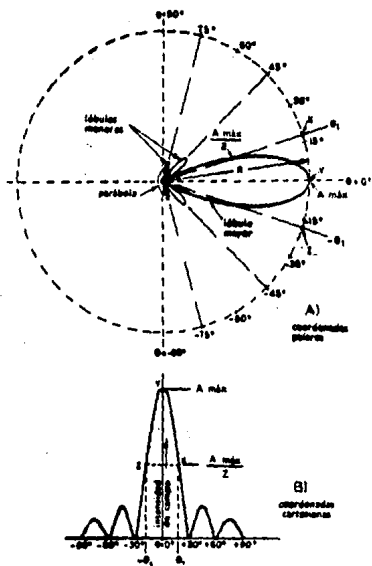


FIG 213

Diagrama de radiación de una antena parabólica en coordenadas polares A) y en coordenadas cartesianas B).

## CAPITULO 3

### CALCULO DE UNA ANTENA PARABOLICA

#### GEOMETRIA DE LA PARABOLA

Para diseñar una antena parabólica es necesario entender la geometría de la parábola que dice: Si un haz de luz con rayos paralelos es reflejado en una parábola, la radiación converge en un punto llamado punto focal, del mismo modo, si del punto focal se radia energía emergerán rayos paralelos

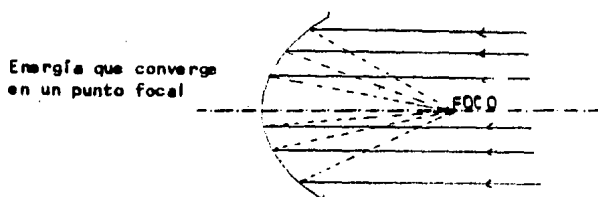


Figura 3.1

Por esta característica, las antenas parabólicas son las más usadas cuando se desea mandar una señal a un lugar específico, pues la parábola reflejará haces paralelos entre sí a dicho punto.

### SUPERFICIE GEOMETRICA

La superficie de un reflector paraboloide se forma rotando una parábola alrededor de su eje. Su superficie debe ser un paraboloide de revolución con el fin de que los rayos que emanan del foco del reflector sean transformados en ondas planas. El diseño está basado en técnicas ópticas las cuales no toman en cuenta deformaciones (difracciones) sobre el borde del reflector. Refiriéndose a la Figura 3.2 y eligiendo un plano perpendicular al eje del reflector a través del foco. Para facilitarnos el cálculo, vemos que:

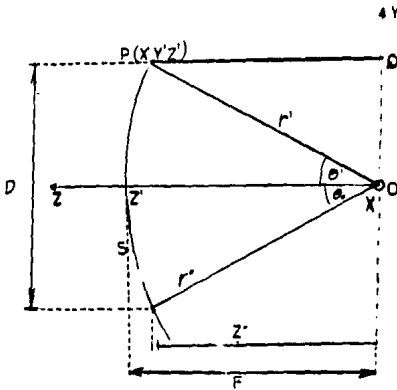


Figura 3.2  
Geometría de la parábola

$$\overline{OP} + \overline{PQ} = 2F$$

Tenemos que

$$\overline{OP} = r'$$

$$PQ = r' \cos \theta$$

2

Sustituyendo la ecuación 1 en 2

$$2F = r' + r' \cos \theta' \Rightarrow 2F = r'(1 + \cos \theta')$$

3

$$r' = \frac{2F}{1 + \cos \theta'} = f \sec^2 \frac{\theta'}{2}$$

(Coorden Polares)

4

En coordenadas rectangulares

$$r' + r' \cos \theta = \sqrt{(x')^2 + (y')^2 + (z')^2} + z' = 2F$$

5

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = 4F^2 - 4Fz' + z'^2$$

$$x'^2 + y'^2 = 4F(F - z')$$

6

Observando la Figura 3.2 tenemos que

$$\tan \theta_0 = \frac{\frac{d}{2}}{z_0} \Rightarrow \theta_0 = \tan^{-1} \frac{\frac{d}{2}}{z_0}$$

7



De la ecuación 6 tenemos:

$$x^2 + y^2 = 4f(f - z_0)$$

Por lo tanto

$$x_0^2 + y_0^2 = 4f(f - z_0)$$

$$z_0 = f - \frac{x_0^2 + y_0^2}{4f}$$

Por el teorema de Pitágoras

$$z_0 = f - \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{4f} = f - \frac{d^2}{16f}$$

Sustituyendo la ecuación 7 en la 8 y despejando f

$$\theta = \text{TAN}^{-1} \left( \frac{\frac{d}{2}}{f - \frac{d^2}{16f}} \right) = \text{TAN}^{-1} \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{f}{d}\right)}{\left(\frac{f}{d}\right)^2 - \frac{1}{16}}$$

$$f = \frac{d}{4} \cot^2 \frac{\theta}{2} \quad \text{Ecuación del foco de la parábola} \quad 9$$

## EFICIENCIA

El propósito de esta sección es conocer de que depende la eficiencia y la directividad de la antena.

### DENSIDAD DE CORRIENTE INDUCIDA

Para determinar las características de radiación de un reflector parabólico (patrón, ganancia, eficacia, polarización, etc.) se debe conocer la densidad de la corriente inducida.

La densidad de corriente  $\vec{J}_s$  puede determinarse utilizando

$$\vec{J}_s = \hat{n} \times \vec{H} = \hat{n} \times (\vec{H}_i + \vec{H}_r) \quad 10$$

donde  $\vec{H}_i$  y  $\vec{H}_r$  representan, respectivamente, los componentes del campo magnético reflejado e incidente evaluados en la superficie del conductor, y  $\hat{n}$  es un vector unitario normal de la superficie. Si la superficie reflejada puede ser aproximada por una "superficie plana infinita" (esta condición es satisfactoria localmente para una parábola), entonces por el método de imágenes

$$\hat{n} \times \vec{H}_i = \hat{n} \times \vec{H}_r \quad 11$$

La ecuación 10 se reduce a

$$\vec{J}_s = \hat{n} \times (\vec{H}_i + \vec{H}_r) = 2\hat{n} \times \vec{H}_i = 2\hat{n} \times \vec{H}_r \quad 12$$

La aproximación de la densidad de la corriente de 12 se conoce como la aproximación de la óptica física, y es válida cuando las dimensiones transversales del reflector, radio de curvatura del objeto reflejado y el radio de la curvatura de la onda

incidentes son grandes comparadas con la longitud de onda.

Si la superficie reflejada se encuentra en el campo lejano de la fuente que genera las ondas incidentes, entonces también puede escribirse

$$\vec{J}_s = 2R \times \vec{H}_i \approx \frac{2}{\eta} [R \times (\hat{s}_i \times \vec{E}_i)] \quad 13$$

o

$$\vec{J}_s = 2R \times \vec{H}_r \approx \frac{2}{\eta} [R \times (\hat{a}_r \times \vec{E}_r)] \quad 14$$

donde  $\eta$  es la impedancia intrínseca del medio,  $\hat{s}_i$  y  $\hat{a}_r$  son vectores unitarios radiales a lo largo de rutas de rayos de las ondas incidentes y reflejadas (como lo muestra la Fig.3.3) y  $E_i$  y  $E_r$  son los campos eléctricos reflejados e incidentes.

#### METODO DE DISTRIBUCION DE APERTURA

Las dos técnicas más comúnmente usadas en el análisis de características de radiación de reflectores son los métodos de "distribución de apertura" y de "distribución de corriente".

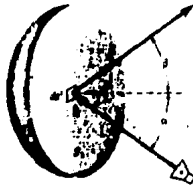


FIGURA 3.3 SUPERFICIE DE UN REFLECTOR PARABOLICO

Para el método de distribución de apertura, el campo reflejado por la superficie del paraboloide se encuentra primero sobre un plano que es normal al eje del reflector; por lo regular, para lograrlo se utilizan técnicas de óptica geométrica (rastreo de rayo). En la mayoría de los casos, el plano es llevado a través del punto focal, y se le designa como el plano de apertura, como lo muestra la Fig. 3.4; entonces sobre ese plano se forman fuentes equivalentes. Por lo general, se asume que en el plano de apertura las fuentes equivalentes son cero afuera del área proyectada del reflector.

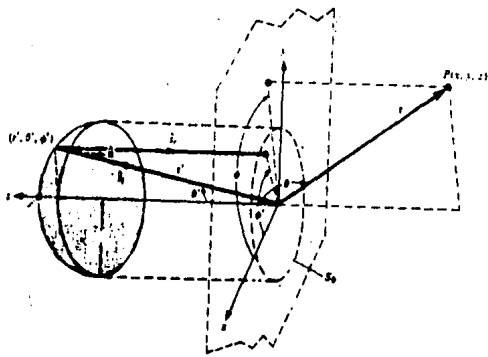


FIGURA 3.4 GEOMETRIA TRIDIMENSIONAL DEL REFLECTOR PARABOLICO

Para el "método de distribución de corrientes", la aproximación de óptica física de la densidad de la corriente inducida  $\vec{J}_s$  dada por  $(\vec{J}_s \approx 2\hat{n} \times \vec{H}_i)$ , donde  $\vec{H}_i$  es el campo magnético incidente y  $\hat{n}$  es un vector unitario normal a la superficie del reflector) es formulado sobre el lado iluminado del reflector ( $S_1$ ) de la Fig. 3.3. Entonces, esta densidad de corriente se integra sobre la superficie del reflector para rendimientos de los campos de radiación de zonas lejanas.

Las aproximaciones que son comunes para ambos métodos para el reflector de la Fig.3.3son:

1. La densidad de la corriente es cero en el lado de la sombra ( $S_2$ ) del reflector.
2. No se toma en cuenta la discontinuidad de la densidad de la corriente sobre la pestaña (T) del reflector.
3. No se toman en cuenta la radiación directa y el bloqueo en la apertura del alimentador.

Estas aproximaciones llevan a resultados precisos, utilizando cualesquiera de las dos técnicas para campos radiados en el haz principal y los lóbulos menores cercanos. Con el fin de predecir el patrón en forma más precisa en todas las regiones, en especial para los lóbulos menores, pueden aplicarse las técnicas de difracción geométrica.

La ventaja del método de distribución de apertura, se basa en que la integración sobre el plano de apertura puede -- realizarse con la misma facilidad para cualquier patrón alimen- tador o posición alimentadora. La integración sobre la super- ficie del reflector como lo requiere el método de distribución de corriente, se vuelve bastante complejo y es muy tardado cuan- do el patrón alimentador es asimétrico y/o el alimentador se - coloca fuera del eje.

