

287
Ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



“ CARACTERISTICAS Y PARAMETROS FUNDAMENTALES PARA EL CALCULO DE UNA ANTENA DE MICROONDAS TIPO PARABOLICA ”

TRABAJO DE SEMINARIO

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A**

RENE CAMARENA GONZALEZ

ASESOR: ING. ALFONSO CONTRERAS MARQUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1 9 9 7

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
UNIVERSIDAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario: Comunicaciones.

Características y Parámetros Fundamentales para el Cálculo de una Antena de Microondas Tipo Parabólica.

que presenta el pasante: René Camarena González.
con número de cuenta: 8406353-3 para obtener el Título de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán localí, Edo. de México, a 12 de Febrero de 1997

MODULO:

PROFESOR:

FIRMA:

IV Ing. Alfonso Contreras Márquez
I y II Ing. Juan González Vega
III Ing. Francisco Tellitud López

DEP/VOBOSEN

A MIS PADRES:

ING. JUAN J. CAMARENA HERNÁNDEZ.

PROFRA. M^º DE LOS ÁNGELES GONZÁLEZ LUCERO.

**POR EL ORGULLO Y LA RESPONSABILIDAD DE SER UNIVERSITARIO:
A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU".**

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES DE CUAUTILÁN.

**CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES
PARA EL CÁLCULO DE UNA ANTENA DE MICROONDAS
TIPO PARABÓLICA**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
I. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	4
II. CONCEPTOS DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	7
2.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas.....	12
2.2 Formas de propagación de las ondas electromagnéticas.....	14
2.2.1 Clasificación de las ondas de propagación.....	14
2.2.2 Características de propagación correspondientes a cada clasificación de onda.....	16
III. REFLECTOR PARABÓLICO.....	17
3.1 Principales propiedades de un reflector parabólico.....	17
3.1.2 Área real de la antena.....	22
3.1.3 Área efectiva.....	24
3.1.4 Ganancia.....	27
3.2 Patrón de radiación.....	30
IV. DIPOLO Y MONOPOLO.....	32
4.1 Altura o longitud efectivas.....	34
4.2 Coeficiente de onda o constante de fase.....	34
4.3 Impedancia característica.....	34
4.4 Longitud eléctrica.....	35
4.5 Resistencia de radiación.....	35
4.6 Factor de atenuación.....	37
4.7 Impedancia de entrada.....	38
4.8 Ganancia directiva.....	39

4.9 Factor de calidad (Q).....	40
4.10 Ancho de banda.....	40
4.11 Ejemplo ilustrativo.....	41
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. GLOSARIO.....	48
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	49

INTRODUCCIÓN.

Como en todos los campos de la ciencia, los sistemas de comunicación también han tenido un gran desarrollo tecnológico debido entre otras razones al creciente aumento en la capacidad de los mismos. En este aspecto el uso de las microondas se ha ampliado, y la razón principal ha sido la saturación del espectro electromagnético, esto ha obligado a implementar sistemas cada vez de mayor frecuencia.

Las antenas como parte fundamental de un sistema de comunicación también han sufrido cambios y mejoras que han alterado sus formas, dimensiones y modos de alimentación entre otros, con el fin de hacerlas mas eficientes dependiendo principalmente de la frecuencia y potencia de trabajo.

Estudiar la teoría que rige el diseño de las antenas implica tener conocimientos avanzados de matemáticas y física, por ello, no se profundizará en el desarrollo de las ecuaciones que más adelante se aplicarán para obtener algún parámetro ya sea geométrico o electrónico; el objetivo será exponer de forma práctica dichos parámetros haciendo solamente uso de la teoría básica necesaria.

Existen diversos tipos de antenas que manejan la banda de microondas: Parabólica, exponencial o tipo trompeta, helicoidal, antenas de estructuras planas, arreglos y algunas otras que se utilizan todavía de manera experimental, se ha elegido para su estudio la antena parabólica por ser la que mayor aplicación tiene, aquí se observará el porque de ello y en consecuencia sus cualidades y deficiencias.

I. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

La teoría electromagnética de Maxwell es la piedra angular de la física moderna y une los objetos comunes a la electricidad, magnetismo y luz. Sin matemáticas avanzadas no es posible mirar muy profundamente esta teoría, pero es importante hacer énfasis en los principios básicos.

Una corriente que circula por un alambre produce un campo magnético, esta relación entre electricidad y magnetismo incitó a Faraday, Henry y otros a mirar el efecto inverso; esto es, la generación de una corriente a partir de un campo magnético. Sus investigaciones conllevaron al descubrimiento de nuestras fuentes de electricidad domésticas. Faraday comprobó que una corriente era producida por una variación en el campo electromagnético, este fenómeno se conoce como *inducción electromagnética*. Una corriente se induce en una bobina de alambre, si varía el campo magnético en que está sumergida la bobina. El movimiento de una carga conforma una corriente eléctrica, y para hacer mover esta carga se requiere de un campo eléctrico. En esta forma, una fórmula alternativa del efecto de inducción es que un campo magnético variable produce un campo eléctrico. El proceso de la inducción electromagnética se ilustra en la figura 1.1.

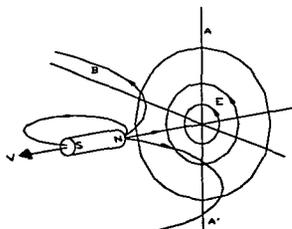
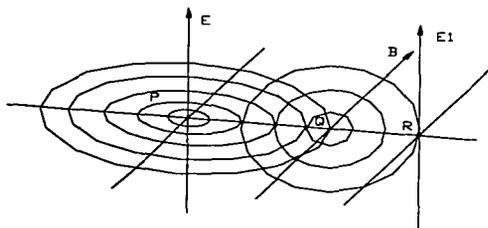


Figura. 1.1

Es fácil deducir, a partir de un experimento semejante al mostrado en la figura 1.1, que el campo eléctrico está situado en una dirección perpendicular a la dirección de la variación del campo magnético. A partir de ello podemos concluir :

- 1) Un campo magnético variable produce un campo eléctrico que es perpendicular a la dirección en la cual el campo magnético está variando.
- 2) Un campo eléctrico variable produce un campo magnético que es perpendicular a la dirección en la cual el campo eléctrico está variando.

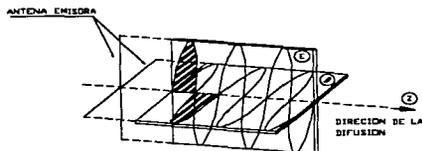
Estos dos enunciados son necesarios para comprender lo esencial de las ondas electromagnéticas. Consideremos un punto P, supongámoslo en el espacio, en el cual el campo eléctrico, E, esté variando con el tiempo figura 1.2 . Todos los puntos alrededor de este punto P estarán sumergidos en el campo magnético producido.



a) Las direcciones de los campos magnético y eléctrico generados.

