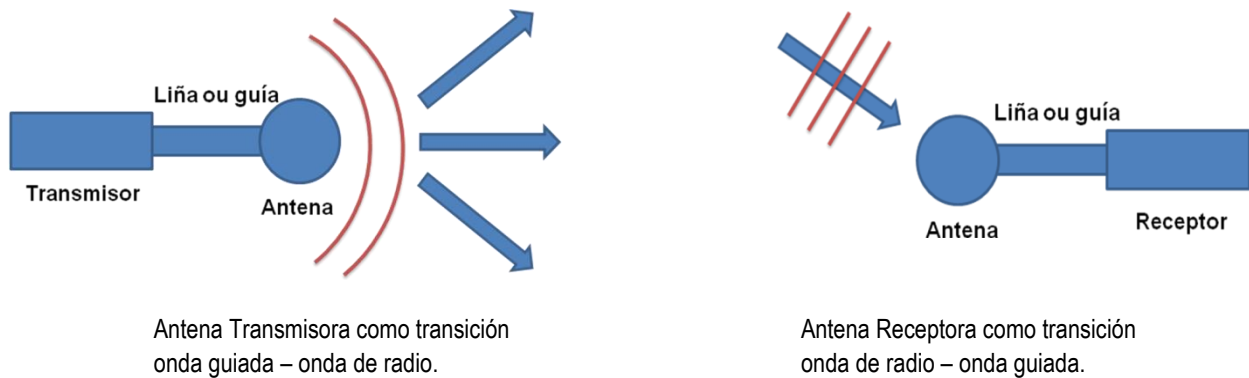


Índice

1.	Antenas.....	2
1.1	Antenas transmisoras e receptoras	2
1.2	Parámetros das antenas.....	3
1.2.1	Directividade (D)	3
1.2.2	Ganancia (G)	4
1.2.3	Ancho do feixe	4
1.2.4	Relación diante/atrás	4
1.2.5	Ancho de Banda	5
1.2.6	ROE	6
1.2.7	Impedancia de entrada	6
1.2.8	Curva de resposta en frecuencia	7
1.3	Antenas para radio e televisión terrestre.....	8
1.3.1	Dipolo simple o de Hertz.....	8
1.3.2	Dipolo pregado ou dobrado	8
1.3.3	Antena Marconi.....	9
1.3.4	Antena logaritmico - periódica	9
1.3.5	Antena Yagui	10
1.3.6	Antenas de dipolos enfasados.....	11
1.3.7	Solución de problemas con antenas enfasadas	11
1.4	Antenas para televisión vía satélite.....	15
1.4.1	Antena de bucina	15
1.4.2	Antena de foco primario.....	16
1.4.3	Antena Cassegrain	17
1.4.4	Antena Offset.....	17
1.4.5	Antena plana.....	18
1.4.6	Antenas multisatélite.....	18
1.4.7	Apuntamento de antenas.....	19
1.5	Outros tipos de Antenas	25
1.5.1	Antenas Sectoriais.....	25
1.5.2	Antena guía - onda	26
1.5.3	Antena helicoidal	27
1.5.4	Antena de ranura	27

1. Antenas

Unha antena é un dispositivo, xeralmente metálico, capaz de radiar (ver modulación) e recibir ondas de radio. Pódese definir tamén como a parte do sistema transmisor ou receptor deseñado especificamente para radiar ou recibir ondas electromagnéticas. Noutras palabras, unha antena é un elemento de transición entre un dispositivo guíaondas e o espazo libre, no caso dun sistema transmisor, ou viceversa no caso dun sistema receptor.



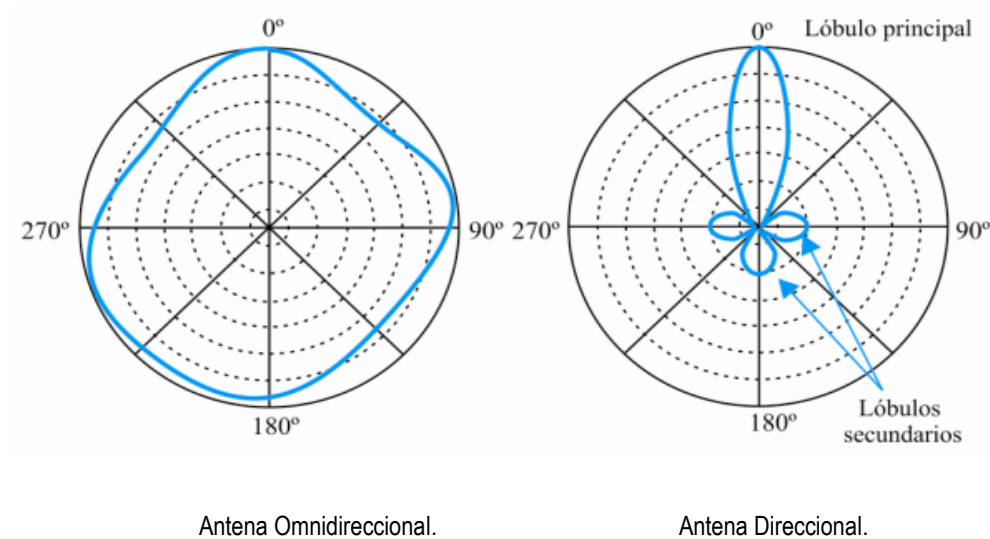
1.1 Antenas transmisoras e receptoras

Unha das misións da antena consiste en radiar a potencia que se lle fornece cunhas características de direccionalidade adecuadas a aplicación. Cada unha destas aplicacións impón uns requisitos sobre a zona do espazo na que debe concentrarse a enerxía.

Na radiodifusión sonora a enerxía debe distribuírse por igual en tódalas direccións, no caso da existencia dunha cobertura **omnidireccional**. Polo contrario no caso de radioenlaces fixos, disporanse antenas que concentren a enerxía nunha determinada dirección, falamos entón de **antenas direccionais** (hai unha zona na cal a radiación é máxima, chamada **lóbulo principal**, e as zonas que envolven os máximos de menor amplitude denomínanse **lóbulos secundarios**). Ademais de radiar, toda antena será capaz de captar a enerxía do espazo ca rodea, absorbela e entregala ao receptor.

O diagrama de radiación dunha antena é unha ferramenta moi útil para o análise das características dunha antena. Con el pódese coñecer dunha forma clara e sinxela como radia unha antena, permite deducir a súa directividade, relación diante/atrás e ancho do feixe.

Na seguinte figura temos o aspecto de dous diagramas de radicación típicos: unha antena omnidireccional e unha antena direccional.



En resumen, as dúas misións básicas dunha antena son transmitir e recibir enerxía, baixo condicións particulares para cada aplicación. Estas condicións están relacionadas coa direccionalidade, os niveis de potencia que soportan, a frecuencia de traballo, etc., o que da lugar a unha gran variedade de tipos de antenas.

O carácter dos procesos que teñen lugar nas antenas testemuña a súa reciprocidade, expresada como a posibilidade de utilizar unha mesma antena en calidade de radiador de enerxía electromagnética, ou antena transmisora, ou ben en calidade de captador de enerxía electromagnética, ou antena receptora, sen que varíen os seus parámetros principais ao desenvolver unha ou outra función; o que, na práctica, permite que en determinados servizos, como no caso da telefonía móbil, utilícese unha antena común para a transmisión e para a recepción.

1.2 Parámetros das antenas

1.2.1 Directividade (D)

É a capacidade que ten unha antena de concentrar a potencia radiada nunha determinada dirección do espazo cando emite sinais e cando as recibe; é a capacidade de absorber a potencia incidente nesa dirección. O fabricante establece a ganancia para a dirección de máxima radiación e, xenericamente, a denomina ganancia, aínda que estritamente debería denominarse directividade (D).

1.2.2 Ganancia (G)

É a relación entre a potencia recibida e a potencia entregada dunha antena se a comparamos cunha antena que tómasse como referencia.

As antenas que utilízanse como referencia son:

- Dipolo de $\frac{1}{2}$ lonxitude de onda.
- Radiador isotrópico (antena que radia por igual en tódalas direccións do espazo). Neste caso, a ganancia exprésase en dBi (dB isotrópicos).

1.2.3 Ancho do feixe

É o ángulo formado polos dous eixes imaxinarios de unión da antena cos puntos onde a ganancia cae 3dB con respecto ao punto de máxima radiación.

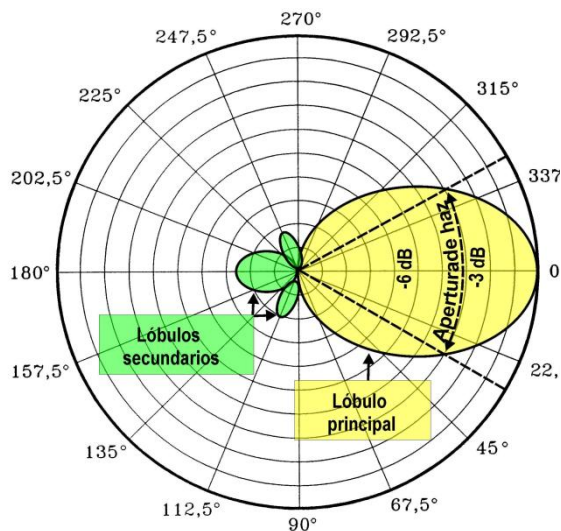


Diagrama de radiación e apertura do feixe dunha antena.