Podemos asumir que una fuente polarizada y con una - función de ganancia de  $G_f(\theta', \phi')$  se coloca en el punto focal de un reflector paraboloide. La intensidad radiada de esta -- fuente es usada por

$$U(\theta', \phi') = \frac{P_t}{4\pi} G_f(\theta', \phi') \quad 15$$

donde P es la potencia total radiada. Según la Fig. 3.4, en un punto  $r'$  en la zona lejana de la fuente

$$U(\theta', \phi') = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E}(\theta', \phi') \times \mathbf{H}^*(\theta', \phi')] = \frac{1}{2\eta} |\mathbf{E}(\theta', \phi')|^2 \quad 16$$

$$|\mathbf{E}(\theta', \phi')| = [2\eta U(\theta', \phi')]^{1/2} = \left[ \eta \frac{P_t}{2\pi} G_f(\theta', \phi') \right]^{1/2} \quad 17$$

El campo incidente, con dirección perpendicular a la distancia radiada puede escribirse como

$$\mathbf{E}_i(r', \theta', \phi') = \hat{\theta} \left[ \sqrt{\frac{\eta}{2}} \frac{P_t}{2\pi} G_f(\theta', \phi') \right]^{1/2} \frac{e^{-j\beta r'}}{r'} = \hat{\theta} C_1 \sqrt{G_f(\theta', \phi')} \frac{e^{-j\beta r'}}{r'} \quad 18$$

$$C_1 = \left( \frac{\eta}{2} \right)^{1/4} \left( \frac{P_t}{2\pi} \right)^{1/2} \quad 18A$$

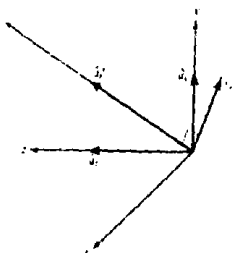


FIG. 3.5 ALINEACIÓN DE VECTORES UNITARIOS PARA UN REFLECTOR PARABOLICO

donde  $\hat{e}_y$  es un vector unitario perpendicular a  $\hat{a}_r'$ , y paralelo al plano formado por  $\hat{a}_r'$  y  $\hat{a}_y$ , como lo muestra la Fig. 3.5

Se puede mostrar que en la superficie del reflector

$$J_s = 2 \sqrt{\frac{r}{\mu}} [\hat{n} \times (\hat{i} \times \hat{e}_z)] = 2 \sqrt{\frac{r}{\mu}} C_{r1} \bar{u}(\theta', \phi') \frac{e^{-jkr}}{r} \mathbf{u} \quad 19$$

donde

$$\bar{u} = \hat{n} \times (\hat{a}_r' \times \hat{e}_z) = (\hat{n} \cdot \hat{e}_z) \hat{a}_r' - (\hat{n} \cdot \hat{a}_r') \hat{e}_z \quad 20$$

que se reduce a

$$\begin{aligned} \mathbf{u} = & \left[ -d_s \sin \theta' \sin \left( \frac{\theta'}{2} \right) \sin \phi' \cos \phi' \right. \\ & + d_s \cos \left( \frac{\theta'}{2} \right) (\sin^2 \phi' \cos \theta' + \cos^2 \phi') \\ & \left. - d_s \cos \theta' \sin \phi' \sin \left( \frac{\theta'}{2} \right) \right] / \sqrt{1 - \sin^2 \theta' \sin^2 \phi'} \quad 21 \end{aligned}$$

Para encontrar el campo de apertura  $\vec{E}_{ap}$  en el plano a través del punto focal debido a las corrientes del reflector, - primero se encuentra el campo reflejado  $\vec{E}_r$  en  $r'$  (el punto de reflexión) Esto es de la forma

$$E_r = \hat{e}_r C_{11} \sqrt{G_r(\theta', \phi')} \frac{e^{-jkr'}}{r'} \quad 22$$

donde  $\hat{e}_r$  es un vector unitario que representa la polarización - del campo reflejado.

De la ecuación 14 
$$J_r = 2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} [A \times (\hat{r} \times E_r)] \quad 23$$

porque  $\hat{e}_r = -\hat{a}_z$  se puede escribir usando la ecuación 22 como

$$J_r = 2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} C_{11} \sqrt{G_r(\theta', \phi')} \frac{e^{-jkr'}}{r'} \hat{\psi} \quad 24$$

donde

$$\hat{\psi} = \hat{r} \times (-\hat{a}_z \times \hat{r}) = -\hat{a}_z (\hat{r} \cdot \hat{r}) - \hat{r} \cos\left(\frac{\theta'}{2}\right) \quad 25$$

Puesto que  $\hat{\psi}$  en la ec 25 es la misma que en la 21, puede mostrar se a través de algunas manipulaciones matemáticas extensas que

$$\hat{z} = \frac{\hat{a}_z \sin \phi' \cos \phi' (1 - \cos \theta') - \hat{r} (\sin^2 \phi' \cos \theta' + \cos^2 \phi')}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta' \sin^2 \phi'}} \quad 26$$

Así el campo  $\vec{E}_r$  en el punto de reflexión  $r'$  se da en la ec.22 donde  $\hat{e}_r$  es dado por la ec26. En el plano que pasa a través -- del punto focal, el campo se da por

$$E_{ra} = \hat{z} C_{11} \sqrt{G_r(\theta', \phi')} \frac{e^{-jkr'(1+\cos \theta')}}{r'(1+\cos \theta')} = \hat{z} E_{za} + \hat{r} E_{ra} \quad 27$$

Utilizando los componentes del campo eléctrico reflejado ( $E_{za}$  y  $E_{ra}$ ) dados por la ec27, se forma un equivalente en - el plano de apertura, es decir,



$$\begin{aligned}
 \mathbf{J}_s &= \hat{n} \times \mathbf{H}_s = -\hat{a}_z \times \left( \hat{a}_x \frac{E_{sx}}{\eta} - \hat{a}_y \frac{E_{sy}}{\eta} \right) = -\hat{a}_x \frac{E_{sx}}{\eta} - \hat{a}_y \frac{E_{sy}}{\eta} \\
 \mathbf{M}_s &= -\hat{n} \times \mathbf{E}_s = -\hat{a}_z \times (\hat{a}_x E_{sx} + \hat{a}_y E_{sy}) = +\hat{a}_x E_{sx} - \hat{a}_y E_{sy}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

El campo radiado puede ser computado utilizando la ec. 28. La integración se restringe únicamente sobre el área proyectada de la sección transversal  $S_0$  del reflector en el plano de apertura mostrado en la Fig. 3.4 es decir.

$  \begin{aligned}  E_{\theta z} &= \frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (1 + \cos \theta) \iint_{S_0} (E_{sx} \cos \phi + E_{sy} \sin \phi) \\  &\quad \times e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} dx' dy'  \end{aligned}  $	29
$  \begin{aligned}  E_{\phi z} &= \frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (1 + \cos \theta) \iint_{S_0} (-E_{sx} \sin \phi + E_{sy} \cos \phi) \\  &\quad \times e^{jk(x' \sin \theta \cos \phi + y' \sin \theta \sin \phi)} dx' dy'  \end{aligned}  $	

El método de distribución de apertura, ha sido utilizado para computar usando técnicas eficaces de integración numérica, los patrones de radiación de reflectores paraboloidales y específicos. Los campos dados por la ec. 29 representan únicamente el patrón secundario debido a la dispersión del reflector. El patrón total del sistema es representado por la suma del patrón primario y el patrón secundario del elemento alimentador. Para la mayoría de los alimentadores (bocinas), el patrón primario en la dirección de la mira (delantera) del reflector es de intensidad muy baja, y por lo general, no se toma en cuenta.

Con el fin de demostrar la utilidad de las técnicas, fueron computados los patrones principales y los patrones secundarios de los planos E y H de un reflector de 35 GHz, con un  $f/d$  0.82  $f = 8.062$  in. (20.48 cms),  $d = 9.84$  in. (24.99 cms) y alimentados por una bocina cónica de doble graduación y se exhiben en la Fig. 3.6. Puesto que la bocina tiene patrones idénticos en el plano E y H y el reflector es alimentado simétricamente, los patron del plano E y H del reflector también son idénticos y no poseen componentes polarizados en forma transversal.

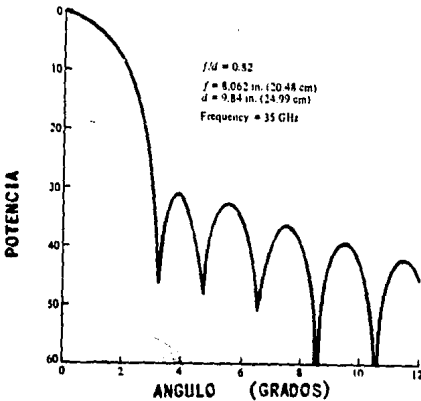


FIG. 3.6 CARACTERISTICAS DE UN ALIMENTADOR FRONTAL PARA REFLECTOR PARABOLICO

Con el objeto de exhibir en forma simultánea la intensidad del campo asociado con cada punto en el plano de apertura del reflector, se elaboró un plan generado por una computadora. En la Fig. 3.7 se ilustran las ubicaciones del punto de campo, la cual muestra contornos cuantificados de amplitud constante en el plano de apertura.

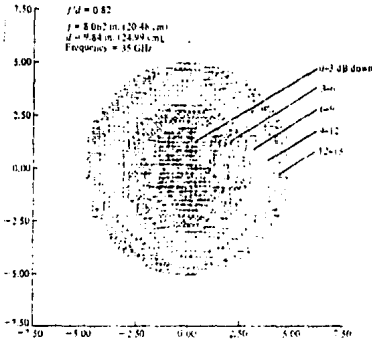


FIG. 3.7  
CONTORNOS CUANTI-  
FICADOS EN EL PLANO  
DE APERTURA

El sistema del reflector tiene un  $f/d$  0.82 con las mismas dimensiones físicas  $f = 8.062 \text{ in. (20.48 cm)}$ ,  $d = 9.84 (24.99 \text{ cm})$  y el mismo alimentador que el patrón principal de la Fig. 3.6. Un símbolo se usa para representar cada región de 3-dB. La intensidad del campo dentro de los límites del plano de apertura del reflector está dentro del campo de 0-15 dB.

### POLARIZACION TRANSVERSAL

El campo reflejado por el paraboloide como se presenta en ec.22 del método de distribución de apertura contiene componentes polarizados 'x' e 'y', donde el campo incidente está polarizado y. El componente 'y' se designa como la polarización principal y el componente 'x' como la polarización transversal; esto se ilustra en la Fig.3.8. También es evidente que los componentes simétricos de polarización transversal (con respecto a los planos principales) están  $180^\circ$  fuera de fase uno con otro. Sin embargo, para reflectores de haz muy angosto o para ángulos cerca del eje de la mira ( $\theta \approx 0$ ), el componente x de polarización transversal disminuye y se desvanece en el eje ( $\theta = 0$ ). Se puede usar un procedimiento similar para mostrar que para un campo polarizado x de incidente, la superficie reflejada desintegra la onda a un campo polarizado y, además de su componente polarizado x.

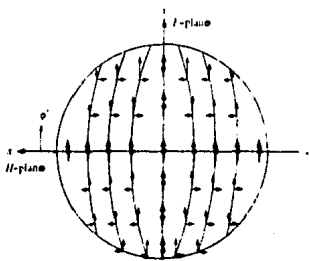


FIG. 3.8

POLARIZACION  
TRANSVERSAL

Se puede hacer una observación interesante acerca del fenómeno de polarización de un reflector parabólico, si asumimos que el elemento alimentador es un dipolo eléctrico infinitesimal ( $l \ll \lambda$ ), con su longitud  $l$  a lo largo del eje  $y$ . Para ese alimentador el campo reflejado por el reflector se da por ec. 22 donde

$$\begin{aligned}
 C_{11} \overline{G}_r(\theta', \phi') &= j\eta \frac{kl_0 l}{4\pi} \sin \psi = j\eta \frac{kl_0 l}{4\pi} \sqrt{1 - \cos^2 \psi} \\
 &= j\eta \frac{kl_0 l}{4\pi} \sqrt{1 - \sin^2 \theta' \sin^2 \phi'}
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

El ángulo  $\psi$  se mide desde el eje  $y$  y hacia el punto de observación.