Figura 1.2

El campo magnético a una pequeña distancia de P se estableció un momento *más tarde*; esta conclusión es el fundamento de la idea de "campo". Si consideramos un punto Q colocado a una distancia del punto P, entonces habrá un campo magnético en este punto perpendicular al campo original E, que estará cambiando con el tiempo. Pero esto significa que todos los puntos alrededor del punto Q estarán sumergidos en un campo eléctrico, generado por el campo magnético variable del punto Q. Considérese un punto tal como R. El campo eléctrico en este punto es perpendicular a la variación del campo magnético en Q y por tanto tiene la misma dirección que el campo eléctrico original. Claramente este proceso puede continuar de punto en punto: el resultado neto es una perturbación electromagnética que viaja a través del espacio. Si el campo eléctrico en un punto está variando en forma periódica, entonces el campo eléctrico en un punto distante también variará periódicamente, pero un momento más tarde. Esto es lo significativo para la propagación de una onda. En la figura 1.3 se muestra una representación más detallada de una onda electromagnética.



- b) Las ondas electromagnéticas radiadas por una antena emisora, están determinadas por los dos campos : uno eléctrico (E) y otro magnético (B), situados en dos planos perpendiculares entre sí, y perpendiculares a su vez a la dirección de propagación de la expansión electromagnética. Esta última se caracteriza además por una polarización que se define con relación al plano que forma el campo eléctrico (E). Dependiendo de la posición vertical u horizontal de los ramales resplandecientes nos encontraremos con una onda polarizada vertical u horizontal, respectivamente.

Figura 1.3

II. CONCEPTOS DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

Como vimos anteriormente cuando por un conductor circula una corriente continua se crea un campo eléctrico a lo largo del mismo y otro magnético, perpendicular a él.

Estos dos campos son estacionarios y el sentido de sus líneas de fuerza depende del sentido de circulación de la corriente en el conductor, así como su intensidad depende de la de dicha corriente. Si variamos la intensidad de corriente, también variará la magnitud de los campos. Asimismo, si la corriente es alterna, el sentido de las líneas de fuerza cambiará al ritmo de la frecuencia de la corriente.

Si en vez de por un conductor, hacemos pasar la corriente a través de una bobina, el campo magnético creado en ella es tan predominante frente al eléctrico, que este último se desprecia. Si la corriente pasa a través de un condensador, el campo eléctrico creado entre sus armaduras predomina sobre el magnético, que se desprecia.

Estos campos están confinados en el interior de las bobinas y entre las placas del condensador de manera que no producen acción alguna en el exterior de los citados elementos.

Los circuitos constituidos de esta forma, reciben el nombre de *circuitos cerrados*.

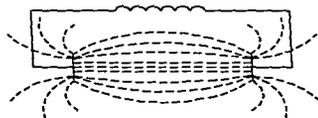


Fig.2.1

Si en un circuito cerrado alejamos las placas o armaduras de un condensador, tal como se representan en la figura 2.1, de modo que su capacidad vaya disminuyendo a causa del aumento de separación entre las citadas placas, no solamente se produce esta disminución de capacidad sino que también el campo eléctrico se esparce por el espacio, siendo esta dispersión tanto más intensa cuanto mayor es la separación entre las placas.

La dispersión del campo eléctrico es máxima cuando las placas del condensador llegan a colocarse en la forma representada en la figura 2.2. Ciertamente que la capacidad en este caso es muy pequeña, pero para frecuencias suficientemente elevadas pueden producirse en esta clase de circuitos abiertos, corrientes y tensiones bastante elevadas cuando existe resonancia.



Fig. 2.2

Lo mismo podemos decir del campo magnético creado por un conductor recto: la autoinducción de este conductor será en todos los casos muy pequeña, pero ejerce una influencia apreciable cuando se trata de oscilaciones de frecuencia suficientemente elevada.

El circuito oscilante abierto más sencillo que se conoce es el llamado dipolo, representado en la figura 2.2. En el conductor a-b se propaga una corriente alterna mediante la aplicación de una fuente cualquiera de corriente de esta clase, con lo que las placas A y B se cargan alternativamente con cargas positivas o negativas.

Con esto se consigue la dispersión al exterior del campo magnético creado por el conductor a-b y la del campo eléctrico producido entre las placas del condensador A-B.

Como varían la polaridad y dirección de las corrientes, se produce en el espacio un campo magnético y otro eléctrico variables que componen conjuntamente un campo electromagnético que se propaga de la siguiente forma.

La representación más sencilla del campo magnético se verifica mediante la líneas de fuerza o líneas de inducción magnética, en forma de círculos en cuyo centro se encuentra el conductor que crea el campo tal como se muestra en la figura 2.3

En el punto A (figura 2.3), que se encuentra situado a una distancia r del conductor recorrido por la corriente, la intensidad del campo magnético por ella creado es B. Entre los valores instantáneos alcanzados en ese punto y los correspondientes a los mismos instantes en la cercanías inmediatas del conductor existe una diferencia de fase temporal

$$\phi = r/v$$

donde :

ϕ = defasamiento

r = distancia

v = velocidad de propagación

que es el tiempo que tarda el campo en recorrer la distancia r a la velocidad v . Si consideramos que el valor de la corriente y , por lo tanto, el del campo en la inmediación del conductor son máximos en un momento dado, en el punto A tardarán en alcanzar dicho valor máximo un tiempo calculable por la formula anterior.

Si la distancia r es suficiente para que este desfase pueda ser igual a un cuarto de período, es decir:

$$\varphi = T/4,$$

el campo alcanzará su valor máximo en A en el mismo instante en que la intensidad de la corriente en el conductor alcance su valor cero.

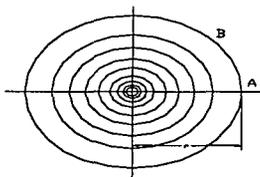


Fig. 2.3

Si la diferencia de fase es un cuarto de período, podremos establecer la relación

$$\varphi = T/4 = r/v, \text{ de donde } r = (T/4)v$$

A una distancia doble, o sea, $r = T/2 v$, la diferencia de fase será de medio período, es decir de 180° . Para la distancia $r = T v$, la diferencia de fase será de 360° , es decir, a esa distancia, el campo y la corriente vuelven a encontrarse en fase. A partir de ese punto, se produce la distribución del campo de manera idéntica. Si representamos por líneas de diferente grueso el valor de intensidad de campo en cada punto para un momento dado y mediante flechas la dirección del mismo, obtendremos un diagrama como el de la figura 2.4. La distribución del campo puede representarse asimismo de una manera gráfica indicando, sobre una línea perpendicular al conductor (A-B), las intensidades del campo para cada uno de los puntos como ordenadas; uniendo los extremos de estas ordenadas obtendremos

una senoide de amplitud decreciente, si la corriente y, por tanto, también el campo magnético varían en forma sinusoidal. Reconocemos, pues el carácter ondulatorio de esta propagación.

La distancia entre los valores máximos del mismo sentido se denomina *longitud de onda* y se representa ordinariamente por λ . Esta longitud es la distancia necesaria para que el desfase del campo sea el correspondiente a T .

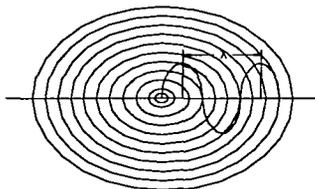


Fig. 2.4

A semejanza del campo magnético, puede representarse el eléctrico y su propagación por sus líneas de fuerza, teniendo en cuenta que la intensidad del campo en las inmediaciones del conductor será máxima, cuando sea también máxima la tensión entre las armaduras del condensador, y que su desfase respecto al campo magnético es de $T/4$, o sea, 90° .