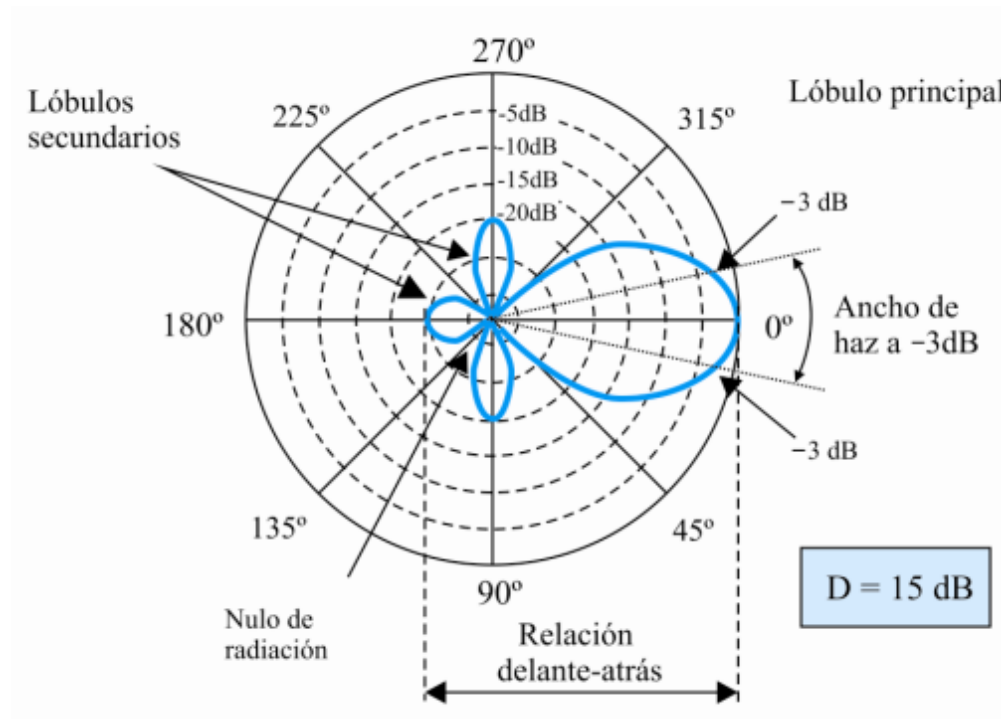
1.2.4 Relación diante/atrás

É a relación entre a ganancia na dirección de máxima radiación e o valor na dirección oposta.

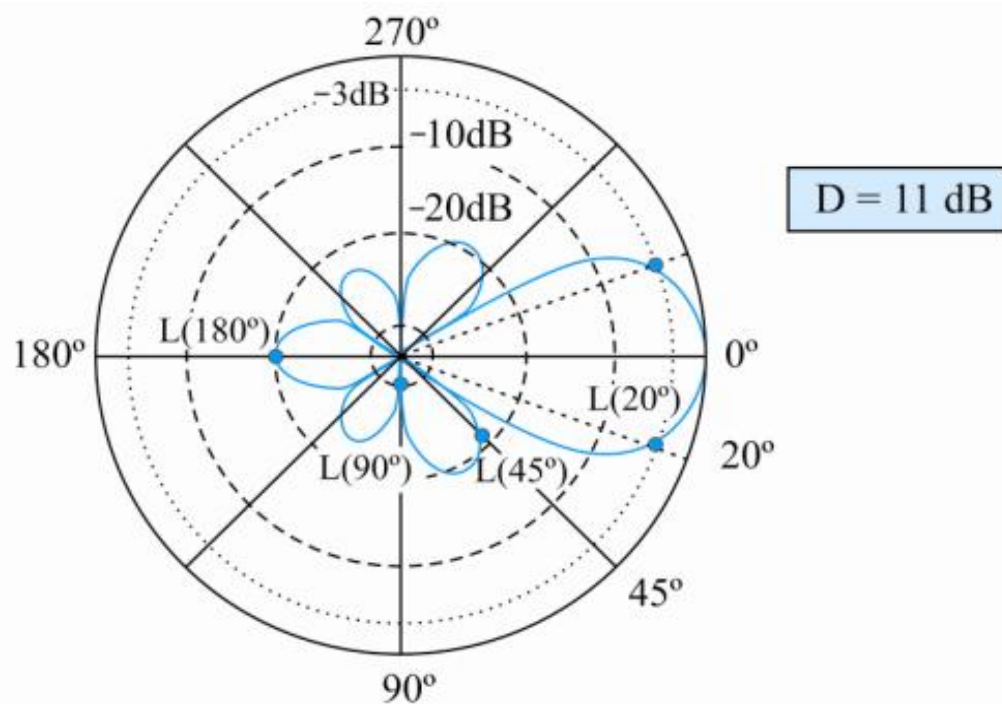
1.2.5 Ancho de Banda

É o marxe de frecuencia dentro do cal a antena mantén a súas características de ganancia, directividade, etc.

1. Exemplo: Na seguinte figura na dirección de 90° a directividade queda atenuada 20dB, polo tanto a ganancia para esta dirección é de -5dB: $G(90^\circ) = D - L(90^\circ) = 15\text{dB} - 20\text{dB} = -5\text{dB}$. Para a dirección de 135° o sinal captado pola antena é nulo, xa que esta dirección correspóndese cun **nulo no diagrama de radiación**. O ancho do feixe a -3dB é a separación angular das direccións nas que o diagrama de radiación caeu 3dB, o seu valor exprésase en grados. Na figura é aproximadamente de 20° . A relación diante/atrás é a relación expresada en dB entre a ganancia da antena na dirección da máxima radiación e a ganancia da antena de calquera lóbulo comprendido entre 90° e 270° respecto a dirección de máxima radiación. A relación diante/atrás na figura é de 25dB.



2. Exemplo: A antena representada na seguinte figura mostra as seguintes características para unha ganancia máxima de $D=11\text{dB}$: O **ancho do feixe** é de aproximadamente 40° , xa que na dirección de 20° a atenuación é de 3dB : $L(20^\circ) = 3\text{dB}$. O ancho do feixe polo tanto será o dobre: 40° . A **relación diante/atrás** é maior de 20dB , xa que a atenuación do lóbulo secundario traseiro é de 20dB : $L(180^\circ) = 20\text{dB}$. A dirección de 90° coincide cun nulo de radiación, polo que calquera sinal que proveña desa dirección será atenuada completamente. A **Ganancia** para unha dirección de -45° é de -10dB , xa que nesa dirección a atenuación respecto do máximo é de aproximadamente 21dB : $G(90^\circ) = D - L(90^\circ) = 11\text{dB} - 21\text{dB} = -10\text{dB}$. Como obsérvase, o diagrama de radiación está normalizado respecto a dirección de máxima radiación do diagrama de radiación, de xeito que nesta dirección a ganancia é de 0dB , sendo necesario co fabricante proporcione tamén o valor da directividade.



1.2.6 ROE

O parámetro ROE é a Relación de Onda Estacionaria e é unha medida do grado de adaptación entre a antena e a impedancia que ten o propio circuíto.

1.2.7 Impedancia de entrada

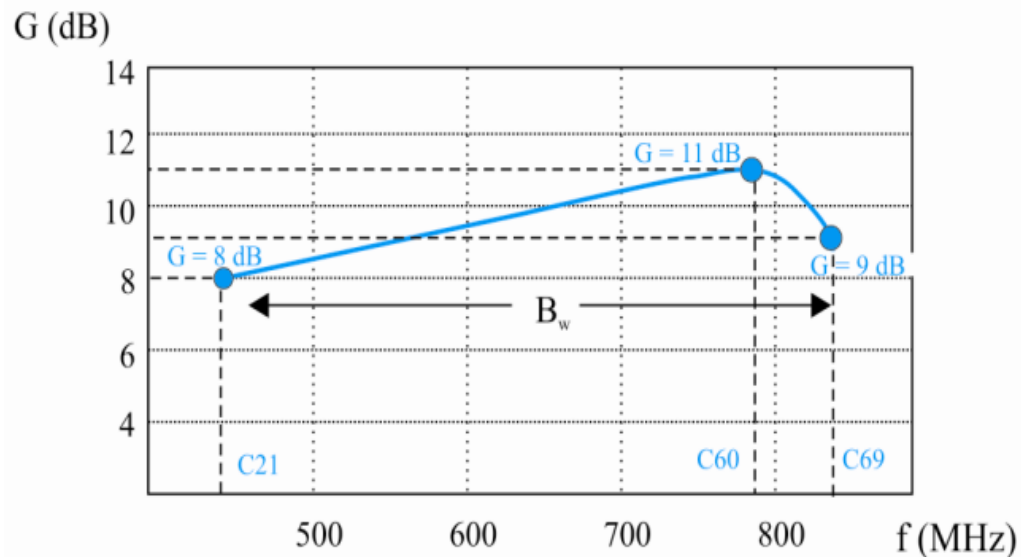
Defínese como a **impedancia** que presenta unha antena nos seus terminais, como a relación entre a tensión e a corrente eléctrica nos seus terminais ou como a relación das compoñentes dos campos eléctrico e magnético nun punto da antena.

1.2.8 Curva de resposta en frecuencia

O comportamento dunha antena depende da frecuencia, polo que o fabricante fornece a **curva de resposta en frecuencia** que permite identificar a ganancia máxima (directividad) para cada unha das frecuencias de funcionamento da antena.

Outro parámetro que proporciona a curva de resposta en frecuencia é o **ancho de banda da antena**, e dicir, a marxe de frecuencias que é capaz de captar a antena. Xeralmente especificase o **ancho de banda a -3dB**, definido como a marxe de frecuencias no que a ganancia da antena diminúe 3dB respecto da ganancia máxima.

3. Exemplo: A antena da figura está deseñada para recibir os canais das bandas IV e V, xa que capta as frecuencias que comprenden desde a canle 21 (470 – 478MHz) ata a canle 69 (854 – 862MHz). O ancho de banda a -3dB é, polo tanto, toda a UHF. A ganancia máxima da antena é de 11dB, o redor da canle 60 (782 – 790MHz). A ganancia máxima é de 8dB no extremo inferior da banda (470MHz). A ganancia no extremo superior da banda (canle 69) é de aproximadamente 9dB.

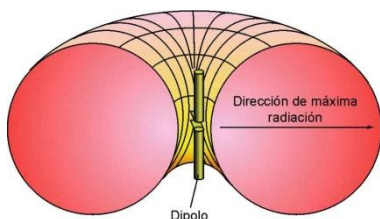


1.3 Antenas para radio e televisión terrestre

En realidade, existen numerosos modelos de antenas diferentes, polo que un estudo exhaustivo de todas excede. Sen embargo, resulta interesante coñecer aquelas que pódense atopar con maior frecuencia nas instalacións de televisión.

