

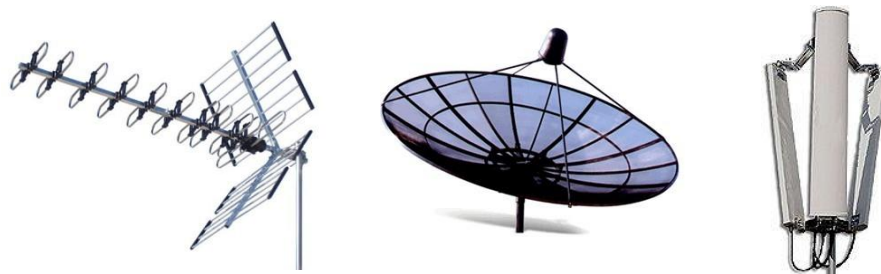
TEMA 4: ANTENAS

1. INTRODUCCIÓN	2
2. DIAGRAMA DE RADIACIÓN.....	3
2.1. CLASIFICACIÓN DAS ANTENAS SEGUNDO O DIAGRAMA DE RADIACIÓN	4
3. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DAS ANTENAS.....	6
3.1. GANANCIA.....	6
3.2. ANCHURA DO FEIXE E RELACIÓN ADIANTE ATRÁS.....	7
3.4. POLARIZACIÓN	8
3.5. IMPEDANCIA	8
4. MEDIDAS DE RADIACIÓN. FACTOR DE ANTENA.....	9
5. TIPOS DE ANTENAS.....	12
5.1. DIPOLO SIMPLE.....	12
5.2. DIPOLO DOBRADO	14
5.3. ANTENA MARCONI OU DIPOLO DE $\lambda/4$	15
5.4. DIPOLO CURTO	17
5.5. ANTENA LOGOPERIÓDICA.....	17
5.6. ANTENA YAGI OU YAGI-UDA	18
5.7. BUCINAS.....	19
5.8. ANTENAS PARABÓLICAS.....	20
5.9. ANTENAS PLANAS (PATCH) E SECTORIAIS	25
5.10. ANTENA DE GUÍA DE ONDA.....	25
5.11. RANURAS	26
5.12. ANTENAS MULTISATÉLITE	26
6. ARRANXOS DE ANTENAS.....	28
7. TÉCNICAS MIMO	29
8. POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE)	31
9. POTENCIA RADIADA APARENTE (PRA)	33
10. PRESUPOSTO DE POTENCIA DUN RADIOENLACE.....	33

1. INTRODUCCIÓN

As Antenas son as partes dos sistemas de telecomunicación especificamente deseñadas para radiar ou recibir ondas electromagnéticas. Poden definirse como os dispositivos que **adaptan as ondas guiadas**, que se transmiten por liñas de transmisión, **ás ondas que se propagan no espazo libre**.

Os sistemas de Comunicacóns utilizan antenas para realizar enlaces punto a punto, difundir sinais de televisión, radio, telefonía móbil, redes inalámbricas ou ben, transmitir ou recibir sinais en equipos portátiles.



A teoría das antenas xorde a partir dos desenvolvementos de Maxwell, en torno 1850, corroborados polos experimentos de Hertz, en 1887. Os primeiros sistemas de radiocomunicacións de Nikola Tesla e Guglielmo Marconi aparecen na última década do século XIX. A primeira comunicación transoceánica faise en 1901, dende Cornualles a Terranova. En 1907 xa existían servizos comerciais de comunicacións.

Até os anos 40, a tecnoloxía das antenas centrouse en frecuencias até UHF. Inicialmente utilizábanse frecuencias de transmisión entre 50 e 100 kHz, polo que as antenas eran pequenas comparadas coa lonxitude de onda. Tras o descubrimento do tríodo, primeiro amplificador electrónico, e os osciladores de máis alta frecuencia empezase a traballar a frecuencias entre 100 kHz e algúns MHz, con tamaños de antenas xa comparables á lonxitude de onda.

A partir da Segunda Guerra Mundial desenvolvéronse novos elementos radiantes (guías de ondas, bocinas, reflectores). Unha contribución importante foi o desenvolvemento dos xeradores de microondas (como o magnetron ou o klystron) que permiten traballar con frecuencias superiores a 1 GHz.

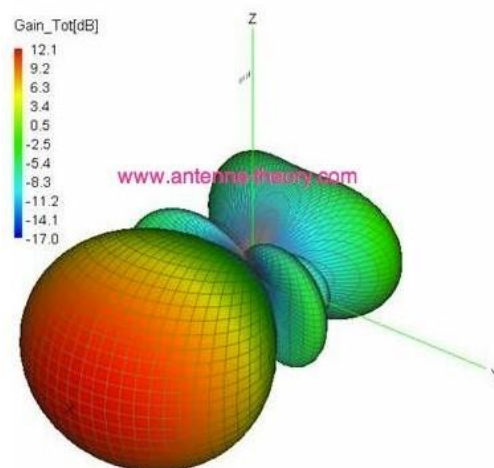
Nas décadas de 1960 a 1980 os avances en arquitectura e tecnoloxía de computadores tiveron un gran impacto no desenvolvemento da moderna teoría de antenas. Os métodos numéricos desenvolvidos a partir de 1960 permitiron a análise de estruturas inabordables por métodos analíticos.

Mentres que no pasado as antenas eran unha parte secundaria no deseño dun sistema de comunicacións, na actualidade xogan un papel crítico.

2. DIAGRAMA DE RADIACIÓN

O diagrama de radiación dunha antena é a representación gráfica das características de radiación en función da dirección.

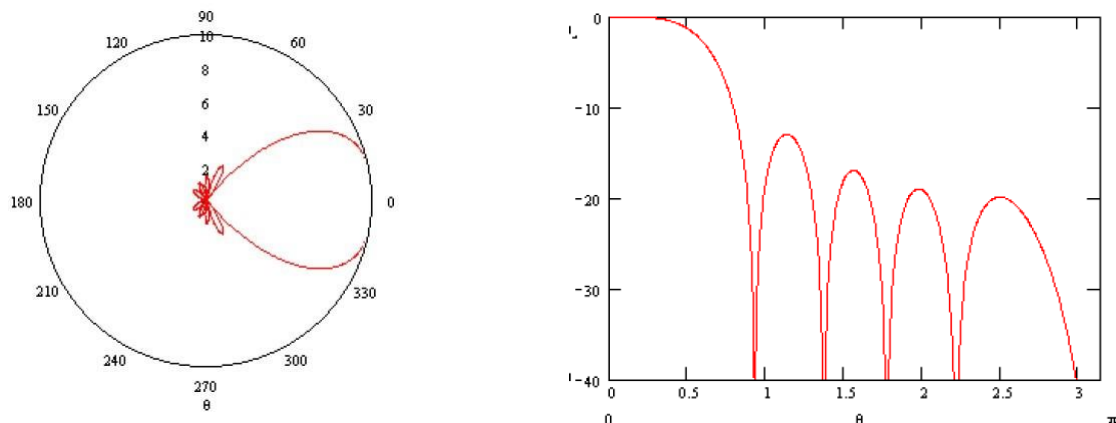
Pódese representar o campo eléctrico ou a densidade de potencia radiada aínda que o máis común é representar a relación, expresada en dB, entre a potencia radiada nesa dirección respecto da dirección de máxima radiación. As formas de representación poden ser tridimensionais ou bidimensionais, en escalas lineal ou logarítmica. A figura da dereita é a representación tridimensional dos campos radiados por unha antena.



Dada a dificultade de representar graficamente e de ler o diagrama tridimensional óptase por representar cortes do mesmo en diagramas polares ou cartesianos. Os cortes corresponden á intersección deste diagrama tridimensional con planos. Xeralmente o comportamento das antenas reais non é totalmente simétrico polo que se fai necesario proporcionar varios cortes. O mais común é que sexan dous cortes, un correspondente ao corte cun plano vertical e outro correspondente ao corte cun plano horizontal xa que con estes dous cortes acadamos unha boa comprensión da zona de cobertura proporcionada pola antena.

No caso da figura o comportamento da antena nos planos vertical e horizontal sería moi similar, polo menos na zona de alta radiación, polo que con un único

este corte teremos xa unha idea bastante aproximada do comportamento da antena. Na seguinte figura poden verse estes cortes do diagrama de radiación, tanto en diagrama polar como en cartesiano.



As antenas presentan un comportamento moi interesante coñecido como reciprocidade. Isto significa que o comportamento das antenas, dende o punto de vista do seu diagrama de radiación, é exactamente igual en emisión que en recepción. O diagrama de radiación expresa como distribuirá a potencia nas diferentes direccións a antena ao ser alimentada por un emisor e, do mesmo xeito, como captará a antena as potencias provenientes das diferentes direccións.