2.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas.

En las ondas electromagnéticas están incluidas desde las ondas de larga longitud de onda como las de radiocomunicación hasta las de longitud de onda más pequeña como son los rayos infrarrojos, rayos X, rayos Gamma y rayos cósmicos.

Existe una clasificación de las ondas electromagnéticas que se muestra en la tabla 2.5

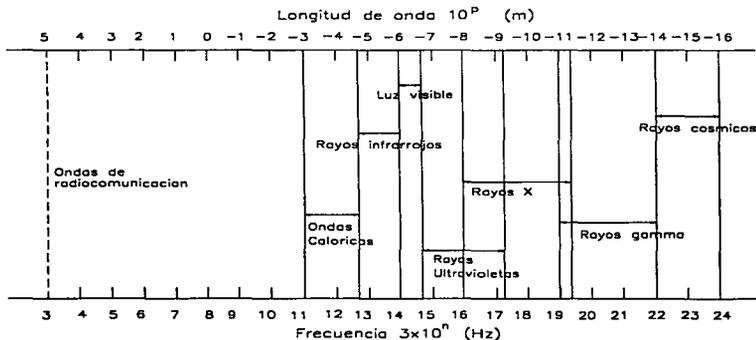


Tabla 2.5 Clasificación de las ondas electromagnéticas.

Existe otra clasificación más general de las ondas electromagnéticas, que toma en cuenta la frecuencia de las ondas y que se muestra en la tabla 2.6.

Designación de banda	Abreviación	Banda de frecuencia	Límites de longitud de onda (λ).
Muy baja frecuencia	VLF	30 KHz o menor	10 Km o mayor
Baja frecuencia	LF	30-300 KHz	10-1 Km
Frecuencias medias	MF	300-333 KHz	1-0.1 Km
Alta frecuencia	HF	3-30 MHz	100-10 m
Muy alta frecuencia	VHF	30-300 MHz	10-1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	300-3000 MHz	1-0.1 m
Super alta frecuencia	SHF	3-30 GHz	10-1 cm
Extremadamente alta frecuencia	EHF	30-300 GHz	10-1 mm

2.6 Clasificación de las ondas de radiocomunicación

No existe un límite de frecuencia exacta para definir cuándo se trata de una microonda, ya que generalmente se usa un vocablo para indicar las ondas de longitud de onda más pequeña que las de ondas VHF. Por esto en ocasiones, se usa el término microonda para referirse en forma genérica a las ondas UHF, SHF, EHF o bien para indicar las ondas de longitud más pequeña que las UHF.

Por lo cual, en el presente trabajo vamos a usar la palabra microonda para referirnos a las ondas UHF y SHF que guardan mucho parecido y cuyas características son similares.

2.2 Formas de propagación de las ondas de radiocomunicación.

2.2.1 Clasificación de las ondas de propagación.

La propagación de las ondas de radiocomunicación, desde el punto de transmisión al de recepción, está influenciada por la frecuencia, la distancia, la altitud de la antena, la naturaleza eléctrica de la tierra y las condiciones de las capas atmosféricas de la troposfera y la ionosfera. Desde el punto de vista de la física, las ondas de propagación se pueden clasificar en 6 clases:

1. Onda directa
2. Onda reflejada
3. Onda refractada
4. Onda difractada
5. Onda superficial
6. Onda dispersa

Además, desde el punto de vista del aprovechamiento de las ondas , podemos hacer otra división en la siguiente forma :

1. Onda de tierra
 - a. Onda directa
 - b. Onda reflejada en tierra
 - c. Onda difracatada en la tierra
 - d. Onda superficial
2. Onda del espacio
 - a. Onda troposférica
 - i) Onda de reflexión y refracción en la troposfera.
 - ii) Onda dispersa en la troposfera.

b. Onda ionosférica

- i) Onda de reflexión y refracción en la ionosfera.
- ii) Onda dispersa en la ionosfera.

La figura 2.7 muestra las formas de las ondas de propagación

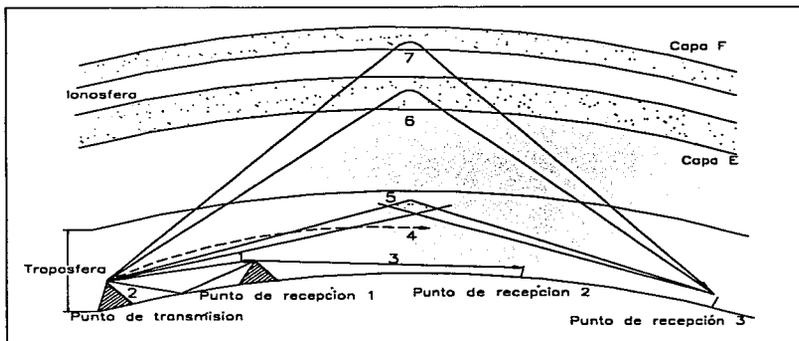


Figura 2.7 Formas de onda de propagación

1. Onda directa
2. Onda reflejada
3. Onda difractada
4. Onda superficial
5. Onda dispersa en la troposfera
6. Onda de reflexión y refracción en la ionosfera capa E
7. Onda de reflexión y refracción en la ionosfera capa F

2.2.2 Característica de propagación correspondiente a cada clasificación de onda.

1. En general en la propagación de las ondas superficiales y difractadas entre menor sea la frecuencia será menor la atenuación.
2. La refracción y reflexión de las ondas HF en la ionosfera son muy apropiadas, por lo cual la absorción y la atenuación que sufren durante la propagación es menor.
3. Las ondas superficiales y las difractadas de mayor frecuencia que las VHF son las que sufren mayor atenuación y además cruzan el espacio de la ionosfera, por esto cuando se utilizan las ondas directas y las reflejadas debemos tomar en cuenta sus funciones más importantes.
4. Entre las ondas de VLF, LF y MF las ondas ionosféricas son las que se utilizan en propagación de muy larga distancia.

III. REFLECTOR PARABÓLICO.

3.1 Principales propiedades del reflector parabólico.

En frecuencia de microondas una de las antenas más utilizadas es el reflector parabólico que tiene la ventaja de una alta directividad debido a su propiedad de convertir ondas esféricas o cilíndricas en ondas planas reduciendo en gran medida la dispersión.

Supóngase que se tiene una fuente puntual que deseamos que produzca una fuente de onda plana por medio de un reflector. Como indica la figura 3.1.

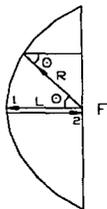


FIGURA 3.1

De la figura se observa que para formar una onda plana las trayectorias 1 y 2 deben ser iguales es decir:

$$2L = R(1 + \cos \theta)$$

por lo que:

$$R = \left(\frac{2L}{1 + \cos \theta} \right) \quad (3.1)$$

La ecuación (3.1) representa una parábola de modo que, para tener un frente de onda plano el reflector debe ser paraboloide con el foco en el punto F.

Una curva parabólica se define como: "La distancia de cualquier punto P de una curva parabólica a un punto fijo F llamado foco es igual a la distancia perpendicular a una línea llamada directriz".