1.3.1 Dipolo simple o de Hertz

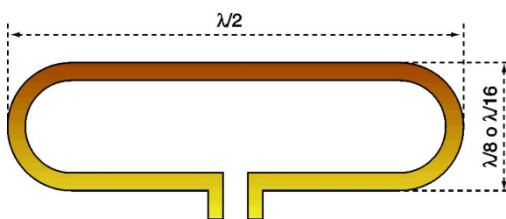
A antena básica por excelencia a constitúe o dipolo Hertz, utilizada directamente o como base de antenas de maior complexidade. Trátase dunha antena resoante a $\lambda/2$, polo que a súa lonxitude coincidirá con este valor. Para facilitar a alimentación, divídese en dous seccións iguais, aplicándose o sinal nos extremos interiores das varillas. No diagrama de radiación desta antena obsérvase cómo xera campos electromagnéticos en tódalas direccións, excepto na do eixe que contén a propia antena, e a súa dirección de máxima radiación á a perpendicular a este eixe. Pódese utilizar tanto en polarización vertical como horizontal, e a súa impedancia característica é de 75 ohmios. A súa reposta en frecuencia é gaussiana, e o ancho de banda depende da relación entre a lonxitude do dipolo e o diámetro da varilla utilizada, polo que a maior sección obteremos tamén unha anchura de banda mais elevada.



Dipolo simple e diagrama de radiación.

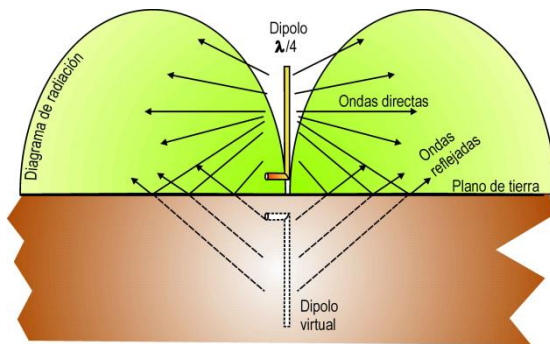
1.3.2 Dipolo pregado ou dobrado

É unha variante da antena de media onda na que únense os extremos exteriores do dipolo cunha sección de varilla paralela ao mesmo, resultando un dipolo de $\lambda/2$ cunha soa varilla dobrada e aberta na súa zoa inferior. As súas características fundamentais mantense, excepto o ancho de banda, que é mais elevado, e a impedancia, que vese incrementada ata 300 ohmios. O seu emprego xustifícase tamén porque para frecuencias baixas o tamaño da antena faise demasiado grande, e nestas condicións o dipolo simple presenta unha gran fragilidade mecánica. O dipolo dobrado é moito mais robusto, e soporta mellor a forza do vento.



1.3.3 Antena Marconi

Cando precísase unha antena de pequeno tamaño, pódese recorrer a antena Marconi. En realidade, trátase dunha das dúas varillas da antena de Hertz, habéndose cambiado a outra por un plano condutor colocado perpendicularmente a ela, polo que a antena resoa a un cuarto da lonxitude de onda. O efecto deste plano condutor (que pode ser continuo, formado por varillas metálicas radiais, ou o propio chan) é o dun espello para as ondas electromagnéticas. Os sinais radiados desde a antena cara a zoa inferior, serán reflectidas no

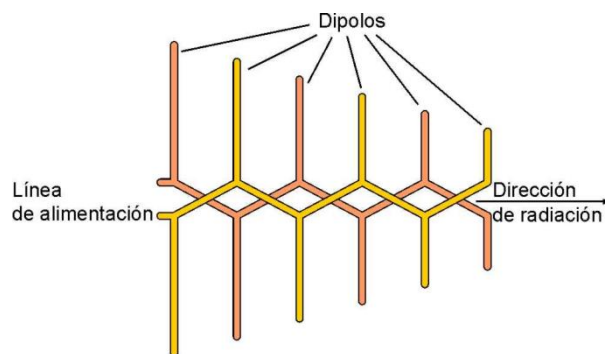


plano de terra, reorientándose por reflexión na mesma dirección que tomarían si houberan sido xeradas pola sección do dipolo que ha sido eliminada. Deste modo dispónse dun dipolo cuxa metade inferior é *virtual*, e que representa unha boa alternativa para xerar ou recibir sinais de polarización vertical. As súas características son basicamente as mesmas cas do dipolo simple.

As antenas maioritariamente utilizadas para a emisión e recepción de televisión están baseadas no dipolo simple ou dipolo dobrado, mentres as utilizadas en receptores de radio portátiles, transceptores, teléfonos móbiles e as que móntanse en vehículos adoitan ser antenas Marconi.

1.3.4 Antena logaritmico - periódica

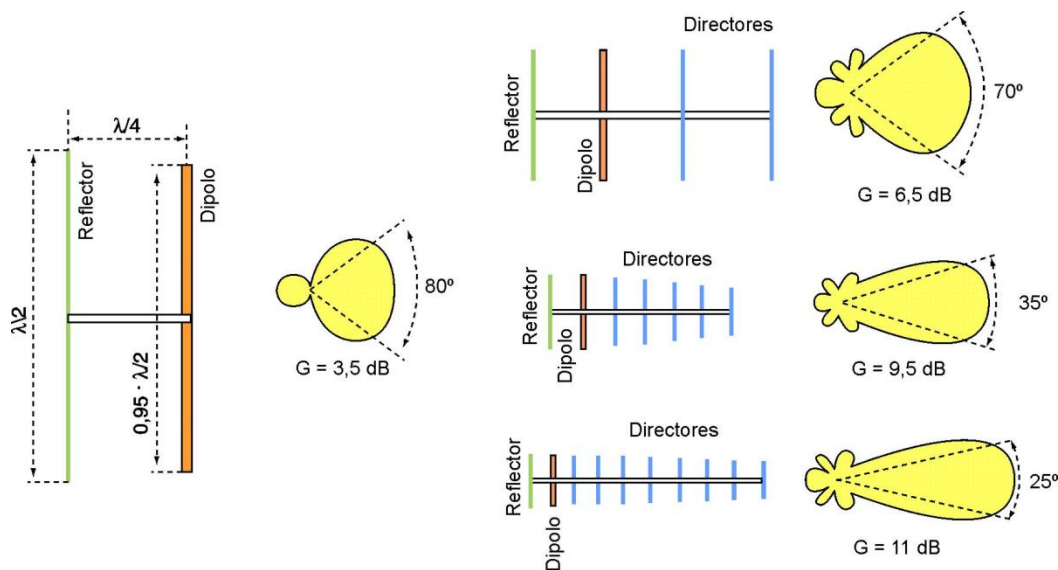
Cando necesítase unha antena cun gran ancho de banda, pódese recorrer a unha configuración como a antena logoperiódica. En realidade non é unha única antena, senón unha asociación de dipolos de media onda de tamaño e separación progresivamente crecente.



A alimentación desta antena é tal que, partindo dunha liña única, distribúese en contrafase entre dous dipolos adxacentes. O resultado é unha antena selectiva na dirección do dipolo de menor tamaño, e resoante a un gran marxe de frecuencias, producíndose diferentes mínimos de impedancia con separacións periódicas.

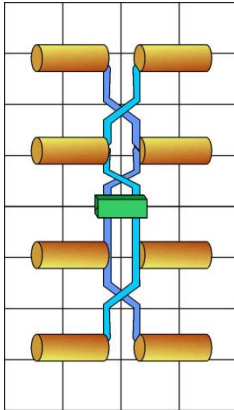
1.3.5 Antena Yagui

A antena mais utilizada na recepción de televisión é, seguramente, a antena de canal de ondas ou antena Yagui. Está formada por un dipolo, simple ou pregado, o cal acádense paralelamente unha serie de varillas metálicas que modificarán o seu diagrama de radiación orixinal. Estas varillas son elementos pasivos, é dicir, non están alimentados polo sinal, reaccionando unicamente a partires das ondas inducidas desde o dipolo. O tamaño destes elementos engadidos e a distancia de separación respecto do dipolo ou do elemento que precédelle determinarán o seu funcionamento. Así, usase unha varilla (ou un plano formado por varias varillas metálicas) de lonxitude lixeiramente maior ca do dipolo e separación típica de $\lambda/4$ respecto deste, que funcionará como **reflector** de ondas, polo que producirase unha redución do lóbulo de radiación na dirección na que colócase incrementando, ademais, a ganancia do lóbulo contrario. Se utilizamos unha varilla lixeiramente mais curta, e a situamos a unha distancia de $\lambda/8$ do dipolo, conseguiremos un elemento **director**, que alargará o diagrama de radiación, facéndoo mais directivo e con maior ganancia. Mentres que ao eliminar o campo nesa dirección non é útil empregar mais dun reflector, pódense montar múltiples elementos directores, reducíndose a apertura do feixe e incrementando a ganancia nesa dirección cada vez en maior medida. As dimensións expresadas son uno dos múltiples modelos existentes, podendo atopar antenas con diferentes medidas, separacións e incluso formas nos elementos ca integran. Mentres co dipolo é o único elemento alimentado pola liña de transmisión, o conxunto de reflector e directores conectarase a terra, a través da barra que serve de soporte do sistema.



Antenas Yagui e os seus diagramas de radiación.

1.3.6 Antenas de dipolos enfasados



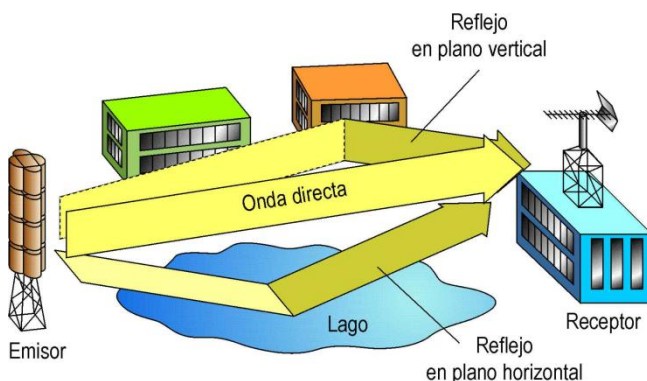
Si colocamos dous dipolos próximos un ao outro, e os alimentamos co mesmo sinal, observaremos cas antenas interactúan entre si, modificando o diagrama de radiación e a ganancia da antena orixinal. A forma na que modifícase as súas características depende da distancia de separación, utilizándose habitualmente estruturas que incrementan a directividad e, conxuntamente coa utilización dun reflector pasivo, conseguen aumentar considerablemente a ganancia no lóbulo resultante, sen utilizar directores. Ademais, ao empregar varios dipolos, a potencia aplicada repártese entre eles, resultando por iso especialmente aconsellable para sistemas de emisión. As antenas mais frecuentes fórmanse enfasando catro dipolos a través dunha liña de transmisión simétrica, obténdose ganancias duns 13 dB.