2.1. CLASIFICACIÓN DAS ANTENAS SEGUNDO O DIAGRAMA DE RADIACIÓN

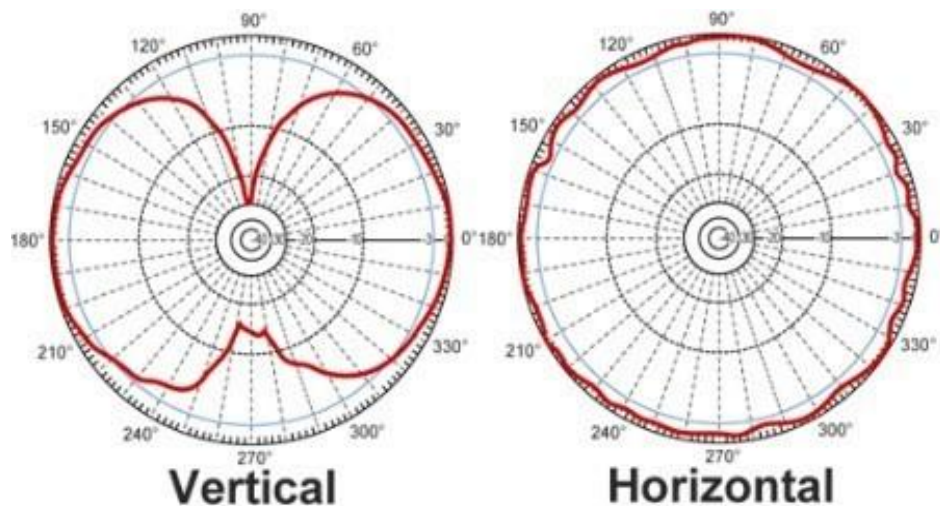
A maior parte das antenas poden clasificarse, segundo o seu diagrama de radiación en tres grupos: **omnidireccionais, direccionais e sectoriais.**



2.1.1. OMNIDIRECCIONAIS

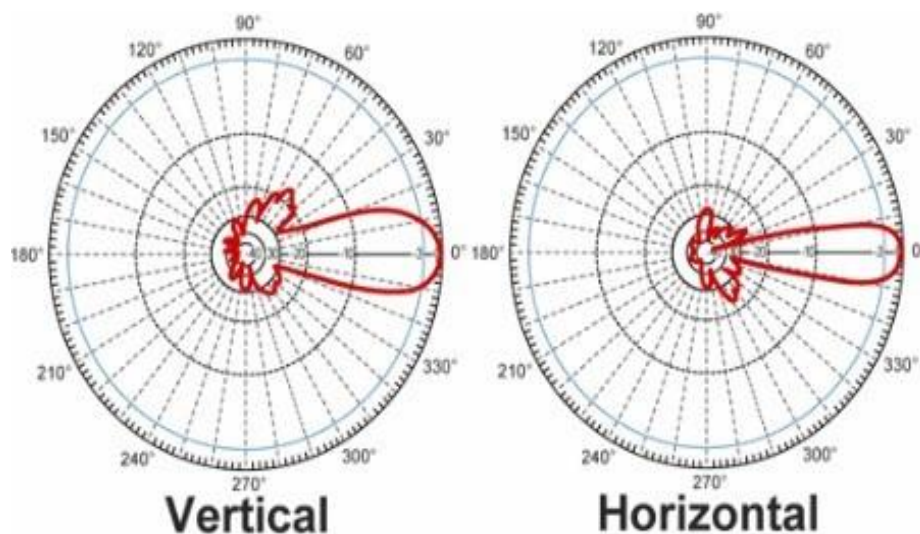
Son as antenas que radian ou reciben radiación máis ou menos por igual en todas direccións. Son as antenas que se deben empregar cando se descoñecen as posicións das demais estacións de radio ou cando estas están en movemento. Tamén se empregan en baixas frecuencias onde as antenas direccionais resultarían enormes.

En xeral cando falamos de antenas omnidireccionais referímonos ás que emiten de xeito homoxéneo no plano horizontal xa que en xeral non resulta interesante emitir potencia contra o chan e o ceo xa que esta será desperdiciada na súa totalidade. Unha antena que radia uniformemente en todas as direccións recibe o nome de **isotrópica** é resulta, ademais de pouco útil, practicamente imposible de construír.



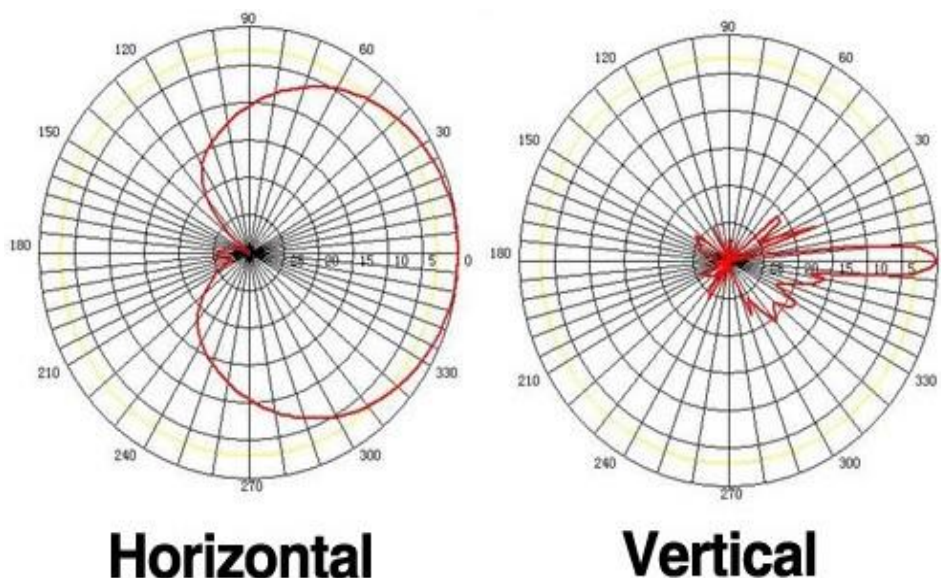
2.1.2. DIRECCIONAIS

Unha antena direccional (tamén chamada unidireccional ou directiva) é unha antena capaz de concentrar a maior parte da enerxía radiada nunha dirección máis ou menos estreita. Deste xeito aumenta a potencia emitida cara ao receptor, ou recibida dende a fonte, evitando ademais no caso da recepción as interferencias introducidas por fontes non desexadas.



2.1.3. SECTORIAIS

As antenas sectoriais poden considerarse un caso particular de antenas direccionais cun feixe de máxima radiación relativamente ancho, entre 60° e 120° . Este tipo de antenas son moi comunmente empregadas en estacións base de telefonía móbil e outros tipos de comunicacións móbiles onde se require a cobertura de zonas extensas. Adoitan empregarse para cubrir zonas en torno aos 4 ou 5 km.



3. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DAS ANTENAS.

3.1. GANANCIA

A **ganancia** dunha antena defínese como a relación entre a potencia radiada nunha dirección e a potencia que radiaría na mesma dirección e á mesma distancia unha antena de referencia, **a igualdade de potencias entregadas á antena**.

As dúas antenas que se empregan xeralmente como referencia son:

- ✓ A antena isotrópica: A ganancia exprésase en *dBi*.
- ✓ A antena dipolo: A ganancia exprésase en *dBd*.

A relación entre a ganancia en *dBi* e *dBd* é: **$G(dBi) = G(dBd) + 2,15$** ; fixémonos que a ganancia en *dBi* é maior, este é un dos motivos polos que os fabricantes adoitan dar a ganancia en *dBi* en lugar de en *dBd*.

Se non se especifica a dirección angular, sobreenténdese que a ganancia se refire á dirección de máxima radiación.

A **directividade** é a ganancia máxima dunha antena; é dicir, a ganancia na dirección de máxima radiación.

$$Directividade = D_{\max imo} = \frac{d_{\max imo}}{d_{\text{referencia}}} = \frac{d_{\max imo}}{\frac{P_{\text{referencia}}}{4\pi R^2}}$$

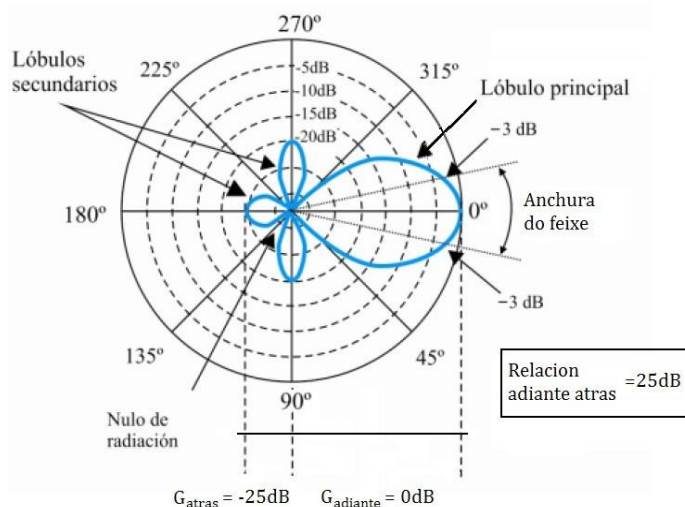
Se unha antena é moi « directiva » (ten un valor de directividade elevado) quere dicir que é capaz de concentrar a potencia radiada (ou recibida) nunha determinada dirección.

3.2. ANCHURA DO FEIXE E RELACIÓN ADIANTE ATRÁS

Son parámetros propios das antenas direccionais.

A **anchura 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.

A **relación adiante atrás** (FBR) é a relación entre a ganancia na dirección de máxima radiación e o valor na dirección oposta.

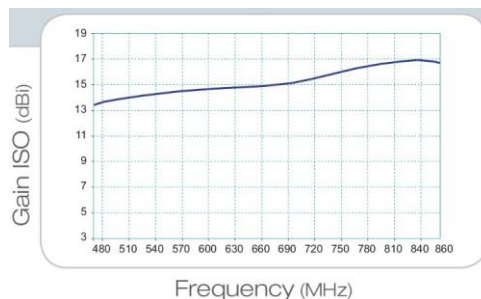


3.3. ANCHO DE BANDA

O **ancho de banda** é outro parámetro fundamental da antena. Describe a gama de frecuencias sobre as que a antena correctamente pode radiar ou recibir enerxía, dito doutro xeito infórmanos da resposta en frecuencia da antena. A anchura de banda é un dos parámetros que determinan a elección dunha antena, moitos tipos de antena teñen anchos de banda moi estreitos e non se poden utilizar para a operación en banda ancha como, por exemplo, na recepción de sinais de televisión.