De la figura 3.2 tenemos que:

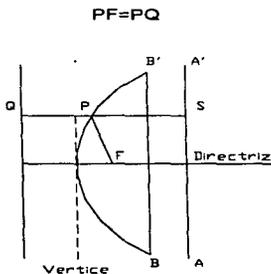


Figura 3.2

Si se dibuja una línea paralela a directriz y normal al eje AA' a una distancia arbitraria QS de la directriz se observa que:

$$PS = QS - PQ$$

pero $PF = PQ$ por lo que se deduce que la distancia de foco al punto S es:

$$PF + PS = PF + QS - PQ = QS$$

Esta ecuación nos indica que una propiedad de un reflector parabólico es que todas las ondas generadas en el foco y reflejas en la parábola parecen estar originadas en la directriz como una onda plana. Al plano BB' en el cual el reflector queda cortado se le conoce como plano de apertura.

El segundo principio se demuestra en la figura 3.3, en la que S representa la superficie parabólica, la recta EE' es una tangente a la parábola en el punto P y PP' es una recta normal a EE' en ese mismo punto. Cualquier rayo que provenga del punto focal P, formará un ángulo de incidencia \hat{i} con la normal PP' y el rayo reflejado PC formará con la normal PP' un ángulo \hat{e} igual al de incidencia.

En la figura 3.3 el ángulo \hat{e} será igual a $\hat{u}/2$, por ser alternos internos, y por lo tanto:

$$\hat{u} = \hat{i} + \hat{e}$$

en consecuencia, la trayectoria PC será paralela al eje de la parábola.

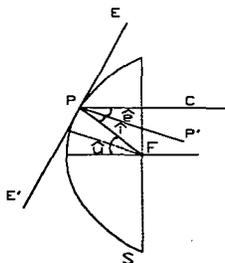


Fig.3.3

Las antenas parabólicas pueden ser cilíndricas o circulares, la primera convierte una onda cilíndrica en una onda plana y la segunda una onda esférica en una onda plana. En resumen el paraboloide tiene la propiedad de reflejar cualquier rayo que nace en el foco en una dirección paralela al eje.

La antena parabólica forma parte de un grupo que funciona apoyándose en un reflector para conseguir una gran ganancia directiva, gran ancho de banda, así como un gran rendimiento. Constan de un espejo y un excitador. Veamos primero la naturaleza del espejo. Puede ser un paraboloide de revolución, un sector del mismo, un cilindro parabólico o un segmento del mismo limitado por dos planos conductores paralelos. Por ser más común su uso, vamos a estudiar el paraboloide de revolución mostrado con más detalle en la figura 3.4

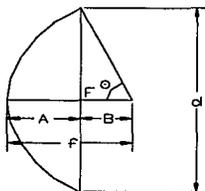


Figura 3.4

En él hay que tener en cuenta las siguientes dimensiones:

- Abertura (d)
- Angulo de apertura (θ)
- Distancia focal (f)
- Factor de efectividad (γ)
- Anchura del diagrama de directividad (2θ)

- **Abertura (d)**

Es el valor del diámetro de la circunferencia formada por los bordes de la parábola.

$$d = \lambda \sqrt{\frac{G}{1.5\pi}} \text{ metros, suponiendo el mínimo valor de } \gamma = 0.5$$

donde:

λ = longitud de onda

G = Ganancia

- **Ángulo de apertura (θ)**

Es el valor del ángulo formado por la línea focal y la que une el punto focal con el borde de la parábola.

A fin de conseguir un campo eléctrico uniforme, es recomendable fijar un ángulo de 62° .

- **Distancia focal (f)**

Es lo que mide la línea que une el vértice de la parábola con el punto focal.

$$f = \frac{d}{4 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Para datos constructivos, podemos desglosar f en A y B

$$B = \frac{d}{2} \operatorname{tg}(90 - \theta)^\circ ; A = f - B$$

- **Factor de efectividad (γ).**

Es una constante a aplicar y es función de la perfección constructiva de la parábola. Suele valer de 0.5 a 0.8

• **Anchura del diagrama de directividad (2θ)**

La anchura en el plano vertical es,

$$2\theta_v = \left(75 \frac{\lambda}{d}\right)^\circ$$

La anchura en el plano horizontal es,

$$2\theta_h = \left(70 \frac{\lambda}{d}\right)^\circ$$

El contorno del paraboloides se puede determinar por las siguientes ecuaciones:

$$x = \frac{y^2}{K}$$

Siendo K una constante determinada por $K = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{A}$ y "x" y "y" los ejes de un sistema de coordenadas. Dando valores a "Y" determinamos "X".

3.1.2 Área real de la antena.

Si se coloca una antena en un espacio cuya densidad eléctrica uniforme sea P_u , y ésta no tuviera pérdidas en la recepción de las ondas en toda la superficie, su intensidad eléctrica de recepción P_i se expresaría así :

$$P_i = P_u \times A$$

donde:

P_i = intensidad eléctrica de recepción

P_u = densidad eléctrica

A = área total de la antena

Si por el contrario, conocemos la intensidad de recepción P_i , podemos llegar a saber cuál es el área con capacidad de recepción real, con la siguiente fórmula :

$$A_e = \frac{P_i}{P_u}$$

donde:

A_e = área real de la antena.

El grado de diferencia entre el área real de la antena A_e y el área total de la antena A , representa el grado de eficiencia en la efectividad de la antena y se conoce como la eficiencia de la antena.

$$\mu = \frac{A_e}{A}$$

donde:

μ = eficiencia de la antena

Las antenas parabólicas que comúnmente usamos para las microondas se encuentran en el rango de 0.5 - 0.8. Ahora bien, en la antena isotrópica cuya área real de recepción llamaremos A_{e0} , se utiliza la siguiente expresión para su cálculo :

$$A_{e0} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

donde :

A_{e0} = área real de recepción

Aplicamos la teoría anterior a este tipo de antena. Si la antena isotrópica se coloca en un espacio con P_u de densidad eléctrica uniforme, obtendremos una intensidad eléctrica de recepción P_{io} , que se calcula con la siguiente expresión :

$$P_{io} = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) P_u$$

En las antenas de uso común para obtener A_e o sea el área de la antena utilizamos esta fórmula:

$$A_e = \left(\frac{P_i}{P_{io}} \right) \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

Como ya sabemos P_i / P_{io} es igual a G (ganancia) por lo tanto, sustituyendo en la fórmula tenemos que :

$$A_e = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) G$$

bien, a la inversa

$$G = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) A_e$$

donde :

G = Ganancia de una antena Isotrópica.

3.1.3 Área efectiva.

Otro término que tiene gran aplicación en la caracterización de antena es el Área Efectiva que se define a partir de la antena usada como receptora. El área efectiva es la relación entre la potencia entregada por la antena a sus terminales y la densidad de potencia existente en el punto donde está colocada.

Esta definición le da a la antena el carácter de transductor, es decir, convierte la energía electromagnética a su alrededor en energía eléctrica en sus terminales.

$$A_{ef} = \frac{W}{P} \quad (3.3.1)$$

donde:

A_{ef} = Área efectiva

W = Potencia entregada por la antena

P = Densidad de potencia

Para que la transmisión de energía sea como indica la ecuación (3.3.1) se requieren las siguientes condiciones :

1. La antena debe entregar su energía a una carga acoplada de tal forma que no haya reflexiones.
2. La antena transmisora y la receptora deben tener la misma polarización, o en otras palabras, la antena receptora debe tener la polarización del campo incidente.
3. La antena debe tener una eficiencia del 100%, es decir no debe tener pérdidas.