1.3.7 Solución de problemas con antenas enfasadas

Estas asociacións poden realizarse tamén con antenas Yagui, incrementando a ganancia e reducindo a apertura do feixe no plano da asociación. Un factor crítico nestes casos é a lonxitude do cable que une o mesturador coas antenas, que deberá ser exactamente igual para todas elas para garantir a suma en fase de todos os sinais recibidos.

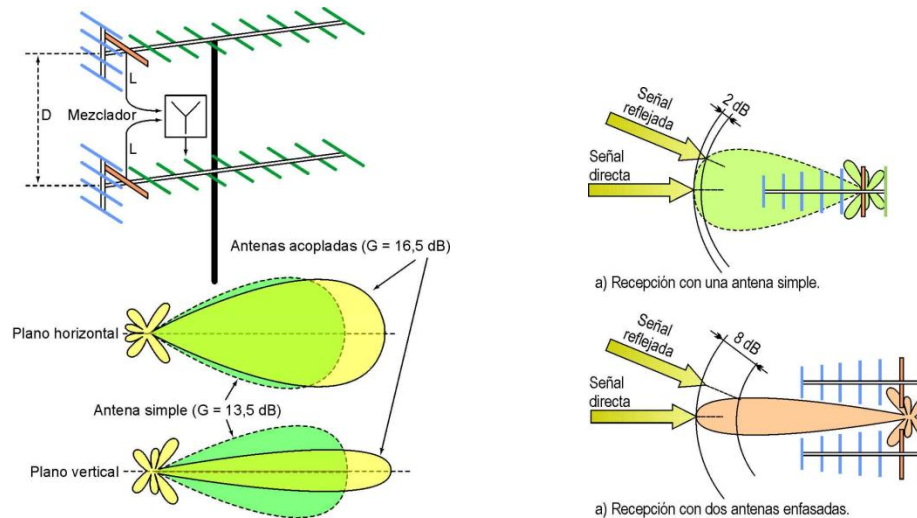
Precisamente o feito de estreitar o lóbulo principal dunha asociación de antenas confírelle unha utilidade interesante en instalacións receptoras, xa que podemos utilizala para evitar interferencias procedentes de reflexións, que provocarían dobres imaxes sobre a pantalla do receptor. As situacións mais frecuentes que podemos atopar son dous:

- **Reflexión no plano vertical.** Son as mais frecuentes en contornas urbanas, onde o sinal pode modificarse por un ambiente hostil, cheo de obstáculos verticais.
- **Reflexións no plano horizontal.** Habituais cando entre o emisor e o receptor existen grandes superficies planas, como lagos, tellados planos doutros edificios de menor altura e incluso o chan chaira. O efecto sobre la imaxe será o mesmo que no caso anterior, aínda que a solución adoptada será diferente.



Para solucionar a reflexión horizontal, podemos recorrer a utilizar dúas antenas Yagui iguais e enfasadas, de forma cas antenas colocaranse unha ao lado da outra, reducindo así o ángulo de apertura horizontal resultante. Para a reflexión vertical situaranse unha antena sobre a outra, estreitando o feixe verticalmente.

Paralelamente a este efecto, xeraranse lóbulos secundarios aos lados do feixe principal aparecendo puntos intermedios onde a radiación é nula. Modificando a distancia que separa as dúas antenas podemos cambiar a dirección destes nulos, ata facelos coincidir coa dirección do sinal interferente, polo ca antena reaccionará unicamente ante o sinal procedente da dirección principal solucionándose o efecto de dobre imaxe. O enfasamento das antenas presenta unha vantaxe engadida, xa que al concentrarse o feixe obtense unha ganancia adicional duns 3 dB na dirección do lóbulo principal.



Antenas enfasadas e diagramas de radiación. Reflexión lateral e solución con antenas enfasadas.

4. Caso Práctico1: Tódolos elementos que forman unha antena Yagui están relacionados coa lonxitude de onda do sinal que pretenden emitir ou recibir, a través duns poucos e sinxelos cálculos. Se desexamos construír unha antena para cubrir a banda V de televisión, deberemos seguir os seguintes pasos:

- **Frecuencia central:** A antena deberá resoar no centro da banda que desexamos cubrir. Como a banda V esténdese desde 606 MHz (canal 38) ata os 862 (canal 69), a súa frecuencia central será:

$$f_c = \frac{f_{\text{máx}} + f_{\text{min}}}{2} = \frac{862 + 606}{2} = 734 \text{ MHz}$$

Isto supón que deberemos calcular unha antena para unha frecuencia de 734 MHz.

- **Lonxitude de onda:** segundo estudamos:

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{734 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0.408 \text{ m} = 40.8 \text{ cm}$$

$C = \text{Velocidade de propagación.}$

- **Lonxitude eléctrica:** a nosa antena resoará a metade da lonxitude de onda do sinal:

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{0.408 \text{ m}}{2} = 0.204 \text{ m} = 20.4 \text{ cm}$$

- **Lonxitude física real:** aínda que teoricamente a varilla do dipolo debería ser de media onda de longo, razóns de tipo práctico aconsellan acurtar lixeiramente o dipolo, reducindo a súa lonxitude un 5%:

$$L_{real} = 0.95 L = 0.95 \cdot 0.204 = 0.194 \text{ m} = 19.4 \text{ cm}$$

- **Separación entre seccións do dipolo dobrado:** se nosa antena é un dipolo simple, a construiremos coas medidas obtidas no punto anterior. Pero se desexamos fabricar un dipolo dobrado, debemos de ter en conta a separación existente entre as dúas seccións ca forman. Esta distancia será un submúltiplo da lonxitude de onda que nos proporcione un tamaño adecuado para realizar a súa construción. Para a lonxitude de onda que obtemos, podería resultar válido:

$$e = \frac{\lambda}{8} = \frac{40.8 \text{ cm}}{8} = 5.1 \text{ cm}$$

Neste punto xa calculamos o tamaño do dipolo, que é o elemento mais complexo da antena, a continuación engadiremos os complementos que mellorarán o seu comportamento e a súa ganancia directiva.

- **Reflector:** O seu tamaño coincide co da lonxitude eléctrica da antena, no noso caso 20,4 cm. Estará separado do dipolo por unha distancia de $\lambda/4$, é dicir:

$$d_r = \frac{\lambda}{4} = \frac{40.8 \text{ cm}}{4} = 10.2 \text{ cm}$$

- **Directores:** O primeiro deles (o máis próximo ao elemento activo) será un cinco por cento mais curto co dipolo, e o resto medirá un cinco por cento menos co inmediatamente anterior. Se nosa antena ten, por exemplo, dous directores, as súas medidas serán:

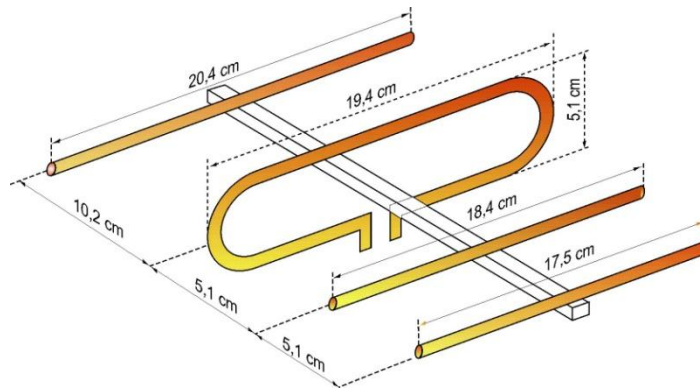
$$D_1 = 0.95 L_{real} = 18.4 \text{ cm}$$

$$D_2 = 0.95 D_1 = 17.5 \text{ cm}$$

En tódolos casos, a separación entre os directores ou entre o director e o dipolo será $\lambda/8$:

$$d_d = \frac{\lambda}{8} = \frac{40.8 \text{ cm}}{8} = 5.1 \text{ cm}$$

Unha vez rematados os cálculos, quedaría unha antena Yagui formada por un dipolo, un reflector e tres directores, segundo a configuración da figura.



5. Caso práctico: Deseña unha antena Yagui formada por un dipolo simple, un reflector e un director, e que cubra a banda IV de televisión.

– **Frecuencia central:**

$$f_c = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} = \frac{606 + 470}{2} = 538 \text{ MHz}$$

– **Lonxitude de onda:**

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{538 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0.557 \text{ m} = 55.7 \text{ cm}$$

– **Lonxitude eléctrica:**

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{0.557 \text{ m}}{2} = 0.279 \text{ m} = 27.9 \text{ cm}$$

– **Lonxitude física real:**

$$L_{\text{real}} = 0.95 L = 0.95 \cdot 0.279 = 0.265 \text{ m} = 26.5 \text{ cm}$$

– **Separación entre seccións do dipolo dobrado:**

$$e = \frac{\lambda}{8} = \frac{55.7 \text{ cm}}{8} = 6.9 \text{ cm}$$

– **Reflector:**

$$L_r = L = 27.9 \text{ cm}$$

$$d_r = \frac{\lambda}{4} = \frac{55.7 \text{ cm}}{4} = 13.9 \text{ cm}$$

– **Director:**

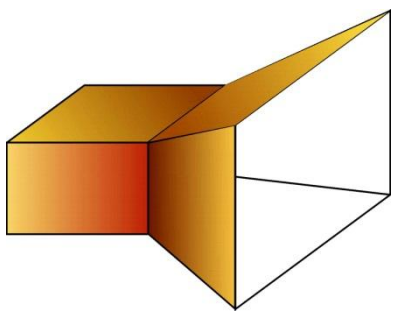
$$D_1 = 0.95 L_{real} = 25.2 \text{ cm}$$

$$d_d = \frac{\lambda}{8} = \frac{55.7 \text{ cm}}{8} = 6.9 \text{ cm}$$

1.4 Antenas para televisión vía satélite

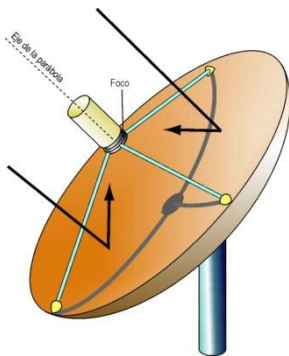
As transmisións por satélite presentan características diferentes das convencionais, xa que a frecuencia utilizada é moi superior, dificultando a construción de antenas clásicas polas súas reducidas dimensións. Este feito, unido a ca potencia que chega a superficie terrestre é dun nivel moito mais baixo, fai necesaria a utilización de sistemas específicos que proporcionen unha elevada ganancia e unha adecuada relación sinal - ruído a saída.