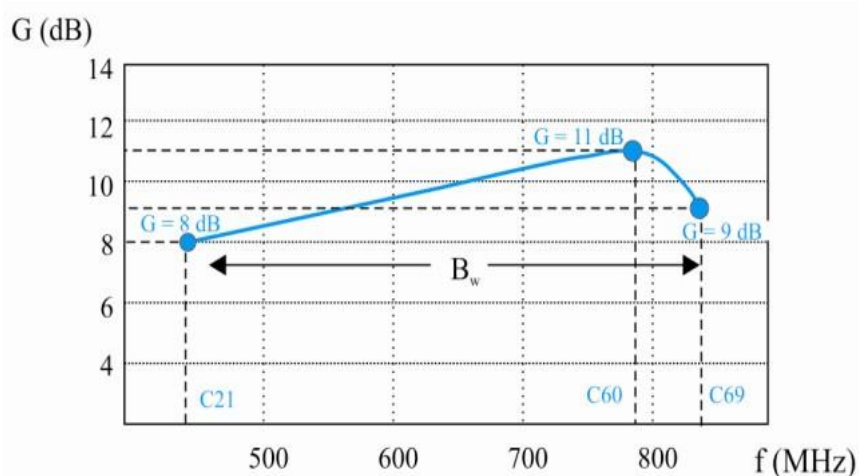
O ancho de banda pode especificarse en termos de ROE xa que ao variar a impedancia da antena coa frecuencia prodúcese unha desadaptación. Por exemplo, pode especificarse que traballa de 100 a 400 MHz cunha ROE menor que 1.5.

En outras ocasións o que se nos presenta é a *curva de resposta en frecuencia* da antena, que permite identificar a ganancia máxima (Directividade) 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.

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.



3.4. POLARIZACIÓN

A polarización dunha antena é a polarización da onda radiada pola devandita antena nunha dirección dada.

A polarización dunha antena é un parámetro fundamental xa que se o axuste entre as polarizacións dunha parella de antenas nun enlace de radio non é axeitado pode chegar a perderse todo o sinal. Ademais en ocasións é posible establecer dúas canles sobre unha mesma frecuencia empregando polarizacións ortogonais, neste caso o axuste é aínda máis crítico xa que deste dependerá o grao de interferencia entre as canles.

3.5. IMPEDANCIA

Cando conectamos unha antena a un transmisor tentamos que se transfira a máxima potencia coas mínimas perdas, debendo existir adaptación de impedancias entre o transmisor e a antena. Todas as antenas presentan na súa entrada unha **impedancia de entrada**, que non é máis que a relación entre a tensión e a intensidade medida no punto de conexión (entrada) desta.

$$Z_e = Z_{entrada} = \frac{V_{entrada}}{I_{entrada}}$$

Esta impedancia de entrada terá unha parte real e unha imaxinaria, ambas dependentes da frecuencia.

$$Z_e = R_e(\omega) + jX_e(\omega)$$

Dícese que a antena é **resonante** a unha frecuencia dada cando a impedancia de entrada non presenta parte imaxinaria; é dicir, $Z_e = R_e(\omega_r)$. Polo xeral unha antena presenta varias resonancias, as cales coñécense como **modos**.

Supoñendo que toda a potencia transferida polo emisor chega á antena (é dicir, están adaptados en impedancia), se ben o ideal sería que toda a potencia entregada se radiara, isto non sucede así. O principal motivo é que parte da potencia entregada á antena disíbase en perdas. Para modelar estas perdas, intróducese ó termo real da impedancia da antena dous termos: a *Resistencia de radiación* R_r e a *Resistencia de perdas* R_p .

$$Z_e = R_e(\omega) + jX_e(\omega) = R_r(\omega) + R_p(\omega) + jX_e(\omega)$$

A resistencia de radiación representa a potencia que a antena radia hacia o espazo libre de forma efectiva. Noutras palabras, R_r é a resistencia que disiparía a mesma potencia que a radiada realmente pola antena. A potencia radiada pode expresarse en termos da resistencia de radiación como:

$$P_{radiada} = i^2 R_r$$

Onde “i” é a intensidade no punto de alimentación da antena.

Por outra parte, as perdas poden modelarse utilizando unha **resistencia de perdas**, que abarcarían todas as perdas introducidas nos conductores, nos dieléctricos, nos núcleos de ferrita... A potencia perdida na antena expresarase:

$$P_{disipada} = i^2 R_p$$

Polo xeral, R_p é moito menor que R_r ; sen embargo, en antenas onde a lonxitude de onda utilizada é maior que as dimensións destas a resistencia de perdas pode ser considerable.

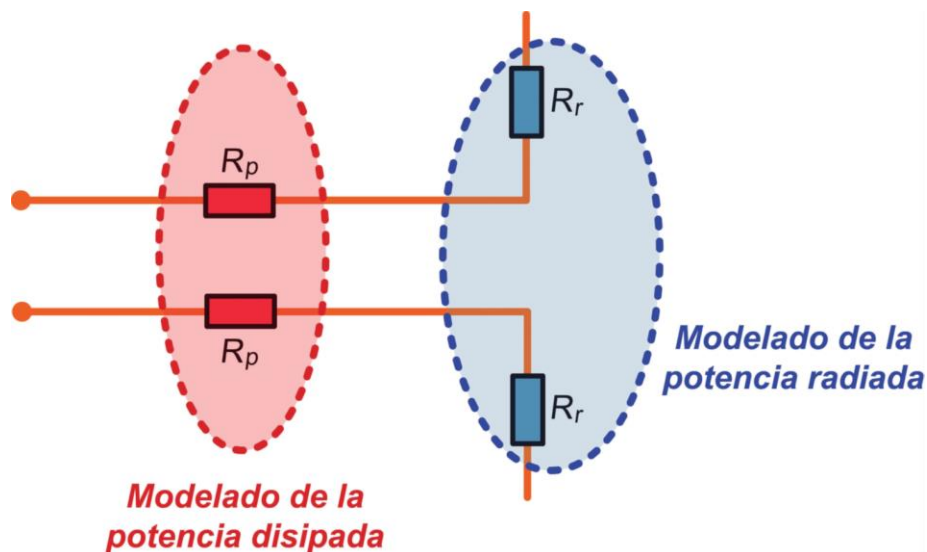
No caso de adaptación de impedancias, a potencia entregada polo transmisor será igual á suma de potencias radiada e disipada:

$$P_{entregada} = P_{disipada} + P_{radiada} = i^2 R_p + i^2 R_r = i^2 (R_p + R_r)$$

Dado que non toda a potencia entregada polo transmisor é convertida en potencia radiada, defínese o Rendimiento ou Eficiencia da antena como a relación existente entre a potencia radiada e a potencia entregada:

$$\eta = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{P_{radiada}}{P_{disipada} + P_{radiada}} = \frac{R_r}{R_p + R_r}$$

O circuito equivalente simplificado dunha antena podería representarse:



4. MEDIDAS DE RADIACIÓN. FACTOR DE ANTENA

En ocasións é necesario determinar a magnitude dos campos electromagnéticos creados nunha determinada zona. Xa sexa para realizar medidas de cobertura ou para comprobar se estas radiacións se atopan por debaixo dos límites legais.

Ao medir nunha antena obtemos unha tensión, xeralmente expresada en dB μ V, ou unha potencia xeralmente expresada en dBm. Estas magnitudes están relacionadas entre si pola impedancia da antena e do cableado (Z_0) de xeito que:

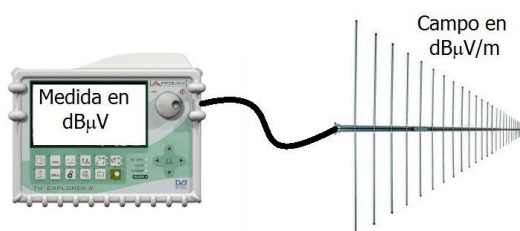
$$P = \frac{V^2}{Z_0} \rightarrow 10^{-3} \cdot P(mW) = \frac{10^{-12} \cdot V(\mu V)}{Z_0} \rightarrow P(dBm) = V(dB\mu V) + 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-9}}{Z_0}\right)$$

Para sistemas de 50Ω teremos: $P(dBm) = V(dB\mu V) - 107 dB$

Con todo, o obxectivo é medir magnitude do campo electromagnético que deu lugar a esa tensión/potencia captada pola antena. O parámetro da antena que precisamos é o **Factor de Antena (AF)** que relaciona a tensión entre bornas da antena en $dB\mu V$ coa magnitude do campo eléctrico que a creou en $dB\mu V/m$. A intensidade do campo eléctrico **FS (Field Strength)** pode calcularse como:

$$FS(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + AF(dB)$$

Existen medidores de radiación certificados que inclúen unha antena e un equipo de medición calibrado para realizar este tipo de medicións coa precisión requirida. Se se realizan estas medidas con un medidor de campo normal e unha antena cun factor de antena coñecido habería que ter en conta as perdas no cable:



$$FS(dB\mu V/m) = V(dB\mu V) + AF(dB) + L_{Cable}(dB)$$

5. TIPOS DE ANTENAS

Temos moitísimos tipos de antenas. A continuación veremos algunhas das máis comúns, especialmente no ámbito da radio e da televisión.