Como se observa de la ecuación (3.3.1), el área efectiva está vinculada con la magnitud de la potencia que la antena puede extraer de la onda electromagnética incidente, podríamos decir que es el área del frente de onda electromagnética de donde la antena puede extraer energía para entregarla a la carga acoplada, suponiendo que se cumplan las tres condiciones anteriores. Utilizando el concepto de teoría de los circuitos, la máxima potencia posible entregada en la carga acoplada es :

$$W = \frac{V^2}{4R_r} \quad (3.3.2)$$

donde:

V = Voltaje

R_r = Potencia radiada

La ecuación (3.3.2) representa la máxima potencia entregada bajo condiciones de máxima transferencia de energía y sin pérdidas en la antena. Sustituyendo (3.3.3) y (3.3.2) en (3.3.1) y considerando a V y E como valores efectivos, se tiene :

$$l_{ef} = \frac{V_{ca}}{E} \quad (3.3.3)$$

donde:

l_{ef} = Longitud efectiva

E = Campo eléctrico

$$A_{ef} = \frac{V^2}{4P R_r} = \frac{l_{ef}^2 E^2 \eta}{4E^2 R_r} = \frac{l_{ef}^2 \eta}{4R_r} \quad (3.3.4)$$

donde:

η = Grado de eficiencia de recepción

y sustituyendo (3.3.0) en (3.3.4)

$$l_{ef} = \sqrt{\frac{R_r D}{\pi \eta}} \lambda \quad (3.3.0)$$

$$A_{ef} = \frac{D \lambda^2}{4\pi} \quad (3.3.4)$$

donde:

D = Directividad

La ecuación (3.3.4) es uno de los postulados fundamentales de la teoría de las antenas, como se observa relaciona la ganancia de la antena con su área efectiva.

En la ecuación (3.3.4) se supone que la antena está dirigida en la dirección de máxima recepción; en el caso más general puede escribirse como :

$$A_{ef} = \frac{G_D \lambda^2}{4\pi}$$

donde G_D representa la ganancia directiva de la antena. La tabla 3.4.1 indica el área efectiva de algunas de las antenas más comunes.

ANTENA	A_{ef}
Antena $L = \lambda / 2$	$\frac{1.64\lambda^2}{4\pi}$
Dipolo $L = \lambda / 2$ con reflector a $\lambda / 4$	$\frac{5.5\lambda^2}{4\pi}$
Parábola de diámetro d	$\pi d^2 \quad d \gg \lambda$

Tabla 3.4.1

Como se observa de la tabla 3.4.1, el área efectiva de una antena parabólica es igual a su área física, en general cuando las dimensiones de la antena son grandes en comparación con la longitud de onda, se cumple la condición.

3.1.4 Ganancia

Se dice que una antena tiene ganancia en el sentido que se radia más señal (densidad de potencia) en una dirección específica que con una antena fuente punto (llamada antena isotrópica) que radia igualmente en todas direcciones. La medición de potencia se hace siempre con la misma potencia de entrada a las antenas, con el equipo de medición a una distancia igual desde las antenas.

Este parámetro también se llama ganancia directiva o simplemente ganancia de antena. La longitud de la antena y en el caso de una antena parabólica su plano de apertura y la posición relativa de las ondas estacionarias (antena resonante) o la ausencia de las ondas estacionarias (antena no resonante), determinan la ganancia directiva. Son ganancias típicas para una antena resonante de 1.5 para una longitud de $\lambda/2$ a 7 para una longitud de 8λ . La ganancia directiva equivalente para la antena no resonante es de 3 a 17.

La directividad de la antena se refiere a la ganancia medida en la dirección de mayor radiación. Esta también se llama máxima ganancia directiva.

Se define ganancia de una antena como la relación entre la densidad de potencia radiada en un cierto punto y la densidad de potencia radiada en el mismo punto por una antena de referencia.

$$G = \frac{P}{P_r}$$

Es claro que la antena de referencia puede ser cualquiera, sin embargo, es necesario especificar la clase de antena de que se trate.

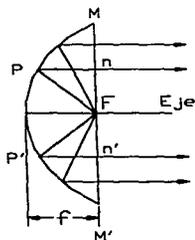
La ganancia también puede expresarse como la relación entre los campos de radiación en la siguiente forma :

$$G = \frac{E^2}{E_r^2}$$

Usualmente la ganancia de una antena se expresa en dB en la siguiente forma :

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{P}{P_r} \right) = 20 \log \left(\frac{E}{E_r} \right) \quad [\text{dB}]$$

En la figura 3.6 cuando colocamos el radiador en el foco de una superficie parabólica y se radian ondas en forma circular, éstas se reflejan en la superficie parabólica y cambian de dirección, emparejándose sus crestas M M' formando una superficie plana.



$$\overline{Fp} + \overline{pn} = \overline{Fp'} + \overline{p'n'} = 2f$$

FIGURA 3.6

Como generalmente la forma de la boca de la antena parabólica es circular, para calcular su superficie A, utilizamos el diámetro D, en la siguiente fórmula :

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

en donde la ganancia de la antena G se expresa así :

$$G = \eta A \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) = \eta \left(\frac{\pi D^2}{\lambda} \right)$$

El grado de eficiencia de recepción de la antena parabólica oscila entre 0.5 - 0.8.

3.2 PATRÓN DE RADIACIÓN.

El patrón de radiación es una gráfica, usualmente en papel polar que muestra la forma en que el campo eléctrico (o el magnético) varía con el ángulo θ o el ángulo ϕ de las coordenadas esféricas. Físicamente, el patrón de radiación representa la distribución de la energía del campo electromagnético en el espacio.

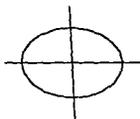
En general, la intensidad de campo eléctrico de cualquier antena puede representarse por:

$$E = K F(\theta, \phi) \quad (3.4.1)$$

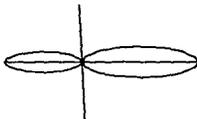
donde $F(\theta, \phi)$ es una función de θ , de ϕ , o de ambas que pueden tabularse para θ o para ϕ .

En teoría de antenas se conoce a $F(\theta, \phi)$ como la amplitud normalizada del patrón direccional de la antena que se define como la relación de la magnitud de la intensidad de campo en la zona de radiación, en una dirección determinada, a la magnitud de la intensidad de campo en la zona de radiación en la dirección de máxima radiación.

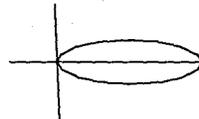
Un radiador fuente punto (idealizado) localizado en el espacio exterior tendría un patrón de radiación que sería una esfera perfecta. Esto significa que la intensidad de campo, medida en una distancia fija dada desde el radiador en cualquier dirección, tiene el mismo valor, como muestra la figura 3.4(a). Una antena con una radiación horizontal tiene un patrón similar a una dona, con la antena como eje, como muestra figura 3.4(b). Otras antenas radian en una región muy estrecha. Las antenas altamente direccionales, cuyo patrón se muestra en la figura 3.4(c) son características de este tipo de antenas.