Sustituyendo en la Ec. 22, podemos escribir

$$\begin{aligned}
 E_r &= \{d, \sin \theta' \cos \phi' (1 - \cos \theta') - d, (\sin^2 \phi' \cos \phi' + \cos^2 \phi')\} \\
 &\quad \times j\eta \frac{kl_0 l}{4\pi} \frac{e^{-jk'r'}}{r'}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

Ahora debemos suponer que un dipolo magnético infinitesimal con su longitud  $l$  a lo largo del eje  $x$ , (o un pequeño circuito con su área paralela al plano  $y-z$ ) y con un momento magnético de  $-\hat{a}_x M$  es colocado en el punto focal y utilizado como alimentador. Se puede mostrar que el campo reflejado por el reflector tiene componentes  $x'$  e  $y'$ . Sin embargo, el componente  $x'$  tiene una señal opuesta al componente  $y'$  del alimentador dipolo eléctrico. Al ajustar el cociente del momento del

dipolo eléctrico al magnético para que sea igual a  $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ , los dos componentes reflejados de polarización transversal (componentes x), pueden hacerse iguales en magnitud y para que su suma desaparezca (debido a señales opuestas). De esta manera, una combinación transversal de dipolo magnético y eléctrico localizada en el punto focal de un paraboloide, puede usarse para inducir corrientes en la superficie del reflector que son paralelas en todos los puntos. Esto se ilustra en forma gráfica en la Fig. 3.9.

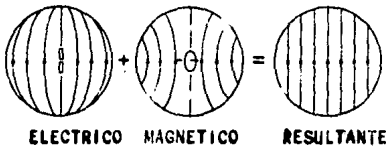


FIG. 3.9 DIPOLOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

La dirección del flujo de corriente inducida determinará la polarización del campo lejano de la antena. De esta manera, para la combinación del alimentador transversal de dipolo magnético y eléctrico, la radiación del campo lejano estará libre de polarización transversal. Esta clase de alimentador es "ideal" pues no requiere que la superficie del reflector sea sólida, sino que puede formarse por conductores paralelos a un espacio cerrado. Debido a sus características ideales, por lo --

regular, se le llama "la fuente de Hignens".

### METODO DE DISTRIBUCION DE CORRIENTE

El método de distribución de corriente fue introducido como una técnica que puede utilizarse para aproximar mejor, en comparación con el método de óptica geométrica (rastreo de rayo) el campo de dispersión de la superficie. Por lo regular, la -- dificultad principal al aplicar este método, es la aproximación\_ de la densidad de la corriente sobre la superficie de disper--- sión.

Si tomamos en cuenta que los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  radiados por las fuentes  $\vec{J}$  y  $\vec{M}$  puede escribirse como

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_r = -j \frac{1}{4\pi\omega\epsilon} \int_V [(\vec{J} \cdot \nabla) \nabla + k^2 \vec{J} + j\omega\epsilon \vec{M} \times \nabla] \frac{e^{-jkR}}{R} dV' \quad 32$$

$$\vec{E}_r = -j \frac{\omega\mu}{4\pi r} e^{-jk r} \int_V \left[ \vec{J} - (\vec{J} \cdot \hat{a}_r) \hat{a}_r + \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \vec{M} \times \hat{a}_r \right] e^{-jk r'} \hat{a}_r' dV'$$

$$\vec{H} = \vec{H}_A + \vec{H}_r = -j \frac{1}{4\pi\omega\mu} \int_V [(\vec{M} \cdot \nabla) \nabla + k^2 \vec{M} - j\omega\mu \vec{J} \times \nabla] \frac{e^{-jkR}}{R} dV' \quad 33$$

$$\vec{H}_r = -j \frac{\omega r}{4\pi r} e^{-jk r} \int_V \left[ \vec{M} - (\vec{M} \cdot \hat{a}_r) \hat{a}_r - \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \vec{J} \times \hat{a}_r \right] e^{-jk r'} \hat{a}_r' dV'$$

Si las distribuciones de corriente son inducidas por campos eléctricos y magnéticos incidentes en una superficie conductora perfecta eléctrica ( $\sigma = \infty$ ) mostrada en la Fig. 310a, -- los campos creados por estas corrientes se les llama campos dispersos. Si la superficie conductora está cerrada, los campos de la zona lejana se obtienen de la ec. 33 dejando  $\vec{M} = 0$  y redu-

duciendo el volumen integral a una superficie integral con la densidad de la corriente superficial  $J$  reemplazada por la densidad lineal de corriente  $J_s$ . De esta manera :

$$\begin{aligned} E_1 &= -j \frac{\omega \mu}{4\pi r} e^{-jkr} \iint_S [j_s \cdot \hat{a}_r] e^{+jkr \cdot \hat{a}_r} ds' \\ H_1 &= +j \frac{\omega \mu \epsilon}{4\pi r} e^{-jkr} \iint_S [j_s \times \hat{a}_r] e^{+jkr \cdot \hat{a}_r} ds' \end{aligned} \quad 34$$

Los campos eléctrico y magnético dispersos por la superficie cerrada del reflector de la fig. 3.3, y dada por la ecuación 34, son válidos siempre y cuando las funciones de fuente densidad (corriente y carga) llenen los requisitos de la ecuación de continuidad. Si el objeto de dispersión es una superficie plana, llena los requisitos. Para la geometría de la fig. 3.3, la distribución de corriente no es continua a través del límite (siendo cero sobre el área de sombra  $S_2$ ) que divide las áreas iluminada y de sombra, ( $S_1$  y  $S_2$ ). Se puede mostrar que la ecuación de continuidad puede llenar los requisitos si una distribución de fuente lineal apropiada de carga se introduce a lo largo del límite T. Por lo tanto, el campo total disperso sería la suma de las corrientes de superficie sobre el área iluminada, las cargas superficiales sobre el área iluminada y la distribución de la línea de carga sobre el límite T.



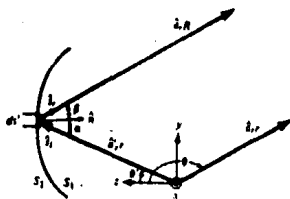


FIG. 3.10 GEOMETRIA DE LA REFLEXION

Las contribuciones de la densidad de carga superficial, se toman en cuenta por la distribución de corriente por medio de la ecuación de continuidad. Sin embargo, se puede mostrar que en la zona lejana, la contribución debido a la distribución de la carga de la línea cancela el componente longitudinal introducido por la corriente de la superficie y las distribuciones de carga. Puesto que la zona lejana de los componentes del campo son predominantemente transversales, la contribución debido a la distribución de carga de línea no necesita incluirse y pueden aplicarse a una superficie abierta.

En esta sección, la ec. 34 se usará para calcular el campo disperso de la superficie de un reflector parabólico. Generalmente, el campo radiado por las corrientes en la región de sombra del reflector es muy pequeño comparado al campo

total, y las corrientes y el campo pueden ajustarse a cero. El campo disperso por el lado iluminado (cóncavo) del reflector parabólico puede formularse, utilizando el método de distribución de corriente, por la ec. 34, cuando la integración se restringe sobre el área iluminada.

El campo total del sistema se puede obtener por una superposición de la radiación de la fuente primaria en direcciones mayores de  $\theta$  ( $\theta > \theta_c$ ) y se dispersa por la superficie, ya sea por el método de distribución de apertura o por el método de distribución de corriente.

Por lo general, los efectos del borde no se toman en cuenta; sin embargo, la inclusión de campos difractados de la pestaña del reflector no sólo introducen campos en la región de sombra del reflector, sino también modifican los que están presentes en las regiones de transición e iluminación. Cualquier discontinuidad introducida por métodos ópticos geométricos a lo largo de la zona de transición (entre regiones iluminada y de sombra), son eliminadas por los componentes difractados.

El campo eléctrico de la zona lejana de un reflector parabólico, sin tomar en cuenta la radiación directa, se da por la ec. 34, y cuando se extiende, se reduce de acuerdo a la geometría de la Fig. 3.10, a los dos componentes de

$$E_{\theta} = -j \frac{\omega \mu}{4\pi r} e^{-jk r} \iint_{S_1} \delta_{\theta} \cdot J_{\phi} e^{+jk r'} \cdot d\mathbf{s}'$$


---


$$E_{\phi} = -j \frac{\omega \mu}{4\pi r} e^{-jk r} \iint_{S_1} \delta_{\phi} \cdot J_{\theta} e^{+jk r'} \cdot d\mathbf{s}'$$

35

De acuerdo con la geometría de la Fig. 3.11

$$ds' = dW dN' = (r' \sin \theta' d\phi') \left[ r' \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) d\theta' \right]$$

$$= (r')^2 \sin \theta' \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) d\theta' d\phi'$$

36

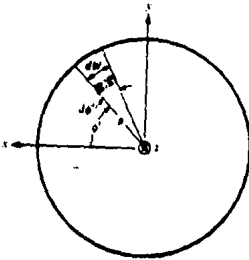


FIG. 3.11A SECCION TRANSVERSAL (VISTA FRENTE)

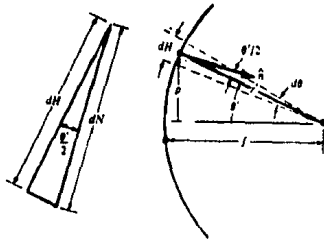


FIG. 3.11B VISTA LATERAL

Puesto que

$$\begin{aligned}
 dW &= r' \sin \theta' d\phi' \\
 dH &= -d_s' \cdot dN = -d_s' \cdot \hat{A} dN \\
 &= -d_s' \left[ -d_s' \cos \left( \frac{\theta'}{2} \right) - d_s' \sin \left( \frac{\theta'}{2} \right) \right] dN = \cos \left( \frac{\theta'}{2} \right) dN \quad 37 \\
 dN &= \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) dH = \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) r' d\theta' = r' \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) d\theta'
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se puede mostrar que la ec.35 se puede expresar por medio de

$$\begin{aligned}
 \left[ \begin{matrix} E_{\theta} \\ E_{\phi} \end{matrix} \right] &= -j \frac{\omega \mu}{2\pi r} \sqrt{\frac{r'}{\mu}} C_1 e^{-jk r'} \left[ \begin{matrix} d_s \cdot \hat{l} \\ d_{\phi} \cdot \hat{l} \end{matrix} \right] \\
 &= -j \frac{\omega \mu e^{-jk r'}}{2\pi r} \left[ \sqrt{\frac{r'}{\mu}} \frac{P_r}{2\pi} \right]^{1/2} \left[ \begin{matrix} d_s \cdot \hat{l} \\ d_{\phi} \cdot \hat{l} \end{matrix} \right] \quad 38
 \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned}
 \hat{l} &= \hat{l}_1 + \hat{l}_2 \\
 \hat{l}_1 &= - \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} \hat{e}_r \cos \left( \frac{\theta'}{2} \right) \frac{\sqrt{G_r(\theta', \phi')}}{r'} e^{-jk r'} [1 - \sin \theta' \sin \theta \cos(\phi' - \phi) - \cos \theta' \cos \theta] \\
 &\quad \cdot (r')^2 \sin \theta' \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) d\theta' d\phi' \\
 \hat{l}_2 &= -d_s \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_0} (\hat{A} \cdot \hat{e}_r) \frac{\sqrt{G_r(\theta', \phi')}}{r'} e^{-jk r'} [1 - \sin \theta' \sin \theta \cos(\phi' - \phi) - \cos \theta' \cos \theta] \\
 &\quad \times (r')^2 \sin \theta' \sec \left( \frac{\theta'}{2} \right) d\theta' d\phi' \quad 39
 \end{aligned}$$

Comparando la ec. 22 con la ec. 39, los componentes del campo radiado formulado por el método de distribución de apertura y el método de distribución de corriente, se llega a resultados similares siempre y cuando la contribución  $I_z$  de 39 no se tome en cuenta. Conforme el cociente del diámetro y la longitud de onda ( $d/\lambda$ ) aumenta, el método de distribución de corriente se reduce con respecto al método de distribución de apertura y el patrón angular se vuelve más estrecho.