Visualiza o seguinte vídeo, que che axudará a repasar algúns conceptos vistos ata o de agora e nos introducirá nos tipos de antenas:

<https://www.youtube.com/watch?v=Nr3FcBSs-f0>

5.1. DIPOLO SIMPLE

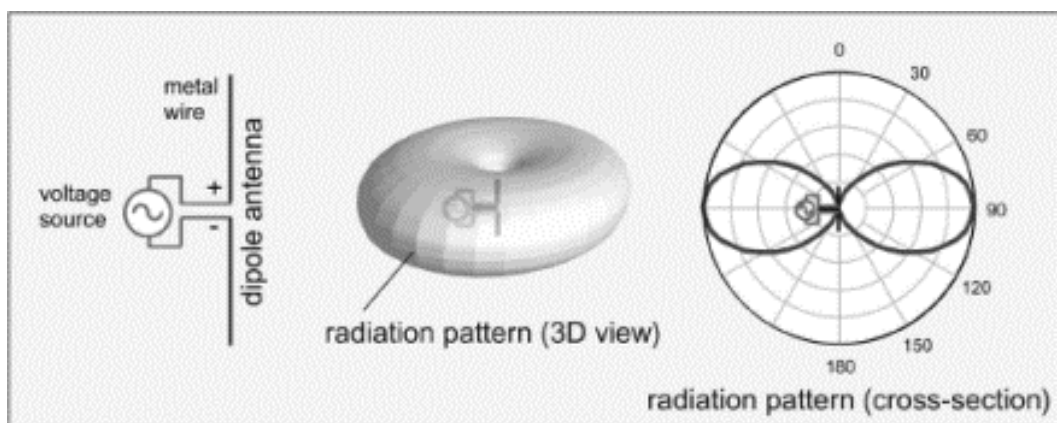
A antena básica por excelencia é o dipolo simple ou de Hertz, xa sexa empregado directamente ou como base de antenas de maior complexidade. Trátase dunha varilla condutora de lonxitude $\lambda/2$. Ó empregar esta lonxitude conseguimos que se comporte como unha antena **resonante**, o que significa que presenta no seu punto de alimentación unha impedancia puramente resistiva, facilitando a transferencia de enerxía entre a liña e a propia antena



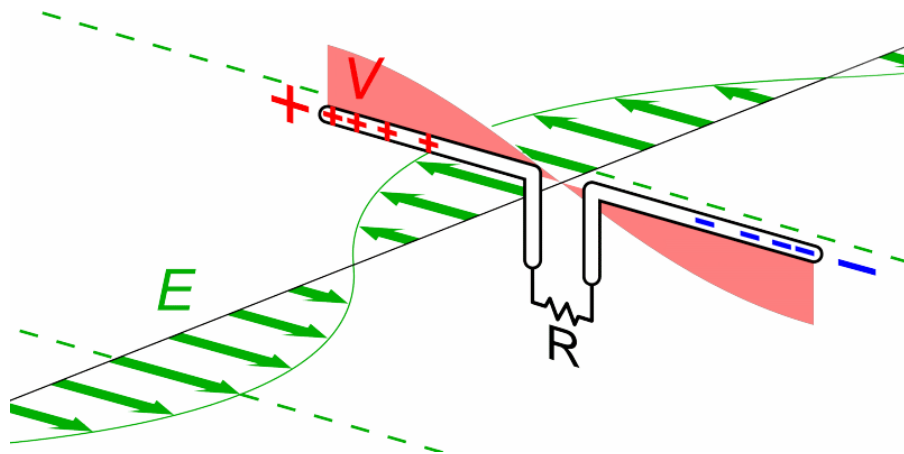
(especialmente cando ambas impedancias coinciden).

Para posibilitar a alimentación divídese en dúas seccións iguais, aplicándose o sinal entre os extremos interiores das dúas varillas. Os sinais que se aplican a un dipolo deben estar balanceados; a cada unha das varillas debe aplicarse un sinal coa mesma forma de onda e polaridade inversa. Os sinais non balanceados poden transformarse en balanceados cuns transformadores especiais chamados baluns.

No diagrama de radiación desta antenna obsérvase como xera campos electromagnéticos en todas as direccións, excepto na do eixo que contén a propia antenna, e a súa dirección de máxima radiación á a perpendicular a este eixo. A súa impedancia característica é de aproximadamente 73 ohmios. O ancho de banda depende da relación entre a lonxitude do dipolo e o diámetro da varilla, de xeito que a maior sección da varilla maior anchura de banda da antenna.

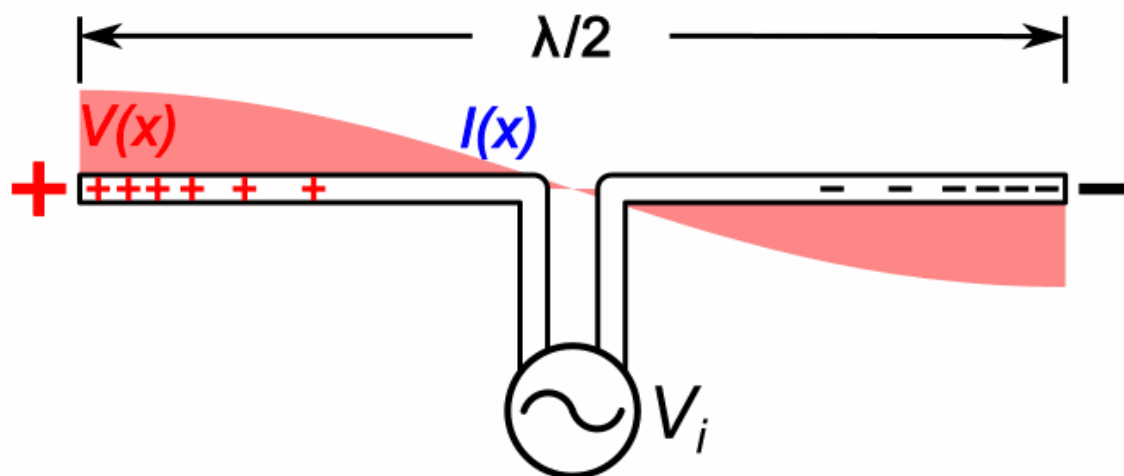


- Imaxe dun dipolo ó recibir unha onda de radio:



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Dipole_receiving_antenna_animation_6_800x394x150ms.gif

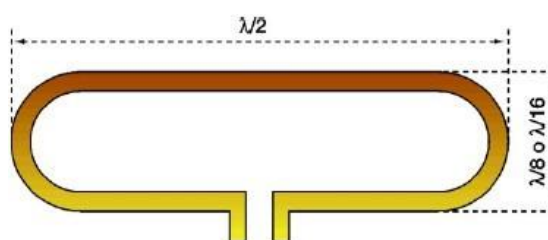
- Ondas estacionarias nunha antena dipolo de media onda excitado a súa frecuencia de resonancia:



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/19/Dipole_antenna_standing_waves_animation_1-10fps.gif

5.2. DIPOLO DOBRADO

É unha variante da antena de media onda na que os seus extremos foron dobrados pola metade e pregados sobre si mesmos, unindo os dous extremos do dipolo, resultando un dipolo de $\lambda/2$ cunha soa varilla dobrada e aberta na súa zoa inferior. As súas características fundamentais mantéñense, excepto o ancho de banda que é mais elevado, e a impedancia que se incrementa ata 300 ohmios.



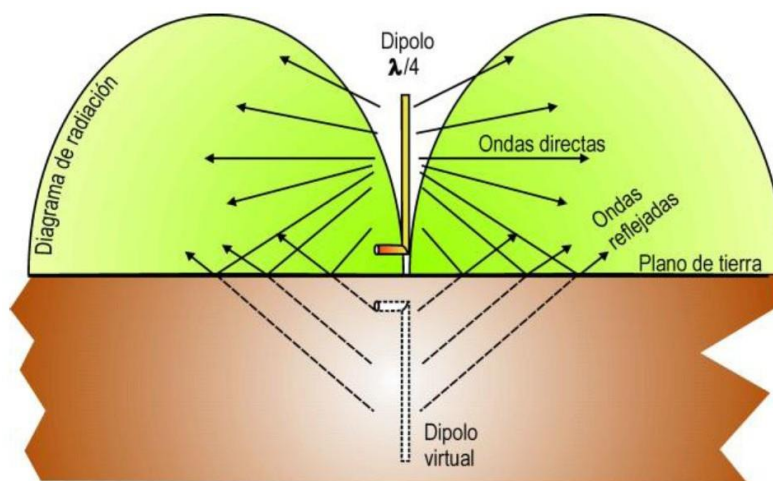
O seu uso xustifícase tamén porque para frecuencias baixas o tamaño da antena faise demasiado grande e, nestas condicións, o dipolo simple presenta unha gran fragilidade mecánica. O dipolo dobrado é moito mais robusto e soporta mellor a forza do vento.

As antenas empregadas maioritariamente para a emisión e recepción de televisión están baseadas no dipolo simple ou dipolo dobrado.

5.3. ANTENA MARCONI OU DIPOLO DE $\lambda/4$.

Cando se precisa unha antena de pequeno tamaño, pódese recorrer á antena Marconi. En realidade, trátase dunha das dúas varillas da antena de Hertz, cambiando a outra por un plano condutor colocado perpendicularmente a ela.