(a) Radiación de fuente



(b) Radiación horizontal



(c) Radiación direccional

Figura 3.4

Los lóbulos laterales son otro aspecto del patrón de radiación. En la práctica, es difícil obtener un patrón de radiación ideal. Más comúnmente, un lóbulo grande o mayor que representa al patrón deseado, se acompaña por uno o más lóbulos laterales de menor intensidad de campo. Esto se muestra en la figura 3.5. El significado del lóbulo lateral para un sistema de antena es la disipación de energía en direcciones indeseadas.

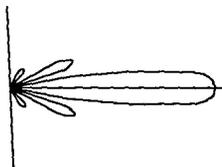


Figura 3.5

IV. DIPOLO Y MONOPOLO.

El dipolo es el elemento básico de las antenas. El primer dipolo lo utilizó Heinrich Hertz en sus experimentos, los cuales sirvieron para demostrar las teorías del matemático inglés J.C. Maxwell.

El experimento de Hertz utilizó un dipolo cargado como elemento transmisor y un dipolo de lazo doblado como elemento receptor. Cuando se producía una descarga eléctrica en el extremo del dipolo transmisor, en el dipolo receptor se presentaba a su vez la descarga eléctrica.

Supongamos que contamos con una línea de transmisión en circuito abierto. Si alimentamos la línea con corriente directa, es decir, una señal eléctrica que no tiene variación en el tiempo, una línea de transmisión con una longitud adecuada, funcionará como un elemento capacitor.

Sin embargo cuando alimentamos la línea de transmisión con señal eléctrica que varía con el tiempo, se presenta un fenómeno curioso, ya que si bien se presentará una relación de onda estacionaria en la línea de transmisión, no se refleja toda la energía que se alimenta a la línea. Una parte de la energía se disipa como onda electromagnética (ver figura 4.1).

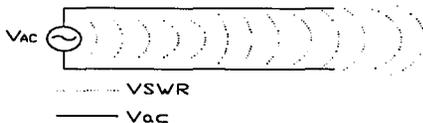


Figura 4.1

El dipolo aprovecha éste fenómeno para radiar ondas electromagnéticas. Es decir, que un dipolo se puede considerar como una línea de transmisión en circuito abierto, el cual para lograr una emisión de energía se coloca como se muestra en la figura 4.2.

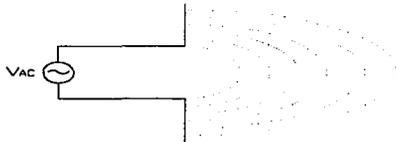


Figura 4.2

Una vez que conocemos el dipolo, podemos continuar con el monopolo. Puede resultar extraño que se analice primero un caso con dos pares de conductor que un sistema con un solo conductor. La razón principal se debe a que el monopolo es en realidad un dipolo disfrazado. Cuando tenemos un dipolo cercano a una superficie conductora finita, tenemos un efecto curioso causado por el plano conductor al cual nos referimos como plano de tierra. El plano de tierra nos simula un “espejo” de nuestro dipolo, y nos causa la impresión de que tenemos dos fuentes emisoras de ondas electromagnéticas.

El efecto total sobre el receptor causado por la onda electromagnética directa y por la onda electromagnética reflejada por el terreno puede tener propiedades aditivas o sustractivas. Es decir que las ondas pueden interferirse de modo que la señal total recibida sea nula, o en el mejor de los casos interferirse con un resultado del doble de la señal original.

En el caso del monopolo vertical presuponemos un polo en posición vertical, conectado a una de las terminales de alimentación, mientras que la otra terminal se encuentra conectada a un plano de tierra con conductividad infinita.

4.1 ALTURA O LONGITUD EFECTIVAS.

Para un monopolo :

$$H_c = \left(\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\beta H_o}{2}\right)}{\beta} \right)$$

siendo:

H_o = semilongitud o altura física del dipolo expresada en metros

β = constante de fase

4.2 COEFICIENTE DE ONDA O CONSTANTE DE FASE.

Viene dado por

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ radianes}$$

donde:

λ = longitud de onda

4.3 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA.

El valor más próximo al real viene dado por la siguiente expresión:

$$Z_o = 60 \left(\ln \frac{H_o}{a} - 1 - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{2H_o}{\lambda} \right) \right)$$

siendo:

H_o = semilongitud o altura física del dipolo

a = radio del conductor

λ = longitud de onda de la frecuencia de trabajo

4.4 LONGITUD ELÉCTRICA.

La longitud eléctrica de una antena viene a ser con buena aproximación, un 5% más larga que la longitud física, por lo que :

$$H = H_0 \times 1.05$$

Tanto una como otra longitud se pueden expresar en radianes

Longitud física = βH_0 radianes

Longitud eléctrica = βH radianes

siendo

H y H_0 semilongitudes o alturas del dipolo expresadas en metros

4.5 RESISTENCIA DE RADIACIÓN.

Para un monopolo de semilongitud $H > 0.2\lambda$

$$R_{rv} = 15 \left[\left(\ln \frac{2H}{\lambda} + 1.722 \right) \cos \frac{4\pi H}{\lambda} - \frac{\pi}{2} \sin \frac{4\pi H}{\lambda} + 4.83 + 2 \cdot \ln \frac{2H}{\lambda} \right]$$

Para un monopolo de semilongitud $H < 0.2\lambda$ y longitud eficaz H_e , la resistencia de radiación en el punto de alimentación es,

$$R_{ra} = 1600 \left(\frac{H_e}{\lambda^2} \right)$$

Esta última fórmula se debe emplear con precaución ya que se basan en un distribución constante en la antena y eso sólo ocurre en radiadores elementales, antenas muy cortas respecto a la longitud de onda de trabajo o antenas cortadas a su longitud eficaz y rematadas en sus extremos con una capacidad adecuada .

Por esto los resultados obtenidos con estas fórmulas dan un error tanto mayor (hasta un 10% aproximadamente), cuanto más cercana sea su longitud al valor de 0.2λ .

Aplicando la fórmula general y para distintos valores de la relación H/λ , se han hallado los valores reseñados en la tabla 4.5.1 referidos al vientre de corriente

H/λ	$R_{rv}(\Omega)$	H/λ	$R_{rv}(\Omega)$	H/λ	$R_{rv}(\Omega)$
0.125	3.2	0.325	72	0.525	92.5
0.150	6.5	0.350	84	0.550	83
0.175	11.5	0.375	93.5	0.575	72.5
0.2	18.25	0.4	100	0.6	60.5
0.225	27	0.425	104.5	0.625	52.5
0.25	36.5	0.45	106	0.65	46.5
0.275	48	0.475	105	0.675	43.5
0.3	60	0.5	99.5	0.7	42.5

Tabla 4.5.1
Resistencia de radiación de un monopolo de semilongitud $H(H_0 \times 1.05)$

Con esta tabla se puede construir una gráfica y así poder determinar las R_{rv} de los valores intermedios de H/λ (figura 4.1)