1.4.1 Antena de bucina



Este tipo de antena utilízase en frecuencias da banda SHF, onde o sinal aplícase a través dunha guía de ondas. En realidade, trátase dun ensanche desta guía, formando unha especie de embude, que pode ser circular, cadrado ou rectangular. As súas dimensións físicas determinarán, en relación coa lonxitude de onda do sinal procesado, os parámetros de ganancia, directividade vertical e horizontal, e apertura do feixe. Pódese atopar soa ou como elemento alimentador dun sistema con reflector parabólico.

1.4.2 Antena de foco primario



Basease na característica óptica da parábola de reflectir os sinais procedentes da dirección do seu eixe cara a un punto fixo, que chamamos foco da parábola. Neste punto situarase o elemento alimentador da antena, que pola banda de frecuencias nas que úsase será unha guía de ondas, que situará de forma enfrontada cara ao reflector parabólico. En realidade, o elemento activo da antena, que xerará o sinal a radiar, estará dentro da guía de ondas, emitíndose a través dunha antena de bucina ou outro dispositivo iluminador. A misión da parábola será reflectir e concentrar o sinal emitido, que se radiará con un ángulo de apertura de unicamente 1° o 2° .

Naturalmente, o principio de funcionamento é reversible, utilizándose tamén en antenas receptoras. A antena terá unha resposta unidireccional cun único lóbulo, mais estreito canto maior é o diámetro da antena. A ganancia da antena defínese pola ecuación:

$$G = 10 \log \frac{4 \pi A \eta}{\lambda^2}$$

Onde:

G = Ganancia da antena.

A = Superficie do reflector parabólico.

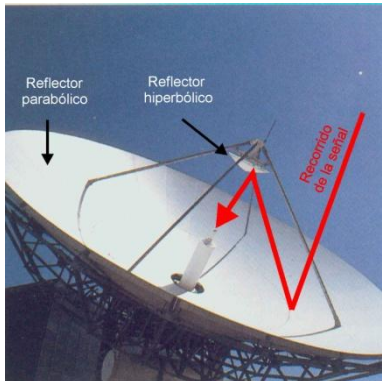
η = Rendemento da antena.

λ = Lonxitude de onda do sinal.

Dela despréndese ca ganancia aumenta co diámetro do reflector (superficie) e coa frecuencia do sinal (inversa a lonxitude de onda). O rendemento tamén é un parámetro importante, xa que para este tipo de antenas adoita estar entre 0.5 e 0.65, é dicir, cas perdas do sistema poden chegar a metade do sinal aplicado. Isto é debido a co sistema de alimentación presenta zoas de sombra sobre o reflector, o que diminúe o área efectiva.

1.4.3 Antena Cassegrain

Tamén chamada de dobre reflexión, supón unha variante sobre a antena de foco primario. Se supoñemos unha antena receptora, estará orientada na dirección de emisión. Ao incidir sobre un reflector parabólico, os sinais procedentes da dirección do eixe de orientación serán reflectidos cara ao foco da parábola.



Neste punto situarase agora un segundo reflector, de tamaño moito menor co primeiro, e que terá forma hiperbólica. A diferenza da parábola, este segundo reflector direcciona os sinais que cheganlle desde calquera dirección cara ao foco desta hipérbole. Este novo foco faise coincidir co vértice da parábola, e será alí onde concentraranse os sinais, recolléndolos nunha guía de ondas. A aplicación desta antena estará onde sexa necesaria unha antena de grandes dimensións, onde a zoa de sombra do segundo reflector non supón unha perda notable do rendemento. Neste caso, pódense obter factores de eficacia na contorna do 70% debido basicamente a dúas razóns: os erros do reflector parabólico corríxeos o segundo reflector, e o sistema de alimentación acúrtase e sitúase detrás do reflector.

A utilización de antenas Cassegrain está limitada na práctica as grandes antenas dos radiotelescopios, ou dos sistemas de emisión dos sinais cara ao satélite. Para as instalacións receptoras son mais adecuadas as configuracións de foco primario e, sobre todo, as de tipo Offset, por presentar unha elevada ganancia cun tamaño reducido.

1.4.4 Antena Offset

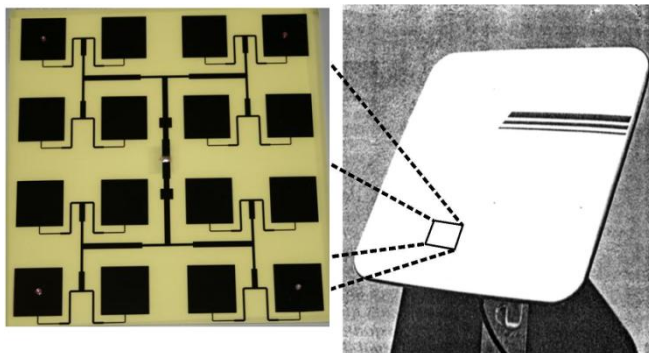
O principal problema das antenas parabólicas anteriores é a zoa de sombra dos elementos colocados no campo de visión, o que diminúe a cantidade de sinal útil da antena. Isto queda resolto se colocamos o sistema de alimentación fora da zona útil do reflector, o que conséguese coa antena de foco desprazado ou antena Offset.



Para entender o funcionamento tomemos unha antena de foco primario de gran tamaño, e seleccionemos unicamente unha zoa da metade superior do reflector. Para este anaco de reflector, o alimentador non presenta sombras, ao quedar por debaixo da zoa de visión o punto focal da antena orixinal. Isto supón que, ao eliminar as zoas de sombra, o rendemento sitúase na contorna do 80 %, incluso para antenas de pequeno tamaño. Por iso, a ganancia da antena aumenta case a metade se a comparamos cunha antena de foco primario, o que xustifica o seu alto grado de implantación. O único inconveniente é que, a diferenza das antenas anteriores, a dirección na que apunta a antena non é tan evidente, debéndose desprazar cara arriba, respecto do eixe aparente da antena. Isto supón que nas operacións de axuste deberase introducir unha corrección na elevación da antena, que proporciona o fabricante, como consecuencia de ter o foco desprazado da súa posición orixinal.

1.4.5 Antena plana

Na recepción de satélites de alta potencia pódense utilizar antenas planas, que utili-

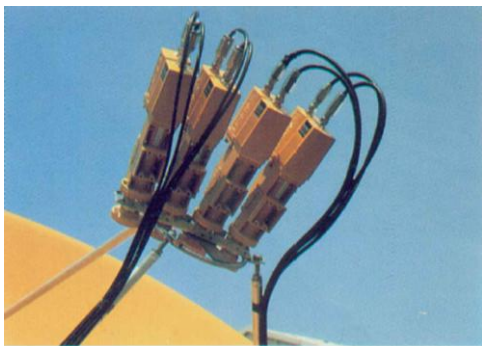


zan o principio de enfaseamento de dipolos que vimos noutros modelos. Se traballamos en frecuencias duns 12 GHz, a lonxitude do dipolo necesario para recibir o sinal é de só 1,2cm, polo que podemos colocar, nun espazo reducido, un gran número de pequenos dipolos unidos por unha rede de alimentación. Esta rede encargárase de sumar os sinais procedentes de tódalas pequenas antenas coa mesma

fase, presentando unha estrutura de árbore. Sen embargo, esta estrutura non pode crecer indefinidamente, posto que chega un momento no que o sinal aportado por un dipolo afastado do tronco principal de alimentación perdese nas propias liñas. Esta antena tamén pode utilizarse para recibir sinais de polarización circular, simplemente utilizando parellas de pequenos dipolos colocados en ángulo recto, para captar a polarización vertical e horizontal. Neste caso, as liñas de alimentación serán de lonxitude diferente para cada un dos dipolos do par, compensándose así as diferenzas de fase de chegada das diferentes polarizacións, obténdose un único sinal na saída.

1.4.6 Antenas multisatélite

Como norma xeral, as antenas para televisión vía satélite presentan un feixe moi



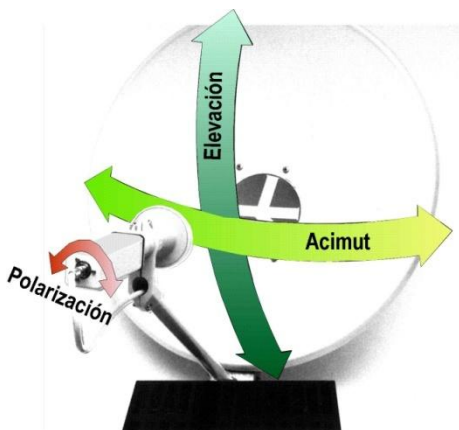
estreito; excepto as antenas planas, que poden ter un ángulo de apertura de ata 20°. Isto implica que se queremos recibir os sinais procedentes de varios satélites deberemos utilizar unha antena para cada un dos satélites que desexemos recibir, o que supón un notable encarecemento da instalación. Sen embargo, existe a posibilidade de utilizar unha soa antena para recoller os sinais procedentes de varios satélites, sempre que estes atópanse próximos entre si. Isto conséguese utilizando un soporte especial

que, situado no punto focal da parábola, permite montar varios dispositivos convertedores adxacentes. Así, segundo o fabricante do dispositivo multisatélite, poranse montar ata catro convertedores, recibindo o sinal doutros tantos satélites, sempre que se atopen nun arco duns 12°. Neste caso realízase o apuntamento do reflector parabólico cara ao satélite situado no centro do arco que desexase cubrir, ata que recíbese o sinal a través do convertedor central. Unha vez axustada a parábola, axustarase o resto dos convertedores modificando a seu ángulo de incidencia sobre a antena, ata que conségase recibir o sinal de todos eles. En realidade, o sistema comportase como unha antena de foco primario para o convertedor central, mentres que para o resto dos convertedores teremos antenas de foco desprazado. Por iso o convertedor situado no lado esquerdo do foco da parábola recibirá o sinal procedente do satélite colocado a dereita do arco que desexamos cubrir.