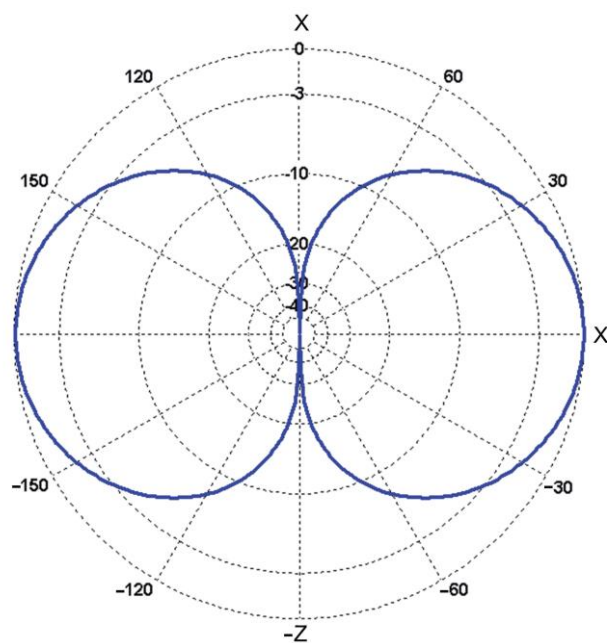
Este plano condutor; que pode ser continuo, formado por varillas metálicas radiais ou mesmo o propio chan é o dun reflector para as ondas electromagnéticas. Os sinais radiados desde a antena cara a zona inferior, serán reflectidas neste plano condutor, reorientándose na mesma dirección que tomarían si tiveran sido xeradas pola sección do dipolo que foi eliminada. Este efecto mostrase na seguinte figura.



Esta antena representa unha boa alternativa para xerar ou recibir sinais de polarización vertical empregando unha antena da metade de lonxitude que as anteriores. As súas características de radiación son similares ás do dipolo simple, a súa lonxitude é de $\lambda/4$ e a súa impedancia é de en torno a 36Ω (a metade que o dipolo de media onda). Unha vantaxe adicional é que ao ter un plano de masa non precisa dunha alimentación balanceada coma as anteriores e pode conectarse directamente a un sinal non balanceado sen necesidade de balun.

As antenas maioritariamente utilizadas en receptores de radio portátiles, transceptores, teléfonos móbiles e as que se montan en vehículos adoitan ser antenas Marconi.

O diagrama de radiación dunha antena Marconi podería ser o seguinte (moi similar ó do dipolo de media onda):



5.4. DIPOLO CURTO

As antenas vistas ata agora reciben o nome de resoantes xa que presentan unha impedancia resistiva. Sen embargo teñen un grave problema; para usalas en sistemas de comunicacións que operen por debaixo de HF resultan ser dun tamaño enorme, o que non resulta práctico. Nos límites superior e inferior da banda de HF un dipolo de media onda medirá 5 e 50 m. respectivamente mentres que no límite inferior da banda de MF chegará a 500 m.

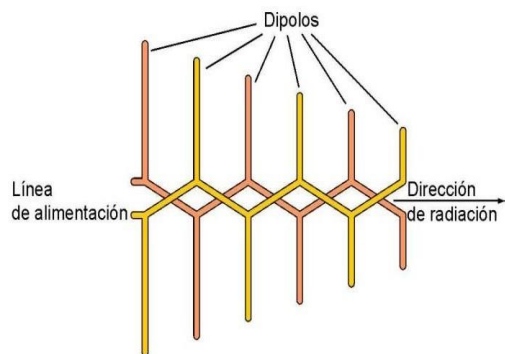
Nestas condicións haberá que recorrer ao dipolo curto que é aquel que mide menos da décima parte da lonxitude de onda. O dipolo curto presenta un diagrama de radiación similar ao do resto dos dipolos vistos ata o de agora. Os problemas do dipolo curto son dous:

- ✓ Non é resoante polo que ten reactancia, esta reactancia é capacitiva e dun valor moi elevado. Ademais será máis elevada canto máis pequeno sexa o dipolo, por exemplo para $L = \lambda/20$ teremos unha reactancia $X = -2000 \Omega$.
- ✓ A resistencia que presenta é moi pequena; para o mesmo exemplo do apartado anterior, $L = \lambda/20$, teremos unha resistencia $R = 0,5 \Omega$.

É posible compensar a reactancia do dipolo cunha bobina, ademais será necesaria unha rede de adaptación de impedancias para adaptar a impedancia característica da liña á resistencia do dipolo curto. Outro problema é que a bobina terá unha R comparable, incluso maior, que a propia antena facendo que o rendemento da mesma sexa extremadamente pobre.

5.5. ANTENA LOGOPERIÓDICA (LOGARÍTMICO-PERIÓDICA)

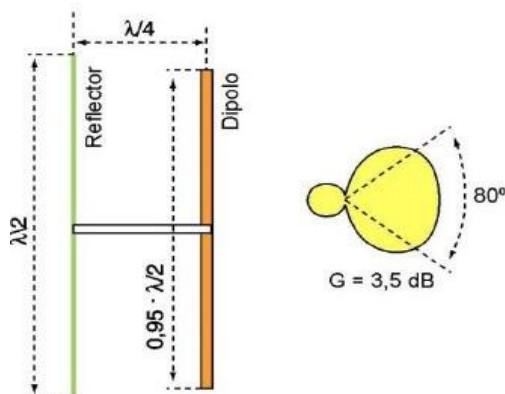
Cando é precisa unha antena cun gran ancho de banda, pódese recorrer a unha configuración como a antena logoperiódica. En realidade non é unha única antena, senón unha asociación de dipolos de media onda (todos eles excitados) de tamaño progresivamente crecente. O resultado é unha antena directiva na dirección na que están aliñados os dipolos e resoante nun marxe amplo de frecuencias. [Exemplo.](#)



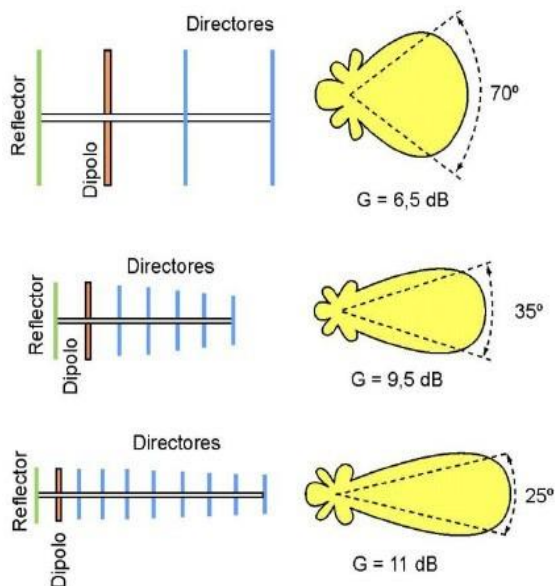
5.6. ANTENA YAGI OU YAGI-UDA

A antena mais utilizada na recepción de televisión é, seguramente, a antena de canal de ondas ou antena Yagi. Está formada por un dipolo, simple ou pregado, alimentado ao cal engádenselle en paralelo unha serie de varillas metálicas que modificarán o seu diagrama de radiación. Estas varillas son elementos pasivos o que significa que non están alimentados. O tamaño destas varillas e a distancia de separación respecto dos elementos adxacentes, xa sexa o dipolo ou outras varillas, determinarán o seu funcionamento actuando como reflectores e directores:

- ✓ **Reflector:** Unha varilla (ou varias paralelas) de lonxitude lixeiramente maior ca do dipolo e separada $\lambda/4$ respecto deste, funcionará como **reflector** de ondas. Un **reflector** producira unha redución do lóbulo de radiación na dirección contraria ao dipolo e un incremento da ganancia no lóbulo frontal.



- ✓ **Directores:** Unha varilla (ou varias paralelas) de lonxitude lixeiramente mais curta ca do dipolo e separadas en torno a $\lambda/8$ respecto deste, funcionara como un **director**. Un director alargará o diagrama de radiación, facéndoo mais directivo e con maior ganancia na dirección na que esta situado o director. 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 so un dos múltiples modelos existentes, podendo atopar antenas con diferentes medidas, separacións e incluso formas nos elementos directores e reflectores.



É Moi importante resaltar que o 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.

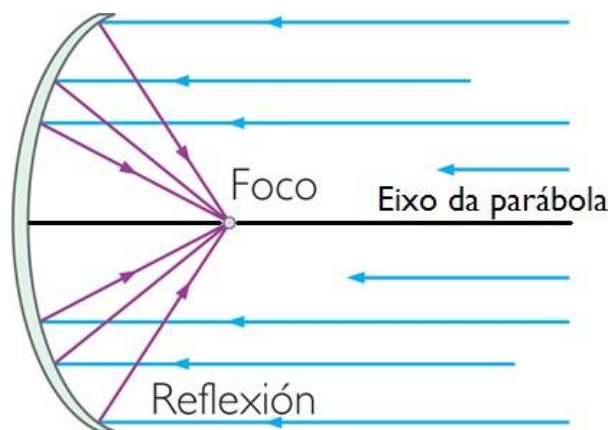
5.7. BUCINAS

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, máis frecuentemente, como elemento alimentador dun sistema con reflector parabólico.



5.8. ANTENAS PARABÓLICAS

O funcionamento de este tipo de antenas baséase na característica óptica das parábolas de reflectir os sinais que inciden sobre ela na dirección do seu eixo cara a un punto fixo que chamamos foco (F) da parábola. Neste punto situarase o elemento alimentador



da antena que, pola banda de frecuencias nas que se empregan estas antenas, será unha bucina ou unha guía de ondas enfrontada cara ao reflector parabólico. En realidade o elemento activo da antena, o que recibirá o sinal, estará dentro da guía de ondas ou bucina recibindo o sinal a través desta.

A misión da parábola, polo tanto, é concentrar o sinal recibido en toda a superficie da mesma nunha dirección paralela ao seu eixo no foco. Isto dálle a esta antena un carácter extremadamente direccional xa que os sinais que chegan nunha dirección diferente á do eixo son reflectidos polo paraboloide cara a fora do foco e non chegan ao elemento activo.