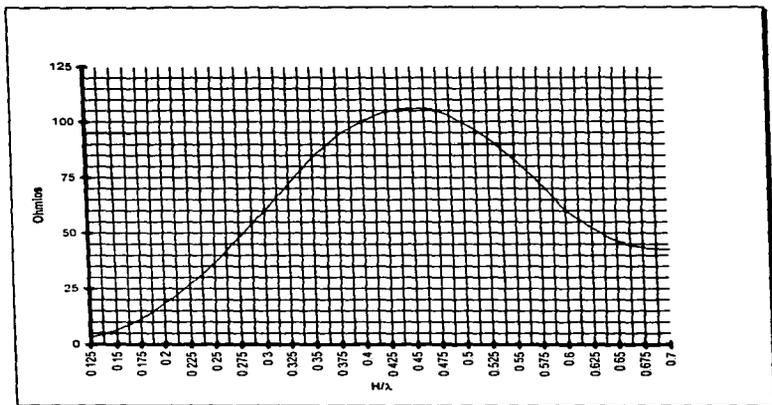


Figura 4.1

4.6 FACTOR DE ATENUACIÓN.

Viene determinado por:

$$\alpha = \frac{R_N}{H \times Z_0} \text{ nepers}$$

siendo

R_N = resistencia de radiación en el vientre de corriente

H = altura o semilongitud eléctrica en metros

La atenuación total de una antena monopolo será:

$$\alpha H = \frac{R_N}{Z_0} \text{ nepers}$$

4.7 IMPEDANCIA DE ENTRADA.

La parte real de la impedancia de entrada compleja es la resistencia de entrada que se determina por:

$$R_c = Z_0 \left[\frac{\sinh(2\alpha H)}{\cosh(2\alpha H) - \cos(2\beta H)} \right]$$

Esta R_c corresponde a la resistencia de radiación referida al punto de alimentación de la antena, cuando ésta se comporta como un circuito resonante en serie.

Asimismo, la parte imaginaria de la impedancia compleja de entrada es la reactancia de entrada que se determina por:

$$X_c = Z_0 \left[\frac{-\sin(2\beta H)}{\cosh(2\alpha H) - \cos(2\beta H)} \right]$$

Recordemos que αH es la atenuación en nepers vista en el apartado 4.6. Cuando X_c tiene signo negativo, la reactancia es capacitiva. En caso contrario, es inductiva.

El módulo de la impedancia de entrada es,

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

4.8 GANANCIA DIRECTIVA.

La ganancia direccional máxima de un monopolio en función de su resistencia de radiación y su longitud eléctrica (semilongitud H) es, en el supuesto de que la potencia radiada sea 1 vatio y medida la intensidad de campo a una distancia unidad,

$$G_{dmax} = \frac{120}{R_v} [1 - \cos(\beta H)]^2$$

Usualmente la ganancia de una antena se compara con la ganancia de un dipolo de media onda ($2H$) o de un monopolio de cuarto de onda, según sea la antena considerada, y se da en dB.

La G_{dmax} de un radiador isotrópico es: 1 (valor absoluto)

La G_{dmax} de un dipolo de media onda es: 1.64 (valor absoluto)

La G_{dmax} de un monopolio de $\frac{1}{4}$ de onda es: 3.28 (valor absoluto)

La ganancia en dB de una antena será:

$$G = 10 \log \left(\frac{G_{dmax} \text{ de antena en prueba}}{G_{dmax} \text{ de antena patrón}} \right)$$

4.9 FACTOR DE CALIDAD (Q).

El Q de una antena o factor de calidad es un parámetro en función de Z_o y la resistencia de radiación.

$$Q = \frac{\pi Z_o}{4R_v}$$

4.10 ANCHO DE BANDA.

$$\Delta F = \frac{F_r}{Q}$$

4.11 EJEMPLO ILUSTRATIVO.

1. Se desea construir una antena parabólica que tenga una ganancia de 40 db para 10 GHz.

La longitud de onda será,

$$\lambda = \frac{300}{10000} = 0.03 \text{ m}$$

La ganancia en valores absolutos,

$$40 = 10 \log G ; \quad 4 = \log G ; \quad G=10^4$$

El diámetro de la parabólica (abertura) será,

$$d = \lambda \sqrt{\frac{G}{1.5 \pi}} = 0.03 \sqrt{\frac{10^4}{4.712}} = 1.382 \text{ m}$$

La distancia focal, utilizando un ángulo de apertura de 62 grados,

$$f = \frac{d}{4 \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)} = \frac{1.382}{2.403} = 0.575 \text{ m.}$$

Para construir la parábola, determinaremos A y B y los puntos del semiperfil en un sistema de coordenadas X - Y .

$$B = \left(\frac{d}{2}\right) \operatorname{tg}(90 - \theta) = 0.691 \times 0.531 = 0.367 \text{ m.}$$

$$A = f - B = 0.575 - 0.367 = 0.207 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación $x = \frac{y^2}{K}$ determinaremos el perfil:

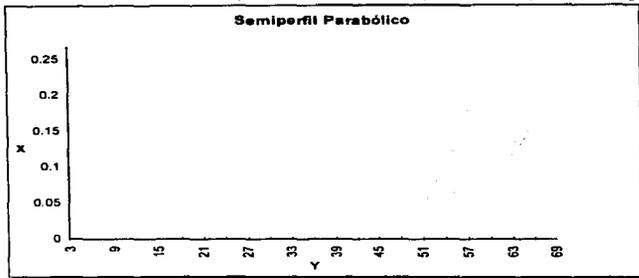
$$K = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2}{A} = \frac{d^2}{4A} = \frac{1.382^2}{4 \times 0.207} = 2.306$$

luego,

$$x = \frac{y^2}{2.306}$$

dando valores a y de 3 en 3 cm, determinaremos los correspondientes a x.

y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)	y (cm)	x (cm)
0	0	27	0.031	54	0.126
3	0	30	0.039	57	0.141
6	0.001	33	0.047	60	0.156
9	0.003	36	0.056	63	0.178
12	0.006	39	0.066	66	0.189
15	0.009	42	0.076	69	0.207
18	0.014	45	0.088		
21	0.019	48	0.1		
24	0.025	51	0.113		



2. Disponemos de un mástil de sección circular de 10 m de altura y 35 mm de diámetro y deseamos que trabaje como monopolo para 14.2 Mhz. Vamos a calcular sus parámetros.

$$\begin{aligned}
 H_0 &= L = 10 \text{ m} \\
 D &= 35 \text{ mm} \\
 F &= 14.2 \text{ Mhz}
 \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{300}{14.2} = 21.126 \text{ m}$$

$$H = 10 \times 1.05 = 10.5 \text{ m}$$

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{10.5 \text{ m}}{21.12 \text{ m}} = 0.497$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{21.126} = 0.297$$

Impedancia característica

$$Z_0 = 60 \left(\ln \frac{H_0}{R} - 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{2H}{\lambda} \right)$$

$$Z_0 = 60 \left(\ln \frac{10}{0.0175} - 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{2(10.5)}{21.126} \right) = 322.5 \Omega$$