Para las variaciones cercanas, la región  $\theta = \pi$ , la contribución  $I_z$  se hace insignificante debido a

$$\begin{aligned} d_1 \cdot [-d_2(\hat{n} \cdot \hat{e}_1)] &= [d_1 \sin \theta \cos \phi + d_2 \cos \theta \sin \phi - d_2 \sin \theta] \cdot [-d_2(\hat{n} \cdot \hat{e}_1)] \\ &= (\hat{n} \cdot \hat{e}_1) \sin \theta \\ d_2 \cdot [-d_1(\hat{n} \cdot \hat{e}_2)] &= [-d_1 \sin \phi + d_2 \cos \phi] \cdot [-d_1(\hat{n} \cdot \hat{e}_2)] = 0 \end{aligned}$$

Para simplificar este análisis, la alimentación de la antena  $G_f(\theta, \theta')$  la haremos circular y simétrica, o sea que

$$G_f(\theta') = 0 \Rightarrow \theta' > 90^\circ$$

La potencia/ángulo sólido (ángulo sólido es el ángulo de una circunferencia), está dado por

$$U(\theta = \pi) = \frac{1}{2} r^2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} |E(r, \theta = \pi)|^2 \quad 41$$

Si el campo eléctrico  $\vec{E}$  está dado por

$$E(r, \theta = \pi) = -j \frac{2\omega\mu f}{r} \left[ \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \frac{P_t}{2\pi} \right]^{1/2} e^{-jk_0 r} \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right) d\theta' \quad 42$$

y la potencia/ángulo sólido es

sustituyendo 41 en 42

$$U(\theta = \pi) = \frac{16\pi^2}{\lambda^2} f^2 \frac{P_t}{4\pi} \left| \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_f(\theta')} \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right) d\theta' \right|^2 \quad 43$$

sustituyendo la ecuación 9 en la 13

$$D_e = \frac{4\pi U(\theta = \pi)}{P_r} = \frac{U(\theta = \pi)}{P_r/4\pi} = \frac{16\pi^2}{\lambda^2} \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_r(\theta')} \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right) d\theta' \Big|^2 \quad 44$$

$$D_e = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \left\{ \cot^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \left| \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_r(\theta')} \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right) d\theta' \right|^2 \right\}$$

↑ directividad

La directividad de la antena es la dirección en la cual se emitirán las ondas electromagnéticas con mayor fuerza, entonces el segundo factor de la ecuación es la eficiencia de la - - parábola, la cual está en función de  $\theta_0$  y está dado por

$$\epsilon_{sp} = \cot^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \left| \int_0^{\theta_0} \sqrt{G_r(\theta')} \tan\left(\frac{\theta'}{2}\right) d\theta' \right|^2$$

Para facilitar el estudio de la eficiencia se han considerado las siguientes definiciones, con las cuales se ilustró la eficiencia en función de la alimentación

$$G_r(\theta') = \begin{cases} G_0^{(e)} \cos^2(\theta') & 0 \leq \theta' \leq \pi/2 \\ 0 & \pi/2 < \theta' \leq \pi \end{cases} \quad 45$$

Donde  $G_0$  es una constante para un valor dado de  $\theta_0$  - además, consideré que  $G_r(\theta') = 0$  para  $\frac{\pi}{2} < \theta' \leq \pi$ , pues así evitó interferencias en la parte posterior de la parábola.

La constante  $G_0$  se determina de la siguiente manera:

$$\iint_S G_r(\theta') d\Omega = \iint_S G_r(\theta') \sin\theta' d\theta' d\phi' = 4\pi \quad 46$$

sustituyendo la ecuación 45 en la 46

$$G_0^{1/2} \int_0^{\theta_0} \cos^2\theta' \sin\theta' d\theta' = 2$$

$$E_{a.p.} = 24 \left( \sin^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) + \ln\left[\cos\left(\frac{\theta_0}{2}\right)\right] \right)^2 \cot^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \quad 47$$

Ahora haremos el cálculo detallado de una antena que podrá funcionar desde 940 KHz hasta 4000 MHz.

Para el cálculo de esta antena usaremos las fórmulas mencionadas en la primera parte de este capítulo, después se compararán varias antenas cambiando el diámetro de la parábola, el foco y, por supuesto, el factor  $F/d$ .

Para iniciar el cálculo de la antena, supondremos un factor  $F/d$  de 0.45 (se hará el cálculo para 0.50, 0.55, 0.60, puesto que son los factores recomendables para obtener un correcto ángulo de apertura de la antena) más adelante, se hará



una comparación entre todas las tablas y se escogerá la parábola con mejores características, ya sea en funcionamiento, tamaño o economía.

Estos factores son los recomendados por el libro "Radar Handbook" y el libro "ARRL Antenna Book", pues son los valores más fáciles de obtener en la tierra, esto no significa que todas las parábolas deben tener un factor  $F/d$  entre 0.45 y 0.60. Si se requiere una antena muy especial para recibir frecuencias específicas del espacio exterior, se podría usar un factor  $F/d < 0.45$  para obtener mayor ganancia. Por supuesto, el diámetro de la parábola podrá ser mayor que los que se calcularon en este capítulo para que tenga mayor alcance.

Otro punto de comparación, será el diámetro que tomaremos inicialmente de 2 M (se harán cálculos para diámetros de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, y 4 mts.).

Entonces con los datos siguientes calcularemos una antena:

$$D = 2 \text{ M}$$

$$F/d = \lambda = 0.45$$

$$N = 2$$

✓ las ecuaciones calculadas en la primera parte de este capítulo.

De la ecuación No. 9 obtenemos:

$$F = \frac{d}{4} \cot \frac{\theta}{2}$$

Entonces:

$$\frac{F}{d} = 0.45$$

$$F = 0.90$$

$$0.90 = 0.5 \cot \frac{\theta}{2} \quad \theta = 58^\circ$$

El cálculo de la ganancia de apertura se obtiene de la siguiente ecuación (ecuación 16):

$$AP = 24 \left( \sin^2 \frac{\theta_s}{2} + LN \cos \frac{\theta_s}{2} \right)^2 \cot \frac{\theta_s}{2} = 0.44$$

De la Figura 3.14 se obtiene el porcentaje de ganancia ( $N = 2$ ).

$$\% = 89\%$$

También es necesario calcular el área efectiva de la antena, para lo cual es necesario tener el área total de la parábola y multiplicarla por el factor de ganancia.

La fórmula para obtener el área de la parábola es la siguiente:

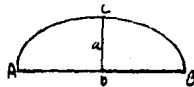


Figura 3.12

$$\text{Arce} = 2/3 ab$$

$$b = D = 2$$

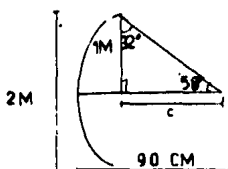


Figura 3.13

Para calcularla lo haremos de la siguiente manera --  
con la ley de los senos:

$$\frac{a}{\text{Sen } A} = \frac{b}{\text{Sen } b} = \frac{c}{\text{Sen } C}$$

$$b = 2$$

$$\frac{1}{\text{Sen } 58} = \frac{c}{\text{Sen } 32}$$

$$c = 0.62$$

$$a = 0.90 - 0.62 = 0.28 \text{ M}$$

Una manera de probar que estos cálculos están bien, -  
es utilizando la ecuación de la parábola:

$$y^2 = 4 Fx$$

$$x = \frac{y^2}{4F}$$

$$x = \frac{1}{(0.9)(4)}$$

$$x = 0.28 \text{ M}$$

Por lo tanto, el área de la parábola es:

$$A = (2/3) (2) (0.28) = 0.37 \text{ M}^2$$

El área efectiva se obtiene de la fórmula siguiente:

$$A_e = A \Lambda; \Lambda = \text{ganancia obtenida de la gráfica}$$

$$A_e = 0.37 (0.89) = \underline{0.33 \text{ M}^2}$$

Para obtener la ganancia de la antena se aplica la fórmula siguiente

$$G_o = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2} \quad 48$$

Como se puede observar, la ganancia es directamente proporcional a la longitud de onda ( $\lambda$ ) y el área efectiva  $A_e$ .

Como nosotros calcularemos una antena para una frecuencia ya conocida (4000 MHz) la longitud de onda no podrá variar, pues si varía, la parábola no serviría para ver la televisión. Razón por la cual, para obtener una mayor ganancia, se modificará el área efectiva de la antena.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda = \frac{300}{4000} \quad 0.075 \text{ M} = 7.5 \text{ cm.}$$

$$A_e = 0.33 \text{ M}^2$$

$$\lambda = 7.5 \text{ cm.}$$

$$G_o = \frac{4 \pi (0.33)}{(0.075)^2} = \underline{737.23}$$

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

A continuación se calcularán varias antenas con distintos factores (los cuales se verán en las tablas).

Para generar las tablas usaremos las fórmulas siguientes:

$$\text{Area parab} = \frac{2}{3} ab$$

$$\frac{a}{\text{Sen A}} = \frac{b}{\text{Sen B}}$$

$$Ae = AR$$

$$G_0 = \frac{4 \pi^2 e}{\lambda^2}$$

$$F = \frac{d}{4} \text{Cot } \frac{\theta_s}{2}$$

$$EA_p = 24 \left( \text{Sen}^2 \frac{\theta_s}{2} + \text{LNCos } \frac{\theta_s}{2} \right)^2 \text{Cot } \frac{\theta_s}{2}$$

y la gráfica de ganancia

F/d	d	$\theta^\circ$	F(M)	Aper.	Gan. %	Gan. Ant.	Area M <sup>2</sup> Parábola	Area Espec.
0.45	1.5	57	0.68	0.42	89	357.44	0.19	0.10
0.45	2	58	0.90	0.44	89	37.23	0.37	0.33
0.45	2.5	58.2	1.13	0.45	89.1	1161.69	0.55	0.50
0.45	3	58	1.35	0.44	89	1639.84	0.52	0.73
0.45	3.5	58.2	1.58	0.45	89.1	2256.30	1.14	1.01
0.45	4	58	1.80	0.44	89	2920.57	1.47	1.31

GRAFICA 1

A continuación se comparará la ganancia de la antena -  
variando a constante F/d.

F/d	d	$\theta^\circ$	F(M)	Apert.	Gan. %	Gan. Ant.	Area M <sup>2</sup> Parábola	Area Espec.
0.5	1.5	53	0.75	0.37	75	312.76	0.18	0.14
0.5	2	53	1	0.37	75	558.51	0.33	0.25
0.5	2.5	53	1.25	0.37	75	848.93	0.51	0.38
0.5	3	53	1.50	0.37	75	1251.05	0.74	0.56
0.5	3.5	53	1.75	0.37	75	1697.86	1.01	0.76
0.5	4	53	2	0.37	75	2189.34	1.31	0.98

GRAFICA 2

F/d	d	$\theta^\circ$	F(M)	Apert.	Gan. %	Gan. Ant.	Area M <sup>2</sup> Parábola	Area Espec.
0.55	1.5	48.60	0.83	0.31	70	268.08	0.17	0.12
0.55	2	48.60	1.10	0.31	71	469.14	0.30	0.21
0.55	2.5	48.60	1.38	0.31	71	737.23	0.47	0.33
0.55	3	48.60	1.65	0.31	71	1027.65	0.66	0.46
0.55	3.5	48.60	1.93	0.31	70	1429.77	0.92	0.64
0.55	4	48.60	2.20	0.31	70	1854.54	1.18	0.83

GRAFICA 3

F/d	d	$\theta^\circ$	F(M)	Apert.	Gan. %	Gan. Ant.	Area M <sup>2</sup> Parábola	Area Espec.
0.60	1.5	45.20	0.90	0.26	65	223.40	0.16	0.10
0.60	2	45.20	1.20	0.26	65	402.12	0.28	0.18
0.60	2.5	45.20	1.50	0.26	65	625.53	0.43	0.28
0.60	3	45.20	1.80	0.26	65	893.61	0.62	0.40
0.60	3.5	45.20	2.10	0.26	65	1228.71	0.85	0.55
0.60	4	45.20	2.40	0.26	65	1608.50	1.10	0.72

GRAFICA 4

Como se observa en la tabla,  $F/d$  es constante, lo -- que cambia es el diámetro de la parábola y en algunos casos -- cambia el ángulo de apertura, pero en todos los casos varía el foco.