Ao haber aumentado o número de elementos na zona frontal da antena, a zona de sombra que ofrecen tamén será maior, polo que deberemos considerar un rendemento menor da antena, sendo aconsellable neste caso utilizar un reflector de maior superficie que se trata-se dunha antena de convertedor simple.

1.4.7 Apuntamento de antenas

Nos sistemas de antenas terrestres, para orientar as antenas receptoras bastará con orientar a antena cara o lugar no que sitúase o emisor, axustando a posición ata conseguir o mellor sinal co medidor de campo. Isto é sinxelo porque estas antenas teñen un feixe cuxa apertura soe estar entre 25° e 60°, recibindo sinal nun amplo marxe. Sen embargo, en antenas con reflector parabólico, onde a ganancia está moito mais concentrada, localizar o transpondedor dun satélite non resulta tan sinxelo, sobre todo en antenas de gran diámetro. Por iso debese utilizar un método sistemático para o apuntamento correcto.



Unha vez montada a antena sobre a súa base e ancorada esta no chan, deberemos estruturar o proceso de axuste, seguindo diferentes etapas que nos

axuden a un rápido e eficaz método de posta en marcha do sistema. O proceso de axuste da antena comeza pola polarización. Como estudamos, os sinais do satélite poden vir en diferentes tipos de polarizacións. No caso de polarizacións lineais, deberemos instalar os convertedores de acordo as polaridades que desexemos recibir. Se utilizamos un alimentador simple observaremos a posición do elemento activo, que deberá coincidir coa polarización que desexase recibir. Neste caso, para variar a polarización, bastará con xirar 90° o conxunto conversor-alimentador simple.

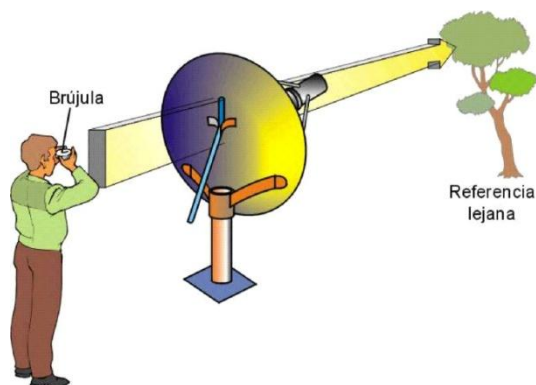
A continuación deberemos axustar a distancia focal da parábola. Esta distancia defínese coma a que separa o vértice da parábola e a entrada do alimentador, e depende da excentricidade da antena e do seu diámetro.

Naturalmente, o fabricante infórmanos da distancia focal óptima para cada antena, sendo en moitos casos determinada pola lonxitude dos soportes da unidade exterior.

O seguinte axuste será o que localizará o sinal procedente do satélite. Este método proporcionará un axuste sobre dous eixes: o horizontal, que chamamos acimut, e o vertical, denominado elevación. Para conseguir estes datos partiremos das coordenadas do punto onde queremos emprazar a antena (lonxitude e latitude, ver Anexo I) e do emprazamento do satélite dentro da órbita xeoestacionaria. A partir destes datos, estableceremos a diferenza entre a lonxitude da antena receptora e a posición orbital do satélite, segundo a fórmula:

$$D = \text{Lonxitude receptor} - \text{Pos. orbital del satélite}$$

Tomaranse como valores positivos aqueles que atópanse cara ao Este respecto do meridiano de Greenwich, mentres cos situados na dirección Oeste consideraranse con signo negativo. Se a diferenza obtida é positiva, suporá co satélite atópase mais cara ao Oeste ca posición do receptor, polo que o acimut da antena que mediremos cun compás será maior de 180°. Se polo contrario a diferenza é negativa, a coordenada horizontal será menor de 180°. A diferenza obtida levarase sobre o ábaco que aparece no Anexo II, onde tamén buscaremos a columna correspondente a latitude, obtendo así o valor da elevación e o acimut na que deberá apuntar a antena. Como xa comentamos, tomaremos o acimut positivo ou negativo segundo signo obtido na diferenza entre a lonxitude e a posición orbital.



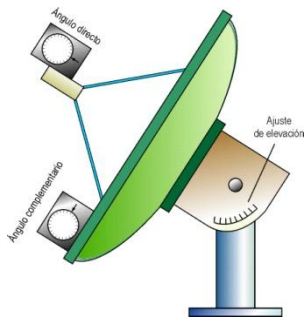
Unha vez realizado o cálculo preliminar, situaremos a antena de acordo coas coordenadas obtidas nas táboas, con axuda dun compás para o acimut e o inclinómetro para a elevación. Para realizar esta operación deberemos colocar o compás afastado de calquera superficie metálica, e con ela localizar un punto de referencia afastado, tal que establezamos unha liña recta entre a posición do compás e o obxecto de referencia, tendo dita liña o ángulo adecuado, e colocaremos o eixe da antena de forma que este contido en dita liña ou paralela a ela. De calquera modo, o apuntamento do acimut completárase no paso seguinte, debido a ca precisión necesaria non podería ser conseguida utilizando unicamente un compás.

6. Caso práctico: Cálculo das coordenadas de acimut e elevación dunha antena situada en Madrid, se queremos recibir o sinal do satélite Astra.

En primeiro lugar, deberemos coñecer a posición orbital do satélite Astra, situado en 19,2° Este, e as coordenadas da estación receptora. Madrid atópase a unha latitude de 40,6° Norte, e a 3,5° de lonxitude Oeste. Con estes datos estableceremos a diferenza satélite - receptor, obtendo o seguinte resultado:

$$D = \text{Lonxitude receptor} - \text{Pos. orbital do satélite} = (-3,5) - (19,2) = -22,7^\circ$$

De seguido levamos os datos diferenza e latitude sobre o gráfico do Anexo II. A partires do punto de intersección das coordenadas, seguimos o trazado ata chegar ao extremo dereito da cuadrícula, obtendo un valor de 33°. Como a diferenza era negativa, deberemos restar este ángulo a 180°, para conseguir o acimut (147°). A elevación correspondente é de 38°.



Para o axuste da elevación, procederemos a colocar o inclinómetro sobre a superficie do conversor, de xeito que quede paralelo ao eixe da antena, seleccionaremos o ángulo que desexamos obter e variaremos a elevación da antena ata ca lectura do aparello sexa correcta. Isto conséguese cando as liñas fixa e móbil coinciden. Neste momento teremos a antena apuntada correctamente. A precisión conseguida co inclinómetro é moito maior ca proporcionada polo compás, polo que o ángulo de elevación precisará menos retoques de axuste fino co acimut. Se o conversor non ten as caras paralelas ao eixe da antena, pódese axustar a elevación con axuda dunha regra ou un listón ríxido, que situaremos verticalmente no centro do reflector. Este listón será a base onde situaremos o inclinómetro, coa excepción de que deberemos engadir 90° ao valor orixinal, posto que estamos medindo o ángulo complementario a situación anterior.

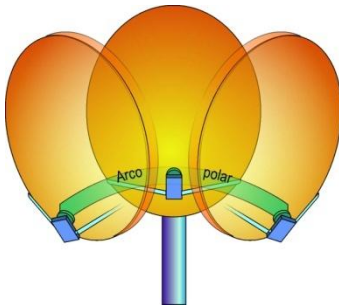


Aínda cos apuntamentos estean realizados correctamente, o normal é que aínda non pódase visualizar o sinal procedente do satélite, sobre todo se trátase de antenas de gran diámetro. Para completar o axuste do sistema, deberemos utilizar elementos de medida mais precisos, que permítanos obter unha reducida tolerancia na posición da antena. Para isto utilizaremos un medidor de campo de sinais de satélite, é dicir, que sexa capaz de traballar con frecuencias de ata 2 GHz aproximadamente, correspondentes ao valor da primeira frecuencia intermedia que entregan os dispositivos conversores situados na antena. Tódolos medidores de IV-SAT dispoñen de posibilidade de alimentar este conversor, polo que bastará con conectar o medidor ao conversor, seleccionar a tensión de alimentación que enviaremos polo cable, e o equipo estará listo para recibir sinal. Se o medidor non dispón de monitor colocaremos un externo para comprobar a calidade de recepción obtida.

O principio procederemos a varrer a zona do espazo próxima ao apuntamento indicado nas coordenadas. Esta operación deberá realizarse suavemente, movendo a antena horizontalmente dun lado ao outro, na contorna ao punto localizado de acimut e elevación, ao tempo que observamos o monitor. Nun momento determinado, aparecerá no monitor instantaneamente o sinal, volvendo a desaparecer se continuamos o movemento. Neste momento centraremos a antena sobre o sinal recibido, e retocaremos secuencialmente a elevación e o acimut na dirección na que consigamos un maior nivel de sinal, ata obter o máximo absoluto. Cando a parábola estea na mellor posición, procederemos ao axuste fino de tódolos elementos móbiles da antena (distancia focal, polarización, etc.), conseguindo así a mellor calidade de recepción e o maior nivel de sinal recibida. Este axuste final é moi importante, posto ca posición óptima do conxunto alimentador-conversor depende da zona do cinto de Clarke (órbita xeoestacionaria) na que atópase o satélite. Así, se vamos a recibir a polarización vertical do satélite Astra teremos que xirar o conversor lixeiramente no sentido anti horario (observando a antena desde a fronte). Isto débese a la inclinación da súa posición orbital desde o punto de vista do receptor, al atoparse no extremo dereito do arco polar.

A maioría dos medidores de campo dispoñen da posibilidade de emitir un ton audible, cuxa frecuencia é proporcional a cantidade de sinal recibida. Este ton será grave ante sinais de baixo nivel, volvéndose mais agudo canto maior sexa o sinal que chega ao medidor, polo que porase axustar sen necesidade de mirar continuamente a pantalla. É importante resaltar que no proceso de ancoraxe da antena débese observar continuamente a medida do sinal, xa ca fixación pode provocar desprazamentos da antena que provocarían unha diminución da cantidade de sinal recibido.

Un caso especialmente interesante de apuntamento de antenas prodúcese cando deséxanse recibir os sinais de tódolos satélites visibles desde o emprazamento da estación receptora. Neste caso dunha instalación colectiva é necesario, salvo as excepcións xa comentadas, a utilización dunha antena para cada un dos satélites a recibir, o que encarece a instalación a niveis dificilmente alcanzables. Sen embargo, en instalacións individuais existe unha solución de baixo custo, al non existir a necesidade de ter o sinal de tódolos satélites ao mesmo tempo.