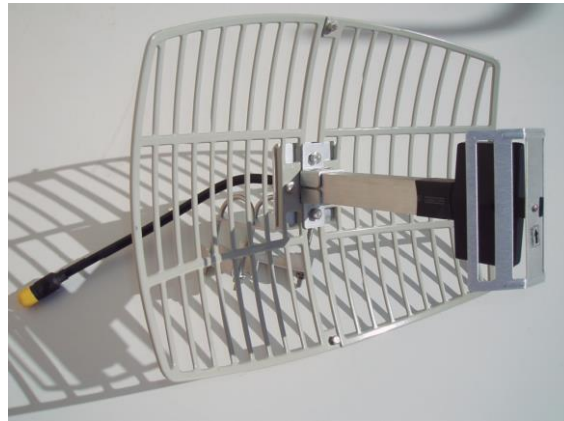
Naturalmente, o principio de funcionamento é reversible, utilizándose tamén en antenas emisoras. Neste caso a misión do paraboloide será enviar toda a potencia radiada polo elemento activo nun feixe practicamente unidireccional paralelo ao seu eixo.

A ganancia deste tipo de antenas aumenta coa superficie do reflector (S) e diminúe co cadrado da lonxitude de onda dos sinais empregados (aumenta co cadrado da frecuencia). Un factor que limita a ganancia de este tipo de antenas é que o alimentador fai sombra impedindo que parte da radiación chegue ao reflector, este efecto caracterízase mediante o rendemento (η).

$$G = 10 \cdot \log \left(\eta \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{\lambda^2} \right)$$

Un parámetro importante das antenas parabólicas é o que chamamos **relación de abertura** ou **abertura da parábola**, que é a relación que existe entre a distancia focal (distancia entre o foco onde se coloca o alimentador e o fondo da parábola) e o diámetro da boca da parábola.

Outro aspecto a destacar é que a superficie do reflector non ten que ser completamente sólida, puidendo empregarse unha malla coa mesma forma, o cal reflexa practicamente a mesma enerxía e presenta a vantaxe de pesar menos e presentar menos resistencia ao vento.

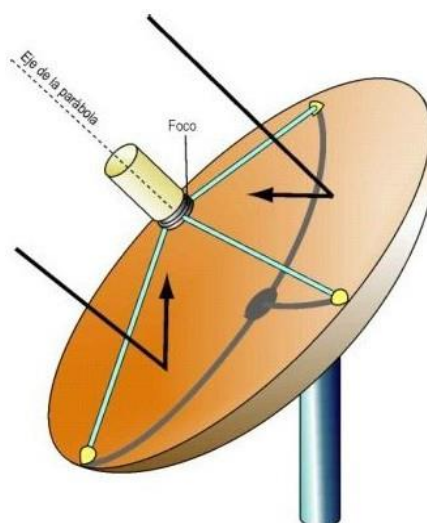


Pódese demostrar que a abertura do feixe de 3 dB, Θ , dunha antena parabólica ven dada pola expresión:

$$\Theta = \frac{70 \lambda}{D}$$

5.8.1. ANTENA DE FOCO PRIMARIO

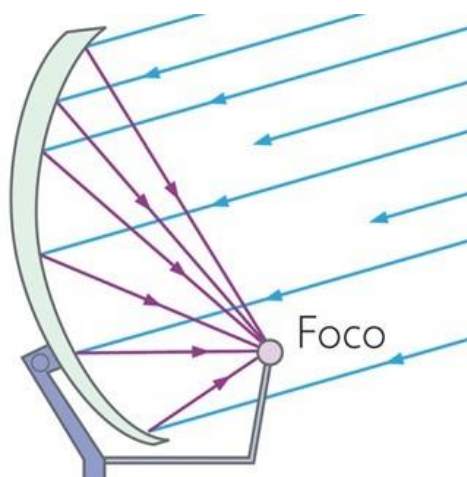
Na antena de foco primario emprégase como reflector un anaco de parábola centrado no eixo da mesma de xeito que o alimentador sitúase no centro da parábola. O alimentador e o seu soporte sitúanse, polo tanto, no camiño da radiación que incide sobre a parábola de xeito que limitan bastante a ganancia da mesma. O rendemento para este tipo de antenas situase entre o 50% e o 65%.



5.8.2. ANTENA DE 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 se consegue coa antena de foco desprazado ou antena Offset que é a que se emprega xeralmente para a recepción de TV por satélite.

Para entender o funcionamento tomemos unha antena de foco primario de gran tamaño, e seleccionemos unicamente unha zona da metade superior do reflector. Para este anaco de reflector, o alimentador non presenta sombras, ao quedar por debaixo da zona de visión o punto focal da antena orixinal como ilustra a figura. Ao eliminar as zonas de sombra, o rendemento sitúase no



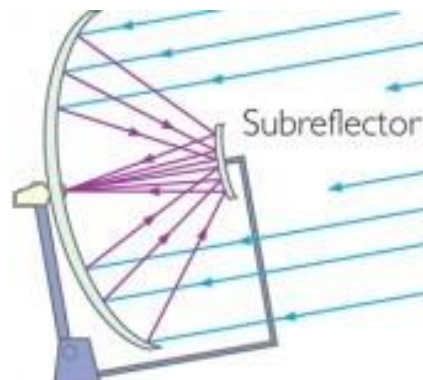
contorno do 80 %, incluso para antenas de pequeno tamaño. Por iso, a ganancia da antena aumenta ata case o dobre, a igualdade de superficie e frecuencia, se a comparamos cunha antena de foco primario. Isto xustifica o seu alto grao de implantación.

O único inconveniente é que a dirección na que apunta a antena non é tan evidente como na de foco primario xa que esta desprazada respecto do eixo

aparente da antenna. Por isto, nas operacións de axuste, deberase introducir unha corrección na elevación da antenna. O valor deste desprazamento é proporcionado polo fabricante.

5.8.3. ANTENA CASSEGRAIN

Tamén chamada de dobre reflexión, supón unha variante sobre a antenna de foco primario. Se supoñemos unha antenna receptora, estará orientada na dirección da emisión. Ao incidir sobre o reflector parabólico, os sinais procedentes da dirección do eixe de

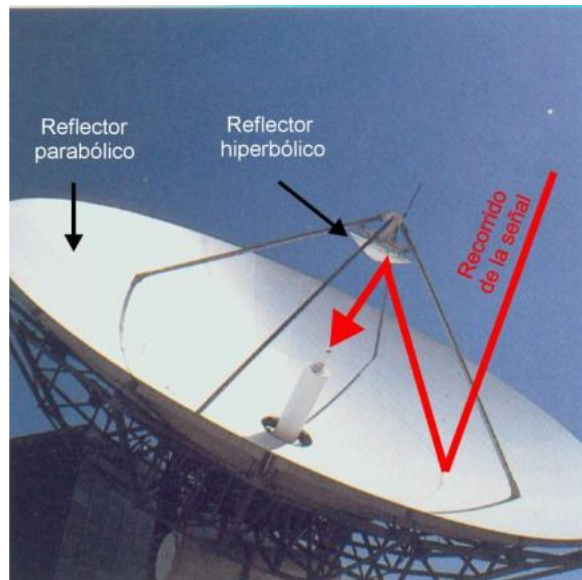


orientación serán reflectidas cara ao foco da parábola. Neste punto situarase agora un segundo reflector, de tamaño moito menor co primeiro, e que terá forma hiperbólica. A diferenza da parábola, este segundo reflector direcciona os sinais que lle chegan desde calquera dirección cara ao foco desta hipérbole. Este novo foco faise coincidir co vértice da parábola, e será alí onde se concentra o sinal, que se recolle nunha guía de ondas.

A aplicación desta antenna estará onde sexa necesaria unha antenna de grandes dimensións, onde a sombra do segundo reflector non supón unha perda notable de rendemento. Con estes deseños obtéñense rendementos en torno ao 70%.

As vantaxes da antenna Cassegrain son, fundamentalmente dúas. A primeira ten que ver coa distancia ao foco ao aumentar o tamaño da parábola. Ao traballar con parabólas de gran tamaño nos modelos anteriores haberá que colocar o alimentador moi lonxe da parábola o que non resulta práctico; nunha Cassegrain bastará con facer o segundo reflector máis grande. A segunda vantaxe ten que ver coa posición do alimentador, ao situarse este detrás da parábola é o tipo de antenna máis indicado para empregar con alimentadores grandes e complexos xa que non hai que colocalos nun soporte nin proxectan sombra algunha sobre a parábola.

Estas dúas vantaxes fan que a antenna Cassegrain sexa a elección máis habitual cando se traballa con parabólas enormes en radiotelescopios e nas antenas para comunicación con satélites lonxanos. A sonda espacial *Voyager 1* leva unha.

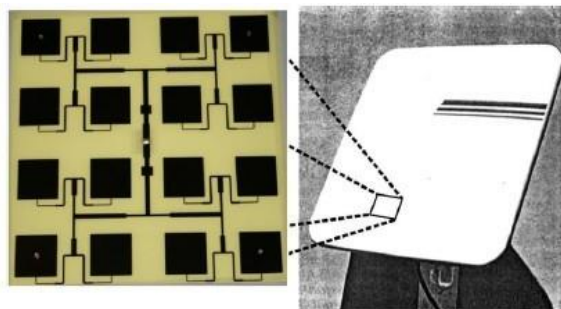


[¿Cómo funciona la televisión por satélite? \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=...)