Según se observa, entre mayor es el diámetro de la -- parábola, mayor es la ganancia de la antena, por lo que se -- muestra hay dos formas de obtener una mayor ganancia.

- 1) Haciendo que la parábola sea mayor.
- 2) Haciendo que la longitud de onda sea menor.

Como queremos usar la antena a 4000 MHz, ya está esta -- blecida la longitud de onda pues son directamente proporcio-- nales, esto significa que si cambiamos la longitud de onda -- cambiaría la frecuencia de uso.

Así que, en este caso lo que conviene hacer es cambiar el diámetro de la parábola para obtener una mayor ganancia -- (tomando en cuenta que entre mayor es la parábola mayor es el -- costo de ésta).

Según se observa, en la Gráfica 1 hay una mayor ganancia con respecto a las otras, esto quiere decir que entre menor sea el factor  $F/d$ , la ganancia es mayor y el foco es más cercano a la parábola, con esto queda establecido que la parábola necesaria por tamaño, costo y facilidad es la de la gráfica 1.

De estas parábolas se escogió la de un diámetro de 4 metros por ser un tamaño medio entre las parábolas y porque como los satélites no están dirigidos hacia México, entre más ganancia se tenga en la antena será más fácil captar la señal emitida por el satélite.

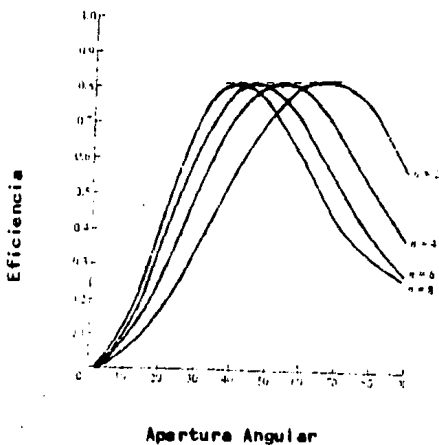


Figura 3.16  
Ganancia de las antena parabólicas



## CAPITULO 4

### CONSTRUCCION

#### GENERALIDADES

En este trabajo se pretende hablar sólo de los reflectores parabólicos, pero como los receptores son una parte importante para el uso de las antenas, hablaremos brevemente sobre -- los tipos y marcas de receptores que pueden usarse para ver televisión.

El receptor es el aparato que recibe las ondas electro magnéticas de la antena, las pasa al baja-frecuencias, el cual - baja la frecuencia y así llegan al aparato de televisión como lo muestra la Figura 4.1.

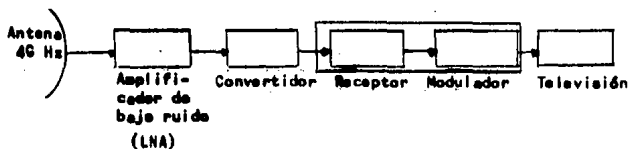


FIGURA 4.1

Diagrama de bloques de la instalación de una antena

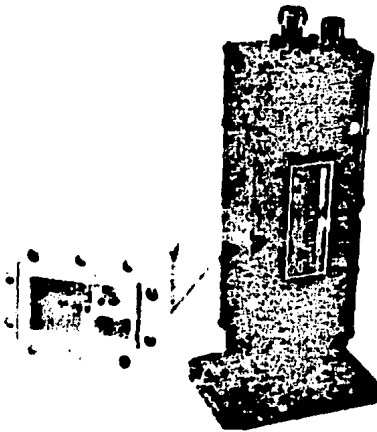
Hay varios fabricantes de receptores de los cuales la mayoría sólo se dedica a fabricar este tipo (de receptores para la televisión), y son empresas relativamente nuevas, ya que las antenas parabólicas caseras también son de reciente aparición.

A continuación se mostrarán varias antenas parabólicas comerciales con los accesorios necesarios para el buen funcionamiento de éstas, así como un esquema general de la antena.

Estas antenas se pueden adquirir en el mercado, el fabricante las arma y las instala en el lugar que nosotros deseamos con la ventaja que si nos cambiamos de casa, nos llevamos la antena sin ningún problema.

**MICROWAVE ASSOCIATES COMMUNICATION**

Esta compañía ofrece todo tipo de componentes para las antenas parabólicas con la ventaja que nos permite comprarlos por separado, uno de sus principales receptores se muestra en la --  
Figura. 4.2



**FIGURA 4.2 Bajador de frecuencias**

Este aparato funciona en un rango de temperaturas de - -  
-50° a 60°C, lo cual nos indica que se puede usar desde el Polo Norte hasta el Polo Sur, además es a prueba de agua y/o nieve.

Tiene una pequeña resistencia en la caja (conectada a 12 V.C.D.) la cual hace que se caliente el armazón para derretir la nieve (en caso necesario).

En la Figura se muestran las dimensiones de dicho receptor.

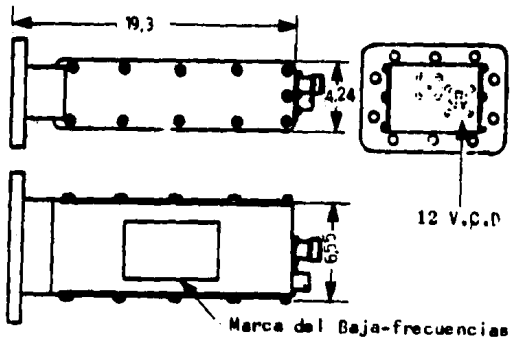


FIGURA 4.3 Dimensiones CMS.

#### BAJA-FRECUENCIAS

Este es un aparato que recibe la señal de microondas y baja la frecuencia para que el receptor pueda convertirla en señal de audio y video.

En la Figura se muestra un baja-frecuencias, el cual se instala en el foco de la parábola y por medio de un cable coaxial baja la señal al receptor.

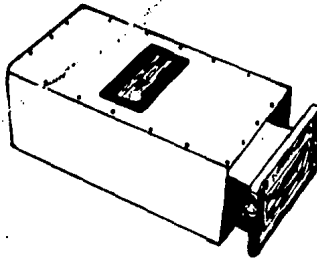


FIGURA 4.4 Bajador de Frecuencias

Este aparato convierte la señal del rango de 3.6 a 4.2 Ghz (transmitido por el satélite) a un rango de 1440 - 940 Mhz suficientemente baja para que el receptor pueda convertirla en señal de audio y video. Una vez que la señal entra en el receptor dentro del aparato se selecciona el canal deseado a ver en la televisión.

El receptor es el aparato más sofisticado (electrónicamente hablando) de toda la instalación y aparatos necesarios para la antena, pero comparado con la electrónica usada en una televisión de color es un aparato sencillo y fácil de armar, con la desventaja que el receptor resistirá la mitad -- que la televisión en cuanto a fallas de tensión.

Los receptores deberán estar sobre el aparato de -- televisión.

La siguiente figura muestra las partes esenciales en la construcción de la antena, dichas partes ya fueron explicadas en el contenido de este trabajo con excepción de los sostenes de la antena y en caso de que no sea una antena fija, el motor que la hace girar (esto dependerá del tamaño y peso de la antena).

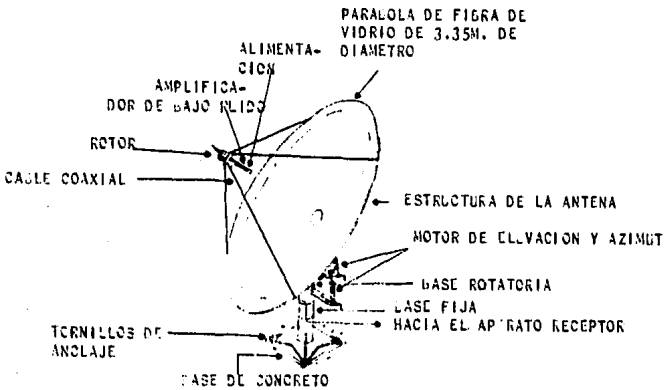


FIGURA 4.5 Receptor parabólico

En las siguientes figuras se ve una antena de fibra de vidrio, la cual no tiene un motor girador, sino que sus patas se mueven hacia adelante o hacia atrás como lo muestra la Fig. 8.

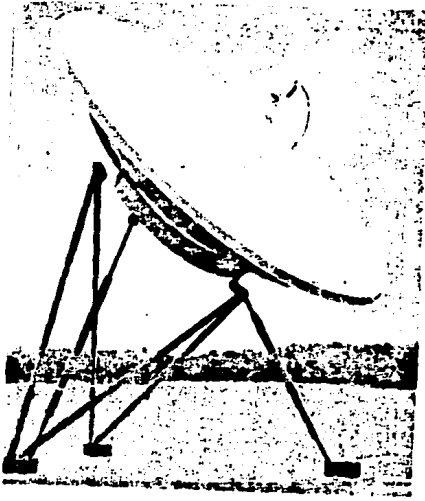


FIGURA 4.6A Antena de fibra de vidrio

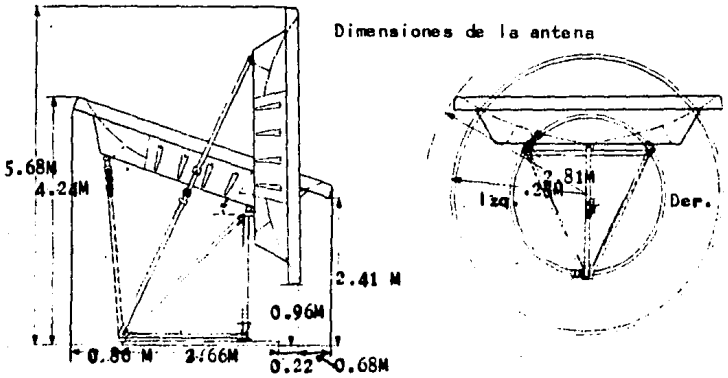


FIGURA 4.6B

## ANTENA DE TRES METROS COMTECH

Como se muestra en la Figura la antena de estación terrestre de satélite de 3 metros Comtech está diseñada para proporcionar un buen funcionamiento económico para la recepción de satélites actuales y proyectados. La antena de estación terrestre de satélite de 3 metros Comtech ofrece una garantía de alto funcionamiento y excelente operación de costo efectivo. Esta operación, aunada con la versatilidad, facilidad de transportación, rápida instalación y mantenimiento mínimo la convierte en un diseño popular.

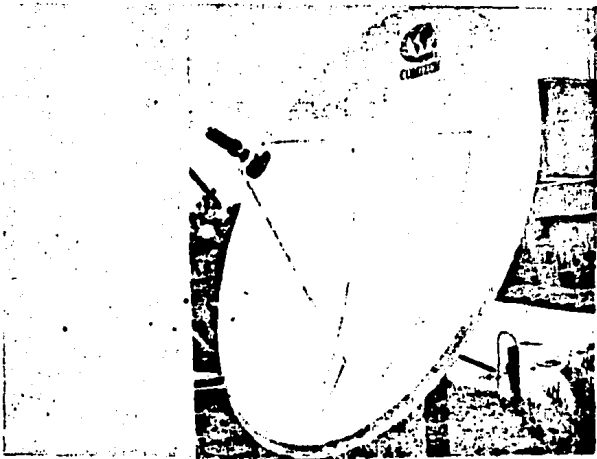


FIGURA 4.7 Antena de 3M. COMTECH



## ANTENAS DE ESTACIONES TERRESTRES DE WINEGARD

Winegard es una compañía que durante mucho tiempo se asoció con la construcción de antenas de televisión. La mayoría de éstas ha sido diseño vhf y, ya sea para recepción estándar. Esta compañía ha entrado ahora al campo de estación terrestre (únicamente receptora de televisión) y ofrece dos paquetes de antenas. También ofrece el sistema completo de estación terrestre, incluyendo LNAs, receptores, bocinas alimentadoras, etc.