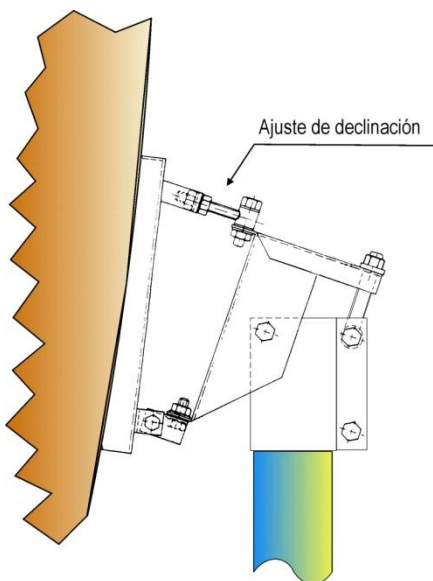


Para poder recibir os diferentes satélites situados no arco visible do cinto de Clarke, a antena debe ter un sistema de ancoraxe de tipo polar, é dicir, soportado por unha columna e coa posibilidade de incorporar o rotor. O movemento que realiza a antena no seu recorrido é tal que realízase un correcto varrido dos satélites, modificando conxuntamente o acimut, a elevación e a posición do alimentador para unha correcta recepción da polarización correspondente. Isto conséguese provocando o cabeceo da antena sobre un eixe inclinado segundo un ángulo de compensación. Aínda que a este ángulo denomínaselle as veces declinación, non debe confundirse coa declinación magnética terrestre, posto que trátase da modificación do ángulo de elevación da antena segundo cambia a seu acimut. Por esta razón tamén coñéceselle como **compensación do eixe polar**. Este axuste, presente unicamente nas antenas con rotor, depende da latitude na que emprázase a antena receptora, situándose nuns 5.6° nas illas Canarias, e entre 5.9° e 6.7° para o resto de España, como pode observarse no Anexo I.

Para realizar o apuntamento deste tipo de antenas, realízase primeiro o axuste da declinación. Este axuste supón unha corrección do arco que describirá a antena no seu recorrido, e o seu valor obtense a partir do Anexo I. Tras este axuste, configúrase o apuntamento para un satélite hipotético que requira un acimut de 180° , é dicir, ca antena apunte cara ao Sur. Nestas condicións prodúcese a máxima elevación de todo o arco polar. A partires desta posición, moveremos o rotor da antena nun dos dous sentidos (por exemplo, cara ao Este) ata localizar o satélite mais próximo ao punto de orixe, retocando o acimut e/ou a elevación ata optimizar a recepción. A seguinte operación será mover o actuador da antena cara o lado oposto (o Oeste neste caso) para localizar o satélite mais próximo nesa dirección, realizando unha nova optimización. Procederemos de seguido a desprazar a antena de novo cara ao Este, primeiro, e ao Oeste despois, abrindo en cada operación a zona de varrido, realizando axustes cada vez mais finos de acimut e elevación ata conseguir a correcta recepción de todos eles.

Se ao retocar a posición perdemos un satélite axustado previamente, será debido a ca antena, no seu percorrido, non segue exactamente a curva correspondente ao arco polar, polo que será necesario retocar a declinación e comezar o proceso novamente.

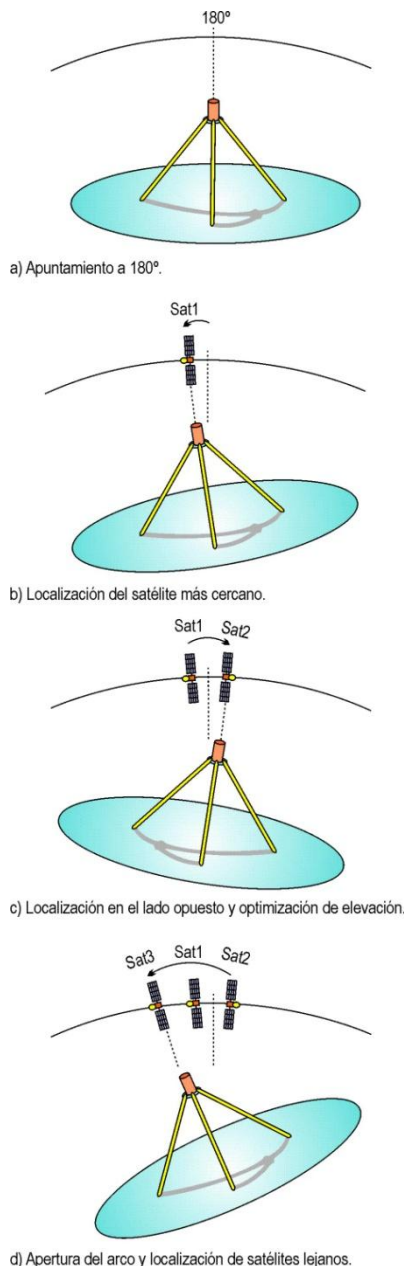
7. Caso práctico: Supoñamos que queremos axustar unha antena polar para que reciba tódolos satélites nunha instalación individual situada en Barcelona. O proceso a realizar sería o seguinte:



1.º Declinación del eixe polar: Con axuda do Anexo I desta unidade podemos comprobar ca localidade de Barcelona atópase, aproximadamente, nunha latitude de 41° Norte. Do mesmo gráfico obteremos o ángulo de declinación do eixe polar, que neste caso é de $6,4^\circ$. Con este dato procederemos a axustar a antena. A forma concreta de realizar este axuste varía dunha antena a outra. Nalgunhas antenas atoparemos unha escala angular graduada sobre a peza de axuste, resultando moi sinxela esta operación. Se non dispón dela, podemos medir o ángulo do soporte nun lugar previo a corrección, a este ángulo lle sumaremos o de declinación, resultando o valor que deberemos seleccionar para o plano corrixido. Unha terceira forma xorde coa utilización dun transportador de ángulos, que permitiranos medir directamente o ángulo de compensación do eixe polar.

2.º Apuntamento da antena: Como xa comentamos, a antena orientarase con acimut Sur, é dicir, apuntada cara unha dirección de compás de 180° . Para o ángulo de elevación tomaremos os 41° correspondentes a latitude do receptor. Neste punto deberemos

recordar que este dato é válido directamente no caso de utilizar antenas de foco primario, mentres que en antenas Offset deberá ser corrixido na medida co fabricante indíquenos. Unha vez levados sobre a antena os ángulos de acimut e elevación, fixaremos os parafusos para evitar que desaxusten durante as labores posteriores.



a) Apuntamiento a 180°.

b) Localización del satélite más cercano.

c) Localización en el lado opuesto y optimización de elevación.

d) Apertura del arco y localización de satélites lejanos.

3.º Localización de satélites cercanos: Conectaremos ahora un medidor de campo a la antena, e o configuraremos para visualizar o espectro na banda de recepción do satélite. Como en 180° non existe ningún satélite, inicialmente non recibiremos lecturas de portadoras no equipo de medida. Activaremos agora o rotor da antena lixeiramente, na dirección na que atópase o satélite máis próximo (xeralmente o sector Este ten máis cantidade de satélites). Se existen dificultades na súa localización, retocaremos lixeiramente o ángulo de elevación ata atopalo. Anotaremos o valor de potencia das portadoras recibidas no medidor de campo.

Tras esta operación desprazaremos a antena cara a o lado oposto (Oeste), ata chegar ao satélite máis próximo nesa dirección. Mediremos o valor de potencia dos seus sinais e os compararemos coas do primeiro satélite recibido. Se non son aproximadamente iguais (e existe unha notable diferenza na calidade de imaxe) será debido a un erro no apuntamento do acimut da antena, polo que reaxustaremos este parámetro ata cos dous satélites teñan valores de sinal similares, aínda que non sexan os máximos absolutos que pódense conseguir en cada un deles independentemente. Tras este axuste deberemos comprobar de novo o ángulo de compensación do eixe polar, e retocalo en caso de que modificara o seu valor inicial, iniciando o proceso de axuste dende o principio.

4.º Optimización de elevación: Se recibimos as sinais dos dous satélites cercanos a 180° con potencias similares, podemos mellorar a calidade de recepción axustando o ángulo de elevación ata conseguir o máximo absoluto de sinal recibida en ambos dous. Se o apuntamento inicial cara o Sur foi correcto, a optimización afectará aproximadamente por igual a os dous satélites. Se isto non é así deberemos volver ao paso 2 e reaxustar a posición de acimut a 180°.

5.º Localización de satélites afastados: Unha vez que recibimos correctamente os satélites máis cercanos ao Sur, iremos abrindo o arco que describimos coa antena, e comprobando a recepción dun maior número de satélites. Se un satélite (ou varios) dun mesmo lado recíbense mellor cos do lado oposto, significa ca cabeza non está ben orientada cara o Sur. Polo contrario, se as diferenzas de recepción prodúcense entre os satélites próximos a 180° e aqueles que atópanse nos extremos do arco polar, será síntoma de desaxuste no ángulo de compensación do eixe polar. Este problema provoca que, no seu

percorrido, a antena realice un arco máis acentuado (se o ángulo de declinación é maior co correcto) ou máis plano co arco polar, polo que só recibimos os satélites que atópanse cerca da intersección de ambos dous arcos. Naturalmente, ante este problema deberemos retocar o ángulo de declinación do eixe polar da antena, e iniciar o proceso de axuste para conseguir unha correcta recepción de todos os satélites.

1.5 Outros tipos de Antenas

1.5.1 Antenas Sectoriais

As antenas sectoriais tamén empélanse nas estacións bases, onde ofrecen vantaxes adicionais como, mellor ganancia (a expensas de cubrir unha zoa mais restrinxida) e posibilidade de inclinalas para dar servizo as zoas de interese. Combinando varias antenas sectoriais pódese dar cobertura en todo o plano horizontal, con mellor ganancia ca ofrecida por unha omnidireccional, pero a maior custo.

Normalmente, unha antena sectorial ten unha ganancia mais alta cas antenas Omnidireccionais (no rango de 10 - 19 dBi). Este tipo de antena usase xeralmente para servir radios de 15 km.