5.9. ANTENAS PLANAS (PATCH) E SECTORIAIS

Nas comunicacións en alta frecuencia: Telefonía móbil, WiMAX, WiFi e incluso con satélites de alta potencia existen moitas antenas planas, que utilizan o principio de enfasamento de dipolos, ou outro tipo de antenas elementais, do que falamos no apartado de arranxos de antenas. Ao traballar en frecuencias altas, a lonxitude dos dipolos

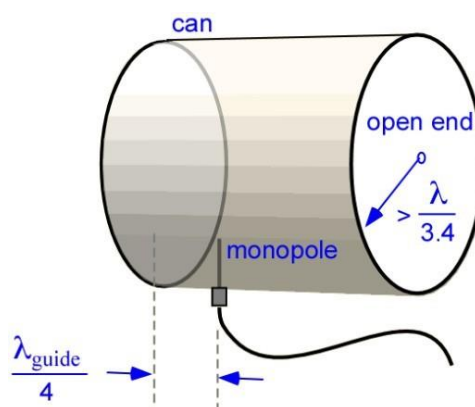
necesarios para recibir o sinal resultan razoablemente pequenas. Para telefonía móbil GSM a 900MHz será de 17cm e para TV por satélite en 12GHz será de 1,2 cm.



Con estes tamaños será posible 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 todas as pequenas antenas coa fase axeitada (en recepción) ou de alimentar a todas elas coas fases axeitadas (en emisión). Este é o xeito en que están construídas a maioría das antenas planas. Sen embargo esta estrutura non pode crecer indefinidamente posto que chega un momento no que o sinal aportado por un dipolo alexado do tronco principal de alimentación pérdese nas propias liñas.

5.10. ANTENA DE GUÍA DE ONDA

Trátase dun segmento de guía de ondas condutora tapada nun dos seus extremos cunha tapa tamén de material condutor. Dentro da guía, a carón do extremo tapado insírese unha antena elemental, xeralmente un dipolo $\lambda/4$. Esta antena é fácil de construír para a banda de 2,4 GHz e presenta un bo rendemento, con ganancias de ata 12 dBi. É unha das antenas “caseiras” máis populares empregando como cavidade unha lata metálica grande (Cantenna - Can é lata en inglés).



A lata debe ter un diámetro maior que $0,6 \cdot \lambda$ e a poder ser menor que $0,75 \cdot \lambda$. A súa lonxitude debe ser maior que $0,75 \cdot \lambda_G$ e o elemento activo, un dipolo $\lambda/4$, sitúase a $\lambda_G/4$ da tapa. λ_G calcúlase a partir do diámetro da lata e a lonxitude de onda

empregada como:

$$\lambda_G = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{1,706 \cdot D} \right)^2}}$$

Por exemplo cunha lata de diámetro 8,8 cm para WiFi a 2,4GHz ($\lambda = 12,3\text{cm}$)

Teremos:

$$\lambda_G = \frac{12,3}{\sqrt{1 - \left(\frac{12,3}{1,706 \cdot 8,3} \right)^2}} = 24,8 \text{ cm, logo } \lambda_G/4 = 6,2 \text{ cm.}$$

5.11. RANURAS

Unha ranura ou orificio nunha guía de ondas pode funcionar como unha pequena antena. Unha ranura de lonxitude $\lambda/2$ compórtase de xeito similar a un dipolo de media onda. Combinando de xeito adecuado varias destas ranuras, nun arranxo de antenas, pódense obter diferentes patróns de radiación, incluíndo antenas sectoriais ou inclusive omnidireccionais. Son moi habituais nos sistemas de radar en frecuencias de microondas.

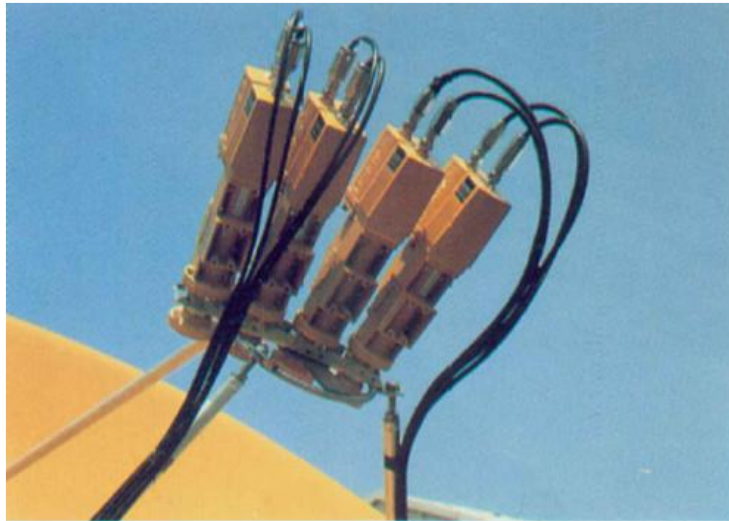


5.12. ANTENAS MULTISATÉLITE

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 se atopen 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 se desexa cubrir, ata que se recibe o sinal a través do convertedor central. Unha vez axustada a parábola, axustaranse o resto dos convertedores modificando o seu

ángulo de incidencia sobre a antena, ata que se consiga recibir o sinal de todos eles. En realidade, o sistema compórtase 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 se tratara dunha antena de convertedor simple.



6. ARRANXOS DE ANTENAS

Os arranxos de antenas están formados por un conxunto de dúas ou máis antenas idénticas distribuídas e ordenadas de xeito que o conxunto compórtase como unha única antena cun diagrama de radiación propio. Os arranxos de antenas utilízanse para mellorar as características dunha antena mediante a instalación de varias idénticas ou para a construción de antenas intelixentes.

Arranxos de antenas para mellorar as características dunha antena:

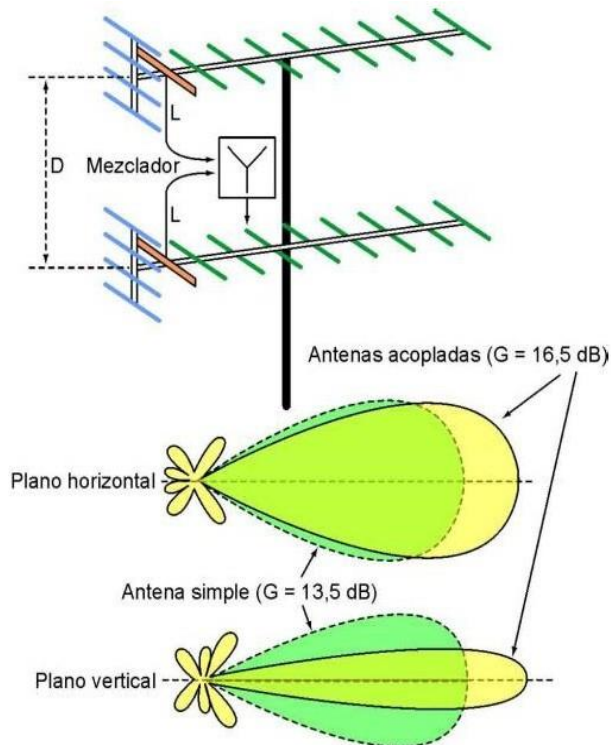
Estas asociacións poden realizarse con calquera tipo de antena, incrementando a ganancia e reducindo a apertura do feixe no plano da asociación. Un factor crítico nestes casos é a lonxitude do cable que une o mesturador coas antenas, que deberá ser exactamente igual para todas elas para garantir a suma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

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 cando estas sexan un problema.

Na figura da dereita ilústrase o efecto de empregar un arranxo de dúas antenas Yagi apiladas no plano vertical.

A distancia óptima á que hai que colocar as antenas dependerá do tipo de antena e da frecuencia. Para Yagis grandes (10 elementos ou máis) pode aproximarse por:

$$d_{Optima} = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(AF/2)}$$



Onde AF é a anchura do feixe de radiación a 3dB. Sempre é mellor afastar as antenas de máis que de menos.

Un exemplo concreto de arranxo de antenas que se emprega para mellorar as características dunha antena é a **antena de dipolos enfasados**. Un conxunto de dipolos próximos entre si alimentados co mesmo sinal presentarán, en conxunto, un diagrama de radiación que depende da interferencia entre os sinais emitidos por cada unha. As características da antena resultante dependen da distancia entre antenas, habitualmente búscanse estruturas que incrementen a directividade. Se



combinamos esta estrutura co uso dun reflector pasivo, conséguese aumentar considerablemente a directividade sen empregar directores. Ademais, ao empregar varios dipolos, a potencia aplicada repártese entre eles, resultando por iso especialmente aconsellable para sistemas de emisión.

7. TÉCNICAS MIMO

MIMO é o acrónimo en inglés de Multiple-input Multiple-output; é dicir múltiples entradas e múltiples saídas. Refírese ao uso simultáneo de varias antenas tanto en emisión coma en recepción. As técnicas MIMO aproveitan fenómenos físicos coma a propagación multitraxecto para incrementar a taxa de transmisión e/ou reducir a taxa de erro. En breves palabras MIMO aumenta a eficiencia espectral e/ou a robustez dun sistema de comunicación inalámbrica por medio da utilización da diversidade espacial (diferentes traxectorias de propagación entre antenas).

Durante os últimos anos a tecnoloxía MIMO ven sendo adoptada nas comunicacións inalámbricas xa que aumenta de xeito importante a taxa de transferencia de información sen aumentar o ancho de banda requirido ou a potencia transmitida. MIMO está presente por estes motivos nos últimos

estándares inalámbricos propostos: IEEE 802.11n (WiFi-n), LTE, WiMAX, HSPA+...