Las antenas Winegard de 3 metros utilizan un reflector de fibra de vidrio de ocho segmentos moldeados a compresión y cuentan con alimentación de foco de primera e instalación polar (hora-ángulo). El LNA está apoyado en el punto focal de la antena en versiones de cuatro gigahertz. Esta antena es fácil de transportar debido a sus dimensiones compactas de embarque, y puede ser colocada fácilmente en su cimiento en aproximadamente tres horas.

El plato parabólico de 3 M de Winegard contiene segmentos de reflector que son reemplazable e intercambiables en el lugar donde se encuentran. Esto debe saberse en caso de que se dañe un panel debido al viento o a otras condiciones. Aquí todo lo que se necesitaría es reemplazar el segmento dañado, lo que resulta más barato que reponer todo el plato.

El alimentador implementado en las antenas de estación terrestre de Winegard es del tipo de foco de primera con el amplificador de bajo ruido localizado en el punto focal. El ensamblaje de la bocina alimentadora está diseñado para montarse en el aro hueco moldeado en la pieza del reflector. La estabilidad de la instalación se realiza por medio de compresión fijando la brida del aro del reflector entre el plato alimentador y las pinzas de retención.

En su literatura, Winegard señala que la elección del tamaño de la antena dependerá de la ubicación exacta en los 48 estados contiguos. Mientras que un plato de 3 M es ideal para Kansas City, por ejemplo, un plato de 3.5 M se recomienda para una ubicación en el Sur de Texas. El plato de 3.5 M ofrecido por Winegard utiliza un reflector de 10 segmentos - moldeado por compresión está provisto con la misma instalación polar. En cualquier localización dentro de los 48 estados contiguos, esta instalación permite realineación a cualquier satélite ubicado entre 70° y 140° longitud oeste sin tener que realizar cambios en los cimientos.

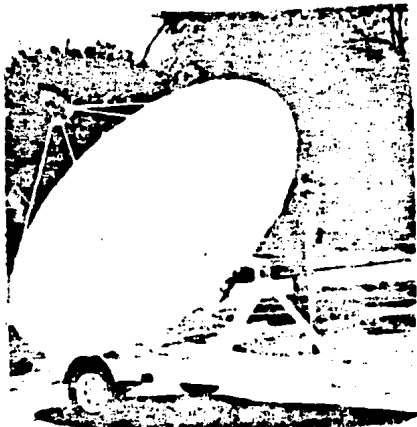
El plato parabólico de 3.5 M puede instalarse en sus cimientos en menos de 4 horas y se envía en un paquete tan pequeño que puede transportarse al lugar de instalación por medio de un camión.

## MODELO SV-11 SATVISION

Se muestra en la Figura, el SatVisión SV-11 tiene un diámetro de 3.5 M y se ensambla en el lugar. Un alimentador rotable es parte del equino de este plato y permite la recepción de las señales emitidas por satélites polarizadas tanto verticales como horizontales. La antena se ensambla en una superficie plana e involucra la instalación de diversas secciones del reflector, abrazaderas de la bocina alimentadora, y --aprtar todos los pernos. SatVisión también ofrece una línea completa de componentes de estaciones terrestres así como paquetes completos de estaciones terrestres. Esto incluye antenas, receptores, LNA, y hasta aparatos de televisión de color con grandes pantallas. Esta compañía produce un excelente folleto de introducción que describe los campos receptores de --televisión básicos.

FIGURA 4.8

Antena parabólica  
remolcable



## DISEÑO

Si bien es posible construir la antena parabólica de un receptor doméstico de televisión sin grandes problemas, la construcción del amplificador y el mezclador (Baja-frecuencias) es resulta en extremo difícil por carecerse normalmente de todo lo necesario, tanto a nivel de componentes como de equipo de laboratorio (osciloscopios y generadores de muy alta frecuencia, etc.).

En nuestro caso, el reflector parabólico que estamos construyendo podría utilizarse en diferentes aplicaciones relacionadas con la recepción vía satélite, ya sea de datos metereológicos, de conversaciones con radio-aficionados o de señales de televisión. Puesto que se pretende probar el funcionamiento de la antena con señales de televisión, proponemos usar un iluminador comercial junto con un amplificador y un mezclador convertidor también comerciales de los que acostumbra usarse en televisión comercial. La razón es que son los más baratos o fáciles de obtener.

La otra alternativa para construir una antena parabólica casera, podría ser la que a continuación sugerimos, cuya ventaja principal radica en la posibilidad de construirla sin ningún tipo de maquinaria especial. Es obvio que su resistencia mecánica puede ser discutible y también que no se presta en absoluto a su fabricación en serie a precios razonables, pues de lo

que se trate en este caso es más bien de construir un reflector sencillo con herramientas domésticas.

Partiendo de los detalles ya conocidos (calculada en el Capítulo 3 ), construiremos la parábola de la siguiente manera:

Construiremos unas costillas de aluminio con perfil de sección cuadrada de  $9 \text{ cm}^2$ , usando, de preferencia, aluminio anodizado que resista a la intemperie, se necesitarán 9 tramos en la dirección "x" y 9 en la dirección "y", ver Figura 4.9. De esta manera, las costillas en la dirección "x" descansarán sobre las costillas de la dirección "y" y calcularemos en trazo grueso su longitud ya que la Figura es simétrica.

Simetría del soporte de la antena

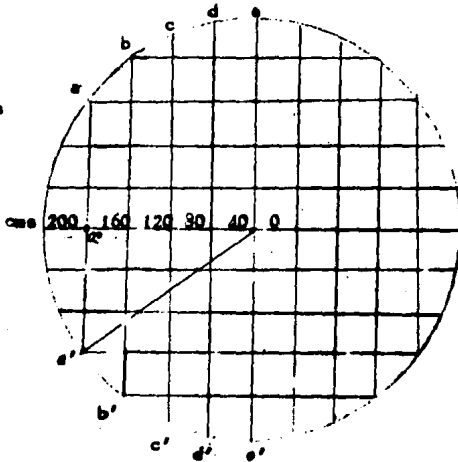


FIGURA 4.9

Para calcular las costillas, usaremos como ejemplo la costilla AA' aplicando sencillos calculos geométricos

$$(0a')^2 = (a'a')^2 + (a'.0)^2$$

$$(a'a')^2 = 4 - 2.56$$

$$a'a' = 1.2$$

$$\therefore aa' = 2.4 \text{ mts.}$$

Este cálculo se realizó tomando que cada cuadrado mide 40 cms. por lado. Este valor se escogió arbitrariamente buscando desde luego, un compromiso razonable entre el número de ellos y la rigidez y precisión que la estructura parabólica obtendrá, del mismo modo se calculará la siguiente tabla:

aa'	bb'	cc'	dd'	ee'	(mts)
2.4	3.2	3.66	3.92	4	

Como es una figura geométrica, obtenemos de la tabla - todas las costillas de la siguiente manera:

2 costillas ee'

4 costillas dd'

4 costillas cc'

4 costillas bb'

4 costillas aa'

Sumando un total de 18 costillas que como ya se mencionó serán 9 en dirección "x" y 9 en dirección "y".

Una vez que se tienen las costillas, las costillas en dirección "x" se colocarán sobre las costillas de dirección -- "y" como lo muestra la siguiente Figura.

Unión de las costillas

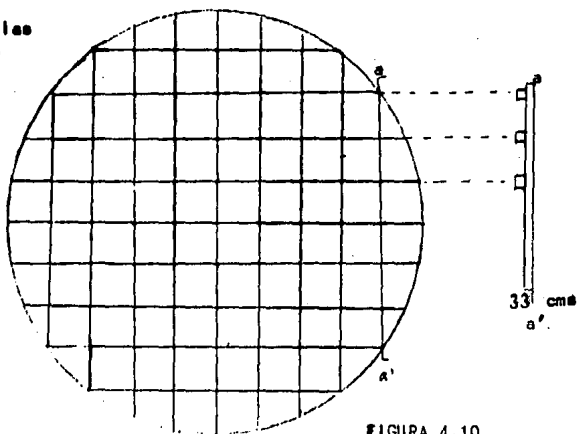


FIGURA 4.10

Una vez que están sobrepuestas las costillas, es recomendable marcarlas y fijarlas con un alambre para perforar las dos costillas a la vez. El taladro deberá ser con una broca - de 1 cm. Una vez hecho el hoyo, se insertará un tubo roscado, preferentemente de aluminio. El tubo no precisa tener rosca - en toda su longitud, pero es más sencillo conseguirlo con rosca - en toda su longitud que sólo en los extremos. Estos tubos -

tienen la finalidad de dar la cota "z" sobre el plano "xy", para que la malla descansa sobre los extremos de dichos tubos con la forma parabólica.

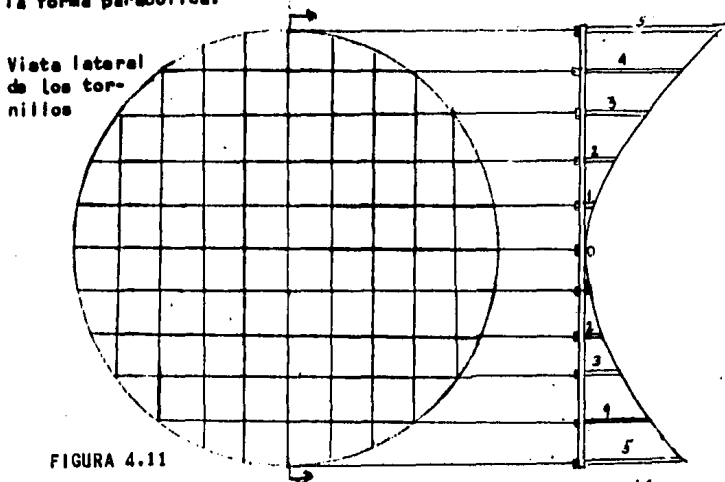


FIGURA 4.11

La longitud de los tubos se calcula con la ecuación de la parábola  $z^2 = 4FY$ , el foco (tomado del Capítulo 3) es de 1.80 M. y "y" sería el radio que hay desde el tornillo al centro de la parábola, lo que quiere decir que los tubos se irán haciendo más largos circularmente y no por los cuadros de las costillas.

En la siguiente tabla, y haciendo referencia al dibujo se calculará el tamaño de los tubos.



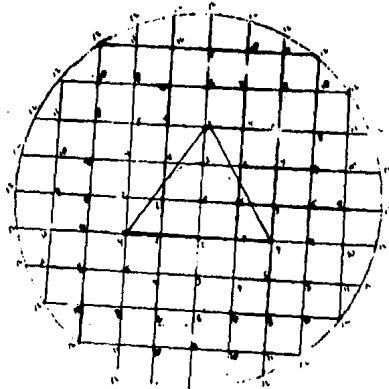


FIGURA 4.12  
Colocación y tamaño de los tubos

Tubo N°	Cantidad tubos	Longitud (cm)	Fórmula	Distancia al centro (cm)
1	4	2.22	$Z = 4FX$	40
2	4	4.45	$F = 180 \text{ cm}$	56.6
3	4	8.89	$X = \frac{Z^2}{180(4)}$	80
4	8	11.10		89.4
5	4	17.77		113.1
6	4	20		120
7	8	22.23		126.5
8	8	28.88		144.2
9	4	35.56		160
10	12	40		169.7
11	8	44.44		178.88
12	28	55.56		200

Los tubos quedarán fijos a las costillas por medio de dos tuercas como lo muestra la Figura.