Un valor común de ganancia para unha antena sectorial é de 14dBi para un ancho do feixe horizontal duns 90° e un ancho do feixe vertical de 20°.



Antena sectorial.

Unha antena de Sectorial pódese construír usando una antena omnidireccional e un reflector en forma de V.

A seguinte figura amosa un típico diagrama de radiación dunha antena sectorial. O diagrama de radiación horizontal amosa ca maior parte da enerxía é irradiada na parte frontal da antena. Unha parte moi pequena da enerxía é irradiada na parte traseira da antena sectorial. O patrón de radiación vertical é moi similar a unha antena Omnidireccional onde o ancho do feixe é moi estreito, normalmente non é mais grande que 20°.

Tipicamente, unha antena sectorial esta montada nunha torre alta, lixeiramente inclinada para poder servir a un area xusto debaixo dela.

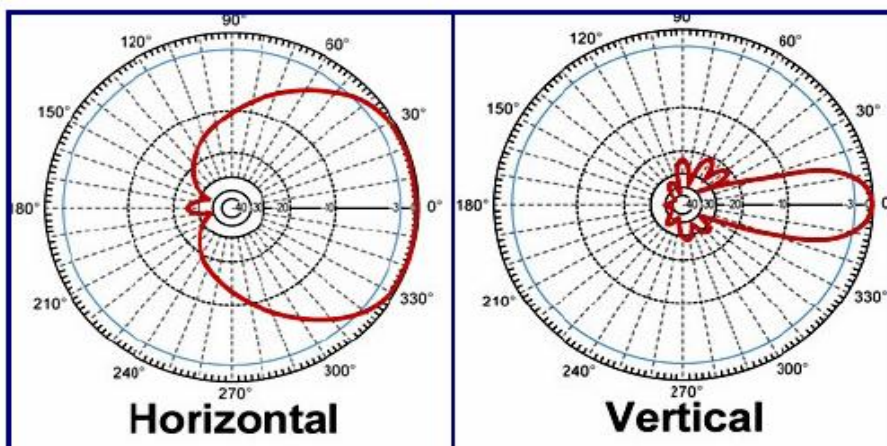


Diagrama de radiación dunha antena sectorial.

1.5.2 Antena guía - onda

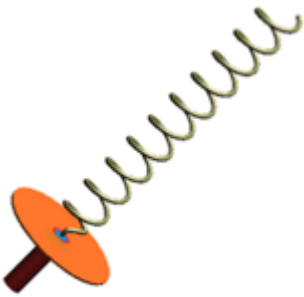
Esta antena é a mais fácil de construír para a banda de 2,4 GHz e presenta un excelente rendemento, con ganancias de ata 12 dBi.



Antena guía - onda.

1.5.3 Antena helicoidal

A antena helicoidal produce unha onda con polarización circular, que ten a vantaxe de non cambiar a súa polarización cando reflíctese nalgún obxecto. Isto é unha vantaxe cando pretendese aproveitar esas reflexións. Cando establecece un enlace entre unha antena de polarización circular e unha de polarización lineal (vertical ou horizontal) as perdas por desadaptación son de 3 dB.



Antena helicoidal.

1.5.4 Antena de ranura

Pode parecer paradoxico que unha ranura ou orificio poda funcionar como antena. Sen embargo, cando tense unha guía de onda, unha ranura de media lonxitude de onda comportase exactamente como un dipolo de media onda. Combinando de xeito adecuado varias destas ranuras pódese obter diferentes patróns de radiación, incluíndo antenas sectoriais de 180° ou inclusive omnidireccionais.

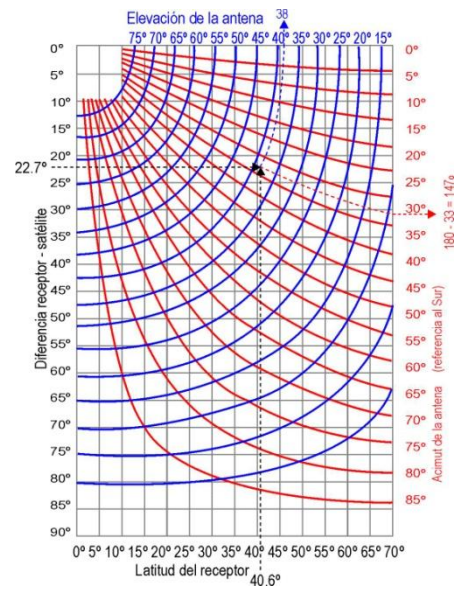


Antena de Ranura.

Anexo I



Anexo II



Coordenadas geográficas de las capitales españolas y datos de orientación hacia los satélites Astra, Hot Bird e Hispasat

Ciudad	Coordenadas		Astra (19 ° E)		Hot Bird (13 ° E)		Hispasat (30 ° W)	
	Longitud	Latitud	Elevación	Acimut	Elevación	Acimut	Elevación	Acimut
Albacete	1,9 ° W	39 °	40 °	149 °	42 °	157 °	36 °	220 °
Alicante	0,5 ° W	38,3 °	41 °	150 °	43 °	159 °	36 °	222 °
Almería	2,5 ° W	36,8 °	42 °	146 °	44 °	155 °	38 °	221 °
Ávila	4,7 ° W	40,6 °	37 °	146 °	39 °	154 °	36 °	216 °
Badajoz	7 ° W	38,9 °	37 °	142 °	40 °	150 °	39 °	214 °
Barcelona	2,2 ° E	41,4 °	39 °	155 °	41 °	163 °	32 °	224 °
Bilbao	2,9 ° W	43,3 °	35 °	149 °	37 °	157 °	33 °	217 °
Burgos	3,6 ° W	42,3 °	36 °	148 °	38 °	158 °	34 °	216 °
Cáceres	6,4 ° W	39,5 °	37 °	143 °	40 °	151 °	38 °	215 °
Cádiz	6,3 ° W	36,5 °	40 °	141 °	43 °	149 °	41 °	216 °
Castellón	0 °	40 °	40 °	151 °	42 °	160 °	34 °	222 °
Ceuta	5,3 ° W	35,8 °	41 °	142 °	43 °	151 °	41 °	219 °
Ciudad Real	3,9 ° W	39 °	39 °	146 °	41 °	154 °	37 °	218 °
Córdoba	4,8 ° W	37,9 °	39 °	144 °	42 °	152 °	39 °	218 °
Cuenca	2,1 ° W	40,1 °	39 °	149 °	41 °	157 °	36 °	219 °
Gerona	2,8 ° E	42 °	39 °	156 °	40 °	164 °	31 °	224 °
Granada	3,6 ° W	37,2 °	41 °	145 °	43 °	153 °	39 °	219 °
Guadalajara	3,2 ° W	40,1 °	38 °	148 °	40 °	156 °	36 °	218 °
Huelva	7 ° W	37,3 °	39 °	141 °	42 °	149 °	41 °	215 °
Huesca	0,4 ° W	42,1 °	37 °	152 °	39 °	160 °	33 °	220 °
Jaén	3,8 ° W	37,8 °	40 °	145 °	43 °	154 °	38 °	219 °
La Coruña	8,4 ° W	43,4 °	33 °	143 °	35 °	150 °	35 °	210 °
Las Palmas	15,4 ° W	28,1 °	40 °	124 °	44 °	130 °	53 °	209 °
León	5,5 ° W	42,2 °	35 °	145 °	38 °	153 °	35 °	214 °
Lérida	0,6 ° E	41,6 °	38 °	153 °	41 °	161 °	33 °	222 °
Logroño	2,5 ° W	42,5 °	36 °	150 °	38 °	158 °	34 °	218 °
Lugo	7,6 ° W	43 °	34 °	144 °	36 °	151 °	35 °	211 °
Madrid	3,7 ° W	40,5 °	38 °	147 °	40 °	155 °	36 °	217 °
Málaga	4,4 ° W	36,7 °	41 °	144 °	43 °	152 °	40 °	219 °
Melilla	3 ° W	35,3 °	43 °	145 °	45 °	154 °	40 °	221 °
Murcia	1,1 ° W	38 °	41 °	149 °	43 °	158 °	37 °	222 °
Orense	7,9 ° W	42,4 °	34 °	143 °	37 °	151 °	36 °	211 °
Oviedo	5,8 ° W	43,4 °	34 °	146 °	37 °	154 °	34 °	213 °
Palencia	4,5 ° W	42 °	36 °	146 °	39 °	155 °	35 °	215 °
Palma de Mallorca	2,7 ° E	39,6 °	41 °	155 °	43 °	164 °	33 °	225 °
Pamplona	1,6 ° W	42,8 °	36 °	151 °	39 °	159 °	33 °	219 °
Pontevedra	8,7 ° W	42,4 °	34 °	142 °	37 °	150 °	36 °	210 °
Salamanca	5,7 ° W	41 °	36 °	145 °	39 °	153 °	37 °	215 °
Sta. Cruz de Tenerife	16,3 ° W	28,5 °	39 °	124 °	44 °	129 °	54 °	207 °
Santander	3,8 ° W	43,5 °	35 °	148 °	37 °	157 °	33 °	216 °
San Sebastián	2 ° W	43,3 °	36 °	151 °	38 °	157 °	33 °	218 °
Segovia	4,1 ° W	41 °	37 °	147 °	40 °	154 °	36 °	217 °
Sevilla	6 ° W	37,4 °	39 °	142 °	43 °	151 °	40 °	216 °
Soria	2,5 ° W	41,8 °	37 °	149 °	39 °	158 °	34 °	218 °
Tarragona	1,3 ° W	41,1 °	38 °	150 °	41 °	162 °	34 °	220 °
Teruel	1,1 ° W	40,3 °	39 °	150 °	41 °	159 °	35 °	220 °
Toledo	4 ° W	40 °	38 °	146 °	41 °	155 °	37 °	217 °
Valencia	0,3 ° W	39,3 °	40 °	151 °	42 °	160 °	35 °	222 °
Valladolid	4,7 ° W	41,7 °	36 °	146 °	39 °	155 °	35 °	215 °
Vitoria	2,7 ° W	42,9 °	36 °	149 °	38 °	158 °	33 °	217 °
Zamora	5,8 ° W	41,5 °	36 °	145 °	39 °	153 °	36 °	214 °
Zaragoza	0,9 ° W	41,7 °	38 °	151 °	40 °	160 °	34 °	220 °