Altura eléctrica en radianes (Longitud eléctrica)

$$\beta H = (0.297)(10.5) = 3.118$$

$$2\beta H = 6.236$$

Resistencia de radiación

$$R_r = 15 \left(\ln \frac{2H}{\lambda} + 1722 \cos(2\beta H) - \frac{\pi}{2} \sin(2\beta H) + 4.83 + 2 \ln \frac{2H}{\lambda} \right)$$

$$R_r = 15 \left(\ln \frac{2(10.5)}{21.126} + 1722 \cos(6.236) - \frac{\pi}{2} \sin(6.236) + 4.83 + 2 \ln \frac{2(10.5)}{21.126} \right)$$

$$R_r = 97 \Omega$$

Según la gráfica de la Fig. 4.1 y para $\frac{H}{\lambda} = 0.497$

$$R_r = 100 \Omega$$

Dados los decimales que hemos ido despreciando al aplicar la fórmula, creemos asumibles los 100 ohmios de la gráfica, por lo que:

$$R_r = 100 \Omega$$

Impedancia de entrada

$$\alpha H = \frac{R_N}{Z_o} = \frac{100}{322.5} = 0.31$$

$$2\alpha H = 0.62$$

$$2\beta H = 6.236$$

La componente resistiva

$$R_c = Z_o \left(\frac{\sinh(2\alpha H)}{\cosh(2\alpha H) - \cos(2\beta H)} \right)$$

$$R_c = 322.5 \left(\frac{\sinh(0.62)}{\cosh(0.62) - \cos(6.236)} \right)$$

$$R_c = 1069 \Omega$$

o también podemos calcularla por:

$$R_c = R_s = \frac{R_N}{\sin^2 \beta H} = \frac{100}{0.0935} = 1069 \Omega$$

Componente reactiva

$$X_c = Z_o \left(\frac{-\sin(2\beta H)}{\cosh(2\alpha H) - \cos(2\beta H)} \right)$$

$$X_c = 322.5 \left(\frac{-\sin(6.236)}{\cosh(0.62) - \cos(6.236)} \right)$$

$$X_c = 76.5 \Omega$$

La impedancia compleja

$$Z_c = 1069 + j76.5$$

Módulo de la impedancia

$$|Z_c| = \sqrt{1069^2 + 76.5^2} = 1071 \Omega$$

Ganancia directiva

$$G_{dmax} = \frac{120}{R_v} (1 - \cos \beta H)^2$$

$$G_{dmax} = \frac{120}{100} (1 - \cos(3.118))^2$$

$$G_{dmax} = 4.798$$

Respecto al monopolo patrón

$$G = 10 \log \frac{4.798}{3.28} = 3.803 \text{ dB}$$

Factor de calidad

$$Q = \frac{\pi Z_0}{4R_v} = \frac{(3.14)(322.5)}{4(100)} = 2.5316$$

Ancho de banda

$$\Delta F = \frac{Fr}{Q} = \frac{14200}{2.5316} = 5609.04 \text{ Khz o sea:}$$

$$F_i = \begin{cases} 14200 - 5609 = 8591 \\ 14200 + 5609 = 19809 \end{cases}$$

V. CONCLUSIONES.

En la actualidad en la banda de microondas el reflector parabólico no tiene competencia en lo que a características eléctricas se refiere: alta ganancia y prácticamente solo limitada en base a su diámetro, lóbulos secundarios pequeños y lóbulo principal angosto; sin embargo su construcción no es sencilla debido a que la calidad de la antena está determinada por la exactitud del perfil parabólico del reflector.

Podemos observar que la antena parabólica permite utilizar anchos de banda amplios, lo que hace posible transmitir una gran cantidad de información por medio de un solo canal de radiofrecuencia. Otro elemento que debe mencionarse es que las altas frecuencias permiten la comunicación vía satélite con un mínimo de difracción a través de la ionosfera.

Las comunicaciones por microondas tienen la ventaja de que debido a que la longitud de onda es pequeña (1m - 1mm) es posible construir antenas de dimensiones pequeñas con altas ganancias por lo que la potencia de los transmisores es relativamente baja para establecer enlaces punto a punto, de varios cientos de kilómetros o aún de miles de kilómetros como es el caso de los satélites geoestacionarios.

Hay que hacer hincapié que el diseño de una antena de microondas no podría ser posible aplicando solamente los parámetros descritos con anterioridad, aunque si podemos reconocer que son fundamentales para ello; esto nos hará tener una idea global de los requerimientos y características de la antena a emplear, así como de algunos otros parámetros que aunque no vistos no por esto dejan de ser importantes.

VI. GLOSARIO.

ATENUACIÓN. Absorción de energía que conlleva a reducir los niveles de potencia.

ANCHO BANDA. Diferencia numérica entre las frecuencias superior e inferior que atraviesan el circuito o el medio de transmisión.

ANTENA. Dispositivo y conductor que permite recibir y emitir las ondas electromagnéticas. Existen transmisoras y receptoras.

ANTENA PARABÓLICA. Antena direccional de microondas.

ANTENA DIRECCIONAL. Antena que transmite o recibe señales en una dirección especificada relativa al eje de la antena.

ANTENA ISOTRÓPICA. Antena puntiforme teórica, que radia igualmente en todas direcciones.

BANDA. Porción del espectro de frecuencias que se transmite por un circuito.

DISPERSIÓN. Descomposición de un haz luminoso en sus diferentes radiaciones.

EFICIENCIA. Todo el flujo de microondas recibido por un receptor en relación con la cantidad total de microondas emitidas por el transmisor.

FRECUENCIA. Número de ciclos por segundo, su unidad es el Hertzio.

LÍNEA DE TRANSMISIÓN. Dispositivo que efectúa la transferencia de energía de alta frecuencia de un área a otra.

LONGITUD DE ONDA. Distancia entre dos picos de una señal.

ONDA ESTACIONARIA. Línea de transmisión terminada, impropriamente tiene energía reflejada por la carga, energía que interactúa con la señal directa y establece nodos y antinodos.

PATRÓN DE RADIACIÓN. Medida de la energía radiada en cada dirección.

RESONANCIA. Es un efecto que se produce cuando la frecuencia de una vibración coincide con la de un cuerpo

VIENTRE DE CORRIENTE. Se le llama así al punto en el que existe en la antena el máximo valor de corriente.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- Noboru Yamane, "Fundamentos de propagación de microondas". Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 1ª. Edición Publicaciones Telecomex, 1974.
- M en C. Gómez González Amanda, "Curso especial del diseño de antenas". Teoría, aplicaciones y medidas. "Escuela Nacional de Telecomunicaciones". México 1995.
- Sosa Pedroza Jorge Roberto, "Radiación electromagnética y antenas". Editorial Limusa.
- Domínguez García A, "Cálculo de antenas". Editorial Marcombo. "2ª. Edición.
- Lapatine Sol, "Electrónica en sistemas de Comunicación". Editorial Limusa.
- The open University, "La naturaleza ondulatoria de la luz". Editorial Mcgraw-hill.
- Dartevelle Ch, "Antenas y recepción T.V.". Editorial Parainfo.
- Víctor J. Young, "Las microondas". Ediciones Urmo.
- Internet:
 - <http://www.cps.unizar.es/deps/GTC/gtc/areas/micro/micro.html>
 - <http://www.cps.unizar.es/deps/GTC/gtc/areas/mater/mater.html>
 - <http://www.cps.unizar.es/deps/GTC/gtc/areas/antenas/antenas.html>
 - <http://nctn.hq.NASA.gov/STI/Innovation32/SatAntenna.html>
 - <http://nctn.hq.NASA.gov/nctn/STI/Innovation42/Inflatable.html>
 - <http://www.tsc.uvigo.es/~inhigo/articulo.htm#concl>
 - <http://www.andrew.com/products/mwantenna/fmwa0002.htm>