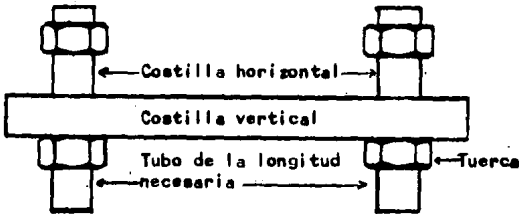


Figura 4.13

Tubos fijos por medio de tuercas en ambas partes de la costilla

Estas tuercas deberán quedar lo más apretado posible para evitar variaciones en la parábola.

Como se puede apreciar en la Figura, a todas las medidas de los tubos habrá que sumarles 7 cm., 3 cm. de cada costilla y uno más para la tuerca que sostendrá el tubo por atrás de las costillas.

La superficie reflectora de esta antena consiste en el elemento de aluminio de una cuadrícula a la que comúnmente se llama tela tejida o mosquitero. Cuando se coloca, se convierte en excelente reflector esférico para las señales de microonda en el rango de 3.7 a 4.2 GHz.

Para fijar la malla en la punta de los tubos, se hará de la siguiente manera:

Se coloca en el tubo una tuerca con una rondana, se perfora la malla en el punto de unión y se fija con otra rondana y otra tuerca, esto parecerá que nuestra antena perderá la forma parabólica, pero como se dijo en capítulos anteriores como sólo vamos a recibir señales, nuestra antena puede tener variaciones (a su forma parabólica) por un total de media longitud de onda.

Una vez instalada la malla, se procede a instalar el -- foco de la siguiente manera:

El foco puede ser instalado con una barra perpendicular al centro de dos metros de largo de preferencia de aluminio de 5 cms. de diámetro.

Esta barra se soldará en el centro del disco de 20 cms. de diámetro.

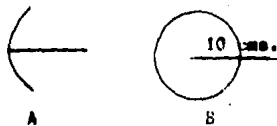
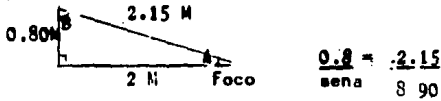


FIGURA 4.14 Instalación del foco

La otra forma es con tres barras colocadas triangularmente en los puntos 3, 4, 4 y cuyos cálculos aparecen en seguida:

Punto 3



A)

$$\begin{aligned} A &= 21.8 \\ B &= 68.2 \end{aligned}$$

Punto 4



B)

$$\begin{aligned} A &= 23.9 \\ B &= 66.1 \end{aligned}$$

Instalación del foco de la parábola

FIGURA 4.15

Estas barras se pondrán en la costilla interior lo más pegado posible a los puntos correspondientes después de colocar la malla de mosquitero y perforando ésta en el lugar necesario para pasar las varillas.

El cable del alimentador que estará en el foco bajará por una de las varillas que lo sostienen.

**TABLA DE PARTES DE LA PARABOLA**

Se usarán 18 costilla de aluminio de 9 cm<sup>2</sup>

- 2 costillas de 2.4 M.
- 4 costillas de 3.2 M.
- 4 costillas de 3.66 M.
- 4 costillas de 3.92 M.
- 4 costillas de 4 M.
- 384 rondanas de 1.2 cm. de diámetro
- 288 tuercas de 1 cm. de diámetro
- 4 tornillos de 9.22 cm.
- 4 tornillos de 11.45 cm.
- 4 tornillos de 15.89 cm.
- 8 tornillos de 18.10 cm.
- 4 tornillos de 24.77 cm.
- 4 tornillos de 27 cm.
- 8 tornillos de 29.27 cm.
- 8 tornillos de 35.88 cm.
- 4 tornillos de 42.56 cm.
- 12 tornillos de 47 cm.
- 8 tornillos de 51.44 cm.
- 28 tornillos de 62.56 cm.

Se necesitarán 3 costillas de las cuales dos serán de 2.19 M de largo y la otra de 2.15 M, y una malla de mosquito para la superficie reflejante, 10 M<sup>2</sup>.

A continuación tendremos las ganancias obtenidas por la antena parabólica para distintos usos, para dichos cálculos usaremos las fórmulas de frecuencia  $\lambda = \frac{c}{f}$  y ganancia  $G = \frac{4\pi Ae}{\lambda^2}$

Uso	Frecuencia	Longitud Onda	Ganancia
Meteorológico	137.3 MHz	2.18M	3.45
Telefónico (comunic.)	4.6 GHz	0.07 M	3870.4
Telemetría	22.4 MHz	0.14 M	896.59
Telex y datos	14 GHz	0.02 M	35950.5

Como se puede apreciar entre mayor frecuencia menor es la longitud de onda, mayor es la ganancia.

## CONSTRUCCION DEL ALIMENTADOR

La aportación de esta tesis será la construcción del alimentador que va colocado en el foco de la parábola.

Este aparato recibe la señal del satélite y la manda por medio de un cable coaxial al LNA

La construcción y diseño del alimentador es relativamente sencilla con respecto al diseño y construcción del receptor parabólico, además que todos los elementos necesarios para su construcción se consiguen en el país.

A continuación se diseñará y construirá un alimentador para la recepción de señales meteorológicas de los satélites.

## CAPITULO 5

### GUIAS DE ONDA

Cuando una antena se encuentra en el punto focal de un reflector parabólico, se puede obtener una ganancia considerable; además el ancho de banda de la energía radiada será angosto, siempre y cuando toda la energía del elemento impulsado sea dirigida hacia el punto focal del reflector.

La ganancia es una función del diámetro del reflector parabólico, la precisión de superficie y la iluminación apropiada del reflector por medio de la alimentación.

A 420 MHz y mayores, la antena parabólica se convierte en una antena de ganancia práctica. La ganancia depende de buena precisión superficial, siendo más difícil de alcanzar con frecuencias que van en aumento. Los errores superficiales no deben exceder  $1/8$  de ancho de banda en trabajos de aficionados. A 430 MHz, el ancho de banda de  $1/8$  es de 8.5 cms., pero a 10 GHz se convierte en 0.369 cms. Se puede utilizar malla para la superficie del reflector para reducir el peso y las cargas de giro, pero el tamaño de los orificios debe ser menor de  $1/12$  de ancho de banda. A 430 MHz, el empleo de malla de gallinero de 5 cms. (diámetro del hoyo) es aceptable. Pantallas de aluminio de malla fina funcionan bien a 4 GHz.



Cuando la energía en el borde del reflector es menor que la que se encuentra en el centro, la iluminación es óptima. Con una proporción de alimentación de guía de onda circular -- del diámetro y longitud correctos para la frecuencia y el ancho de la banda de longitud focal del foco/diámetro se obtendrá una iluminación óptima a 902 MHz y mayor. Una proporción de  $f/D$  entre 0.4 y 0.5 es considerada ideal para una ganancia máxima y alimentaciones sencillas.

La longitud focal de un plato puede encontrarse

por:

$$f = \frac{D^2}{16d}$$

$f$  = Longitud Focal       $D$  = diámetro de la parábola

$d$  = Profundidad del foco al vértice

Las unidades de " $f$ " son las mismas que las que se -- usan para medir la profundidad del diámetro.

Una alimentación de guía de onda circular con un diámetro aproximadamente 0.7 de longitud de onda proporcionará una iluminación casi óptima, no obstante, el reflector no iluminará uniformemente en los planos tanto magnéticos (TM) como -- eléctricos (TE). La apertura de alimentación de la guía de onda puede modificarse para cambiar el ancho de banda. Un enfoque utilizado con éxito por algunos experimentadores es el --

empleo de un disco a una distancia atrás de la apertura, como se muestra en la Figura 5.0



Figura 5.0

Alimentador Circular (localizado en el foco)

Conforme cambia la distancia entre la apertura y el disco, el plano del patrón TM se va extendiendo y haciéndose en gasta en forma alterna más que en una apertura no modificada. Es aparente, que un disco de aproximadamente dos longitudes de onda de diámetro es tan efectivo como uno bastante más grande. Algunos experimentadores han notado un aumento en la ganancia del plato con esta alimentación modificada. También se pueden utilizar alimentaciones de onda de guía rectangulares, pero la iluminación del plato no es tan uniforme como con alimentaciones redondas de guías.

La onda electromagnética se desplaza dentro de una guía de onda en función de las dimensiones físicas de la misma, por medio de rebotes entre sus paredes conductoras, como lo muestra la Figura No. 5A.

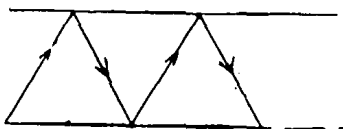


Figura 5A Frecuencia de la onda mayor a la  $f_c$ .

Quando la frecuencia disminuye de tal modo que los rebotes quedan en el mismo lugar, la onda electromagnética no se desplaza, como lo muestra la Figura 5B.



Figura 5B Frecuencia de la onda menor a la  $f_c$ .

Esta frecuencia es conocida como la frecuencia de corte  $f_c$ , a partir de esta frecuencia de onda electromagnética se desplaza dentro de la guía. Por lo que podemos decir que una guía de onda funciona como filtro pasa altos.

La frecuencia de corte se obtiene por medio de las ecuaciones de Maxwell y las condiciones de frontera, particulares para cada caso.

### TAMAÑO DE LA BOCINA

La bocina alimentadora es básicamente una pieza cilíndrica de gufa de onda dentro de la cual la "rf" reflejada del -- plato es propagada. Cualquier sección de gufa de onda tiene -- una longitud de onda de cierre -- aquella longitud de onda máxi -- me que puede propagarse dentro de la gufa de onda. Si el diá -- metro de la bocina es demasiado pequeño para una frecuencia -- dada de operación, la sección de la gufa de onda no propagará -- la onda y la bocina alimentadora no funcionará. El tamaño más -- pequeño está relacionado con la longitud de onda de la frecuen -- cia de funcionamiento. La longitud de onda (en cms) puede cal -- cularse usando la fórmula:

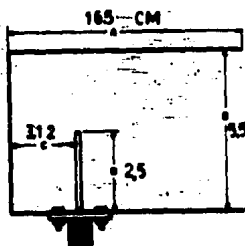
$$L = 30,000/F \quad \text{--} \quad L \text{ es la longitud de onda (cms)}$$

F es la frecuencia

$$F = 4,000 \text{ MHz}$$

$$L = 7.5 \text{ cms.}$$

Fig 5.1  
Dimensiones  
del alimentador



Conociendo la frecuencia de operación, el diámetro mínimo de la bocina que propagará la onda puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} B \text{ min.} &= L/1.71 \\ B \text{ min.} &= 4.39 \text{ cms.} \end{aligned} \quad 7.5/1.71$$

En forma similar, el diámetro máximo de la bocina, sobre el que se empieza a obtener modos adicionales de propagación puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} B \text{ mx.} &= L/1.31 \\ B \text{ mx.} &= 5.73 \end{aligned}$$

De esta manera, en teoría, nuestra bocina debe estar entre un mínimo de 4.39 cms. y un máximo de 5.73 cms. Cuando la frecuencia de cierre se aproxima, se empiezan a tener dificultades de manejo de las dimensiones, así que se recomienda un diámetro que fluctúe entre 4.5 y 5.5 cms.