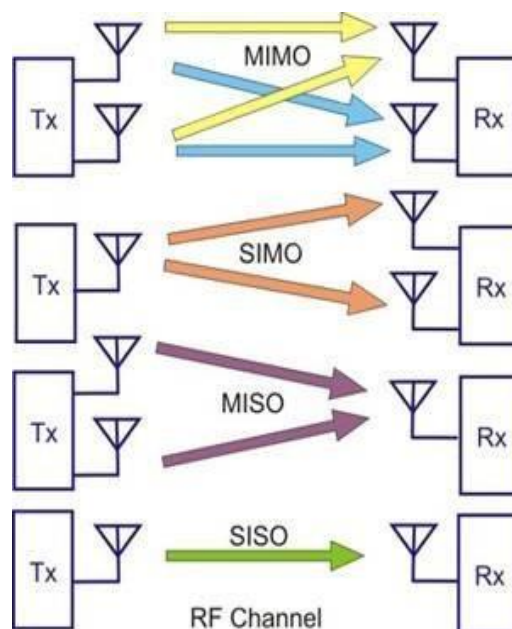
Dende o punto de vista da utilización das técnicas MIMO os sistemas poden clasificarse en:

SISO: Single Input Single Output; este é o caso tradicional ou non MIMO no que o transmisor e o receptor posúen unha antenna.

SIMO: Single Input Multiple Output; unha única antenna no emisor e varias no receptor.

MISO: Multiple Input Single Output; varias antenas no emisor pero unha no receptor.

MIMO: Multiple Input Multiple Output; tanto transmisor como receptor posúen varias antenas.

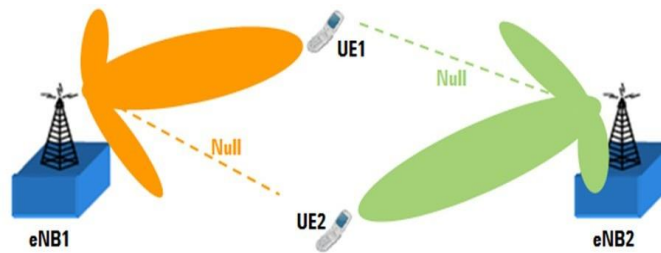


Os termos inputs e outputs refírense á canle de radio e non aos equipos emisores e receptores.

Principalmente hai dúas categorías de tecnoloxías MIMO: Beamforming e Spatial multiplexing.

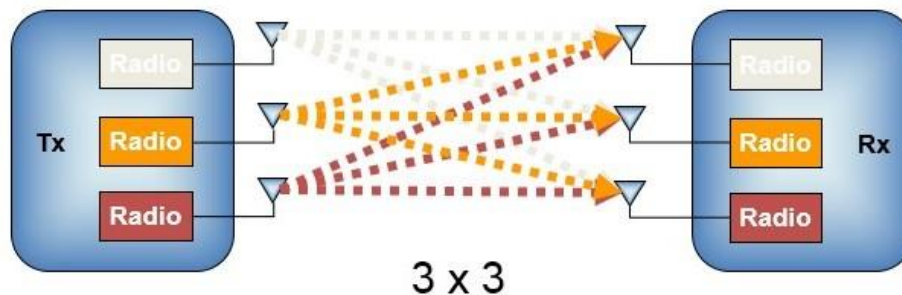
Beamforming (Formación do feixe)

Consiste na modificación dos feixes de radicación mediante o desfasaxe nas alimentación dun arranxo de antenas coma nas antenas intelixentes. A principal vantaxe é unha maior ganancia da antena na dirección de interese en cada momento, isto mellora o rendemento en potencia (non hai que radiar de xeito omnidireccional) e a distancia de cobertura. Ademais ao poder modificar os diagramas de radiación poderase reducir as interferencias entre usuarios empregando os nulos do diagrama de radiación.



Spatial multiplexing (multiplexación espacial)

Consiste en enviar múltiples sinais a través de múltiples antenas de xeito que, teoricamente, a velocidade de transmisión multiplícase polo número de pares de antenas. Se estes sinais chegan coa suficiente separación a cada unha das antenas do receptor este será capaz de distinguilas creando así múltiples canles. Esta é unha moi boa técnica para aumentar a taxa de transmisión, sobre todo en contornas hostís a nivel de relación sinal ruído. Unicamente está limitado polo número de antenas dispoñibles tanto no receptor como no transmisor.



8. POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE)

A *Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)* é a potencia coa que habería que alimentar unha antena isotrópica para que, nun punto determinado do espazo, crease a mesma intensidade de campo que un transmisor determinado coa súa antena dirixida na dirección de máxima radiación. Para un sistema formado por un transmisor, un latiguillo de conexión e unha antena a PIRE pode calcularse como:

$$PIRE = P_{Emisor} - L_{Cable} + G_{Antena} \text{ (dB}_i\text{)}$$

É un parámetro que se fixa para limitar a potencia máxima de transmisión. Se este límite fose unha potencia absoluta esta podería non dar suficiente cobertura cunha antena omnidireccional e con todo ser perigosa cunha antena suficientemente directiva. Para entendernos: Unha lámpada incandescente de

100W emite uns 2,6W de radiación luminosa. Esta potencia emitida de xeito omnidireccional ilumina unha habitación sen perigo, mesmo se miramos directamente á lámpada uns segundos non pasará nada. Esta mesma potencia concentrada nun feixe láser, moi directivo, podería danar definitivamente a retina dunha persoa.

9. POTENCIA RADIADA APARENTE (PRA)

A **Potencia Radiada Aparente (PRA)** é a potencia coa que habería que alimentar un dipolo de media onda para que, nun punto determinado do espazo, crease a mesma intensidade de campo que un transmisor determinado coa súa antena dirixida na dirección de máxima radiación. Para un sistema formado por un transmisor, un latiguillo de conexión e unha antena a PRA pode calcularse como:

$$PRA = P_{Emisor} - L_{Cable} + G_{Antena} (dB_d)$$

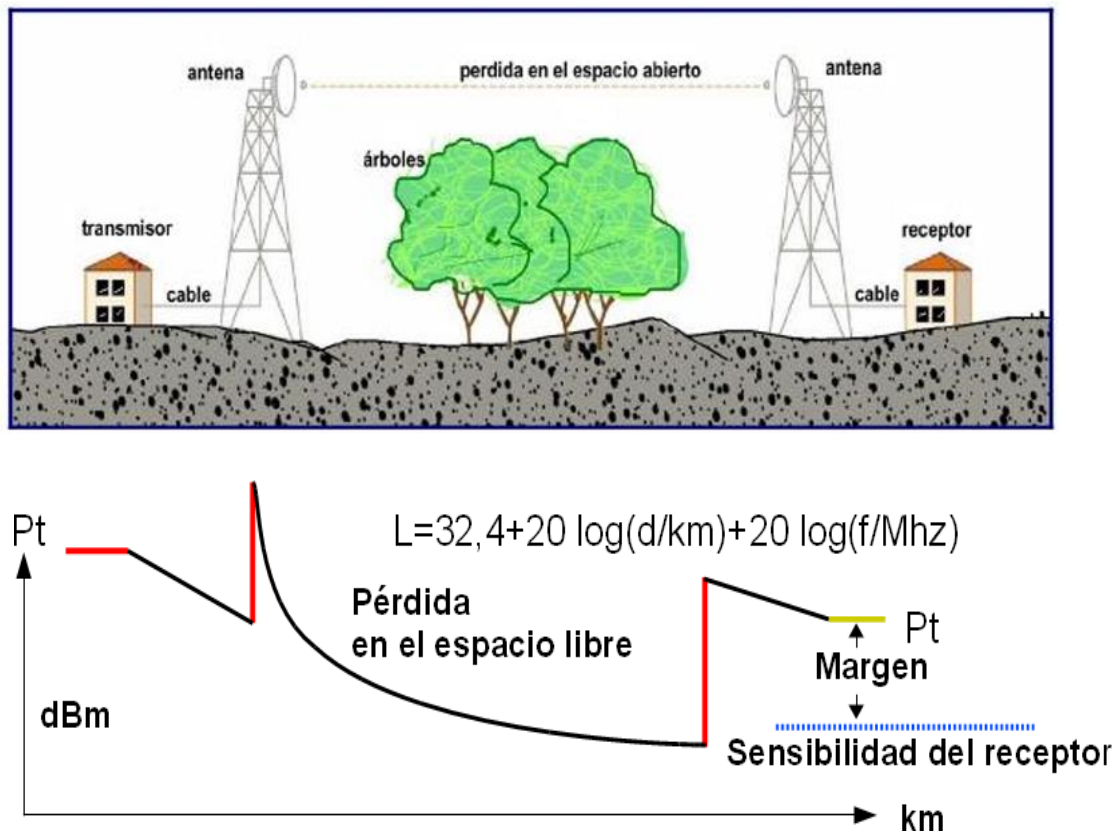
Do mesmo xeito que a PIRE, úsase para establecer límites legais ás emisións radioelétricas.

PIRE e PRA so difiren nas unidades nas que se expresa a ganancia e polo tanto relaciónanse segundo a expresión:

$$PRA = PIRE - 2,15 \text{ dB}$$

10. PRESUPUESTO DE POTENCIA DUN RADIOENLACE

Un presupuesto (de potencia) dun radioenlace completo é simplemente a suma de todos os aportes (en decibelios) no camiño, como pode verse na seguinte figura:



Marxe de recepción = Potencia do transmisor[dBm] - Pérdas no cable TX[dB] + Ganancia da antena TX[dBi] - Pérdas no espazo libre[dB] + Ganancia da antena RX[dBi] - Pérdas no cable de RX[dB] - Sensibilidade do receptor[dBm]

Un presupuesto de potencia dun enlace positivo (para obter unha calidade moderada debería obterse un valor a partir de 4 dB), xunto coa avaliación de se polo menos o 60% da primeira zona de Fresnel está libre pode ser o primeiro paso á hora de avaliar se un radioenlace é viable cun determinado equipo. Con todo a análise vista aquí é aproximada e deixa moitos aspectos sen cubrir. A mellor alternativa é empregar algún software de simulación que dará resultados máis precisos tendo en conta máis parámetros e empregando un modelo de propagación máis complexo que o das perdas no espazo libre.