Con el fin de determinar la longitud de la bocina alimentadora, debemos volver a la materia de longitud de onda. Hasta este punto, en longitud de onda ( $L$ ) calculada en realidad, hemos estado tratando con la "longitud de onda de espacio libre". Cuando una onda "r.f." entra en una sección de guía de onda, la longitud de onda "aumenta" en comparación con su valor de espacio libre. Una cantidad de dimensiones críticas de bocina se basan

en la "longitud de onda de guía (G)". la longitud de onda de la señal "rf" cuando se propaga dentro de la bocina. Para obtener una sección de longitud de onda circular, el valor de G -- depende del diámetro de la bocina.

$$G = \frac{L}{\sqrt{1 - \left(\frac{L}{1.068}\right)^2}} = 12.48 \text{ cms.}$$

Puesto que es tedioso computar G por varios diámetros de la bocina, se proporciona la Fig. 5.2 que muestra un esbozo de G por diversos valores de B dentro del rango de 11 a 13.5 - cms. La longitud de la bocina alimentadora (A) debe fluctuar entre un mínimo de 0.5G a un máximo de 1.5G. La bocina puede\_ construirse de material de tubería estándar, y se puede elaborar uno a la medida, pero existe un artículo estándar, la lata de café común de 2 libras (908 kg.), la cual se convierte en - una bocina alimentadora excelente. Estas latas tienen aproximadamente 16.50 cms. de diámetro, lo que está dentro del rango permitido. Con este diámetro, G es 12.48 cms. Puesto que la - lata es de alrededor de 16.5 cms de largo, lo cual es el mínimo de

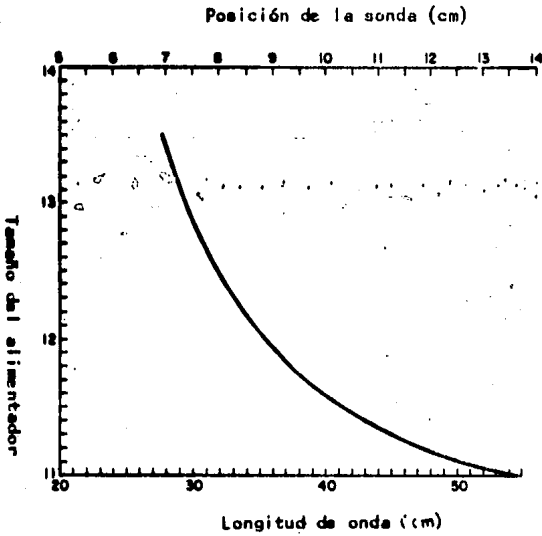


Figura 5.2 Guía de onda en función del diámetro del alimentador



0.5 G y, por lo tanto, se puede usar.

### SONDA RECEPTORA

Los dos factores pendientes que deben computarse son la longitud de la sonda (D) y la distancia entre la sonda y el extremo cerrado de la bocina (C). Aunque existen ecuaciones para computar la longitud de la sonda, con correcciones para su diámetro, ésta es la menos crítica de cualquiera de las dimensiones de la bocina, con base en muchas pruebas que se han llevado a cabo con sondas ajustables. Para obtener diámetros de sonda que fluctúan entre 1/8 de pulgada (3 mm.) a 3/16 de pulgada (8mm.), podría ser correcta una longitud de sonda de 0.21 (2.5 cms). La distancia de la sonda del extremo cerrado de la bocina debe ser de 0.25 G. Para la bocina hecha de una lata de café, este valor (c) es 3.12 cms. Se puede determinar C para otros valores para el diámetro de la bocina, Fig. 5.2

### EL ARMADO DE LA BOCINA

La siguiente descripción está basada en el uso de una lata de café adaptada para bocina alimentadora. Su funcionamiento es idéntico si se usan materiales más elucantus. Al elegir los materiales para armar la bocina, se prefieren metales que pueden soldarse.

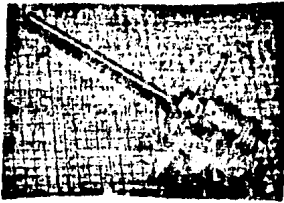


Figura 5.3 Sonda receptora con conector de tipo "N"

La sonda se arma con tuberfa de bronce de 4 mm (5/32 pulgadas) que se consigue en tiendas especializadas. Se corta una pieza de 1,5 cms. (0.6 pulgadas) y se desliza el tubo sobre el conductor central de un tipo estándar N de conector.

hembra de cable coaxial (RG214) y se suelda en su lugar. El conector terminado/ensamble de sonda se muestra en la Fig. 5.3.

En una lata de aluminio, se miden 8.2 cms. (3.2 pulgadas) del extremo cerrado de la lata y se utiliza un taladro en el gabinete de 1.6 cms. (5/8 de pulgada) para hacer un hoyo en el lado de la lata. Si se utilizan otros materiales, la posición del orificio debe determinarse de acuerdo con la Fig. 5.2. Se elimina toda la pintura del exterior de la lata alrededor del agujero de montaje usando un cepillo de alambre montado en un taladro eléctrico. Entonces, el conector debe soldarse en su lugar usando una antorcha de propano. Esta es una operación sencilla si se usa un conector plateado y si la superficie sin pintura ha sido estañada antes de montar el conector. Algunos fabricantes están utilizando en la actualidad plateados que no se oxidan en conectores que no aceptan soldadura. Se prefieren los conectores plateados, pero si no se encuentra el material para revestir se debe eliminar por medio de una lima, de la brida de montaje del conector para exhibir el bronce. Un trabajo apropiado de soldadura se logra cuando la soldadura fluye suavemente alrededor de la brida de montaje del conector.

Nuevamente, use el cepillo de alambre para limpiar la pintura del exterior de la lata alrededor del extremo abierto. -

Se sueldan cuatro ménsulas de bronce de ángulo derecho (a la venta en la mayoría de las ferreterías) en puntos igualmente espaciados alrededor del exterior abierto de la bocina.

Se debe aislar la sonda para que no tenga contacto con el alimentador y se debe pintar el interior y el exterior de la bocina con pintura buena a prueba de oxidación.

## ESTUDIO ECONOMICO DEL ALIMENTADOR

### COSTO DIRECTO

El diseño del alimentador consta de una lata de aluminio, la cual cuesta \$200.00 (DOSCIENTOS PESOS 00/100), pintura en aerosol con valor de \$400.00 (CUATROCIENTOS PESOS 00/100), el bote, y una sonda con valor de \$800.00 (OCHOCIENTOS PESOS 00/100) más la mano de obra (esta cotización se hizo en agosto de 1985).

La suma de estos materiales es de \$1400.00 (UN MIL CUATROCIENTOS PESOS 00/100), pero realmente resulta más barato, ya que el bote de pintura alcanza para 4 ó 5 latas, con lo que el costo relativo del alimentador baja considerablemente.

### COSTO INDIRECTO

En el costo indirecto del alimentador están considerados los aparatos como el taladro, remachadora y energía eléctrica que se usaron en el armado del mismo, si se considera hacer estos alimentadores en serie, se tendrá que tomar en cuenta la necesidad de un local, así como la vida útil del taladro y la remachadora.

Si suponemos que el taladro tiene una vida útil de 4 años y la remachadora de uno 8 ó 9 meses (por el uso que se le dará), y sabemos que en la construcción del alimentador es necesaria una hora de trabajo más el tiempo de secado de la pintura,

esto quiere decir que en un día se hacen ocho alimentadores, si se trabajan cinco días a la semana, se hacen en una semana 40 - alimentadores, y si se trabajan 48 semanas al año, son 1920 alimentadores construidos por año, con lo que si el costo del taladro es de \$15,000.00 (QUINCE MIL PESOS 00/100) y nos sirve para fabrica 7,680 alimentadores, el costo relativo del taladro por cada alimentador es de dos pesos, en el caso de la remachadora, ésta cuesta \$4,000.00 (CUATRO MIL PESOS 00/100) por lo que en 8 meses haremos 1,280 alimentadores, por lo que el costo relativo de la remachadora por alimentador es de cinco pesos.

Los alimentadores en el mercado cuestan \$100.00 USD. en México, y tienen la ventaja de estar hechos para recibir la onda polarizada tanto horizontal como vertical (para recibir los canales pares o nones). Con nuestro alimentador, nosotros tendríamos que moverlo para recibir ya sean canales pares o nones.

## CONCLUSIONES

Las antenas parabólicas tienen un gran auge puesto que a medida que se van conociendo sus ventajas, se utilizan más. En México, tenemos la desventaja que hay que importar los aparatos esenciales para el funcionamiento de la antena, como con el receptor, el Baja-frecuencias y otros materiales, lo que hace considerablemente más cara la instalación de la antena en México.

Ahora bien, una antena parabólica tiene grandes ventajas, de las cuales se enumeran algunas:

- a) Se puede usar en cualquier aparato de televisión.
- b) Tiene una alta ganancia como elemento reflector.
- c) Se puede conectar la misma antena a varios aparatos receptores.
- d) Se puede quitar del lugar y cambiar el lugar de operación.

También debe quedar claro que no es necesario cambiar de satélite cada vez que cambiamos de canal, pues cada -

satélite transmite hasta 12 ó 24 canales según la polarización de la señal emitida por el satélite, con esto se puede pensar en que habrá interferencia, pero no es así porque el receptor funciona como filtro pasabanda que sólo permite la entrada de una estación a la vez, y el alimentador permite una sola polarización (canales pares o nones).

El mantenimiento de la antena es mínimo puesto que el aluminio resiste la corrosión, y únicamente se necesitará revisar el motor girador (si es que tiene) o los sostenes de la antena.

Debe quedar claro que el instalar la antena, así como desarmarla, lleva un promedio de 8 horas si lo hacen 4 personas que tienen experiencia en el armado y desarmado de la antena.

Con estos puntos nos podemos dar una idea de las ventajas de la antena, aunque el costo dependerá de lo sofisticado de la instalación, y aunque en México no existan los aparatos necesarios para la instalación y funcionamiento de la antena, se pueden importar.

Construir una antena parabólica en casa ya es una realidad pues en Estados Unidos de Norteamérica, personas aficionadas en comunicaciones ya han construido su propia antena,



estas personas constantemente descubren mejores tipos y diseños de antena para cada una de sus necesidades.

Lo que falta en México es el apoyo a la investigación para este tipo (y otros) de tecnología, lo cual mejoraría notablemente los centros de investigación del país, puesto que las personas con interés en la investigación (ya sean aficionados o profesionales) tendrían donde, y lo más importante, los materiales e instrumentos necesarios para probar y hacer sus investigaciones, evitando así, la importación de tecnología que tiene México.

#### USO EN OTRAS APLICACIONES

Si queremos usar nuestra antena en otras aplicaciones que salgan del rango de 3.6 a 4 GHz, es posible usar la misma antena, conociendo el rango de cobertura de ese satélite, -- pero habrá que cambiar los aparatos receptores a un rango mayor o menor, según las nuevas necesidades, tomando en cuenta que la televisión no servirá para este propósito, pues la señal que se recibirá no será para la televisión, como ejemplo los satélites meteorológicos o de comunicaciones.

B I B L I O G R A F I A

Cerez Greiser Victor, Murray-Lasso M. A., Teoría de Sistemas y Circuitos, Representaciones y Servicios de Ingeniería, - - S. A., México, 1972

Gray Paul E. y Searle Campbell L., Electronic Principles, -- Physics, Models, and Circuits, Wiley International Edition, 1967

Hildreth Skilling Hugh, Circuitos en Ingeniería Eléctrica, - C.E.C.S.A., 1980

Kennedy George, Electronic Communication Systems, Interna-- tional Studen Edition, McGraw-Hill, Inc., 1977

Skolnik Merrill I, Radar Handbook, McGraw-Hill Book Company, 1970

Taggart Ralph E., The New Weather Satellite Handbook, 1981

The ARRL Antenna Book, The American Radio Relay League, Inc. 1982

The U.S. Navy (Bureau of Naval Personnel), Basic Electronics, Dover Publications, Inc., N.Y., 1973

Torres Basurto Moisés, Fundamentos de Teoría Electromagnética, Editorial Diana, 1979

Traister Robert J., Build a Personal Earth Station for World wide Satellite TV Reception, Tab Books, Inc., 1982

Vergara Charles, Handbook of Electrical Noise: Measurement and Technology, Edición 1979

White Harvey E., Física Descriptiva, Editorial Reverte Mexi-- cans, S. A., 1968