

TEMA 4: ANTENAS

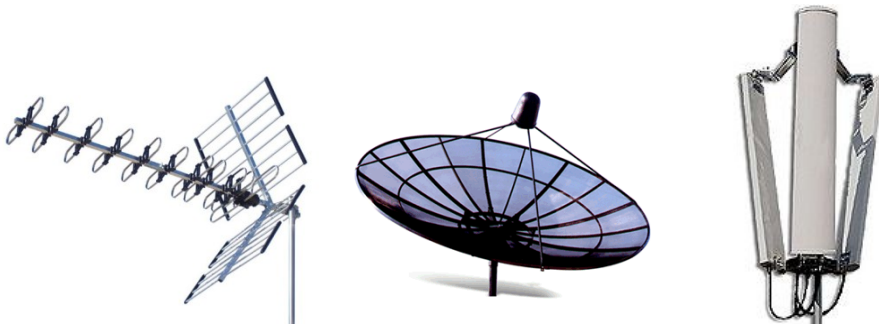
TÁBOA DE CONTIDOS:

INTRODUCCIÓN.....	2
4.1. DIAGRAMA DE RADIACIÓN.....	3
4.2. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DAS ANTENAS.....	6
4.3. MEDIDAS DE RADIACIÓN. FACTOR DE ANTENA.....	9
4.4. POTENCIA ISOTRÓPICA RADIADA EQUIVALENTE (PIRE).....	10
4.5. POTENCIA RADIADA APARENTE (PRA).....	10
4.6. PRESUPUESTO DE POTENCIA DUN RADIOENLACE.....	11
4.7. TIPOS DE ANTENAS	12
4.7.2. DIPOLO SIMPLE	12
4.7.3. DIPOLO DOBRADO.....	13
4.7.4. ANTENA MARCONI OU DIPOLO DE $\lambda/4$	13
4.7.5. DIPOLO CURTO	14
4.7.6. ANTENA LOGOPERIÓDICA.....	15
4.7.7. ANTENA YAGI OU YAGI-UDA	15
4.7.8. ARRANXOS DE ANTENAS.....	17
4.7.9. BUCINAS.....	19
4.7.10. ANTENAS PARABÓLICAS	19
4.7.10.1. ANTENA DE FOCO PRIMARIO.....	20
4.7.10.2. ANTENA DE OFFSET	21
4.7.10.3. ANTENA CASSEGRAIN.	21
4.7.11. ANTENAS PLANAS (PATCH) E SECTORIAIS	23
4.7.12. ANTENAS HELICOIDAIS	23
4.7.13. ANTENA BIQUAD.....	24
4.7.14. ANTENA DE GUÍA DE ONDA.....	24
4.7.15. RANURAS.....	25
4.7.16. CABLES COAXIAIS RADIANTES	25
4.8. INSTALACIÓN DE ANTENAS.....	26

INTRODUCCIÓN

As Antenas son as partes dos sistemas de telecomunicación especificamente deseñadas para radiar ou recibir ondas electromagnéticas. Tamén 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, bucinas, reflectores). Unha contribución moi importante foi o desenvolvemento dos xeradores de microondas (como o magnetron e o klystron) que permiten traballar con frecuencias superiores a 1 GHz.

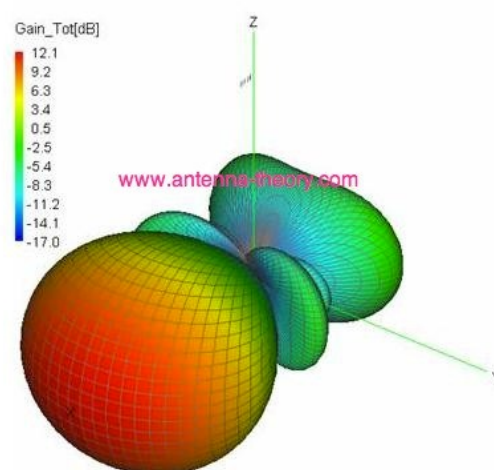
Nas décadas de 1960 a 1980 os avances en arquitectura e tecnoloxía de computadores tiveron un gran impacto no desenvolvemento da moderna teoría de antenas. Os métodos numéricos desenvolvidos a partir de 1960 permitiron a análise de estruturas inabordables por métodos analíticos.

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

4.1. DIAGRAMA DE RADIACIÓN

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

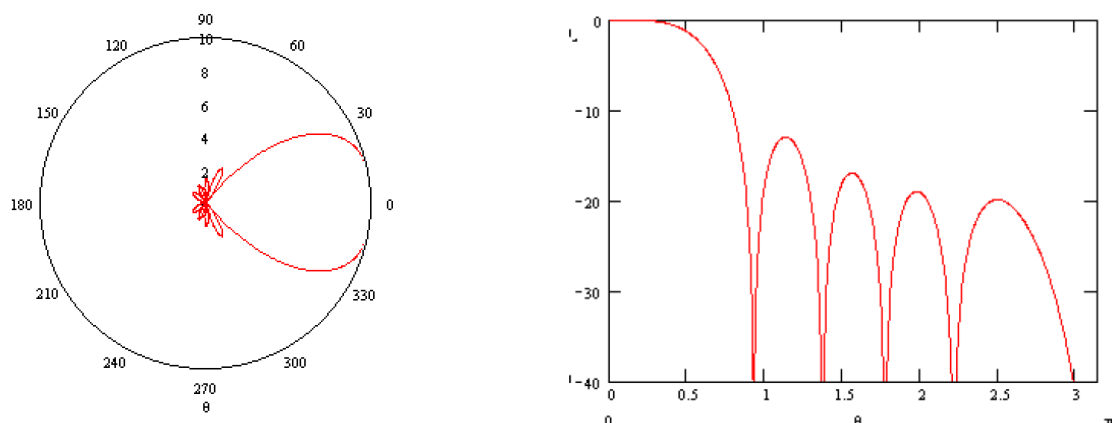
Pódese representar o campo eléctrico ou a densidade de potencia radiada aínda que o máis común é representar a relación, expresada en dB, entre a potencia radiada nesa dirección respecto da dirección de máxima radiación. As formas de representación poden ser tridimensionais ou bidimensionais, en escalas 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 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 unha emisor e, do mesmo xeito, como captará a antena as potencias provenientes das diferentes direccións.

4.1.1. CLASIFICACIÓN DAS ANTENAS SEGUNDO O SEU DIAGRAMA DE RADIACIÓN

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

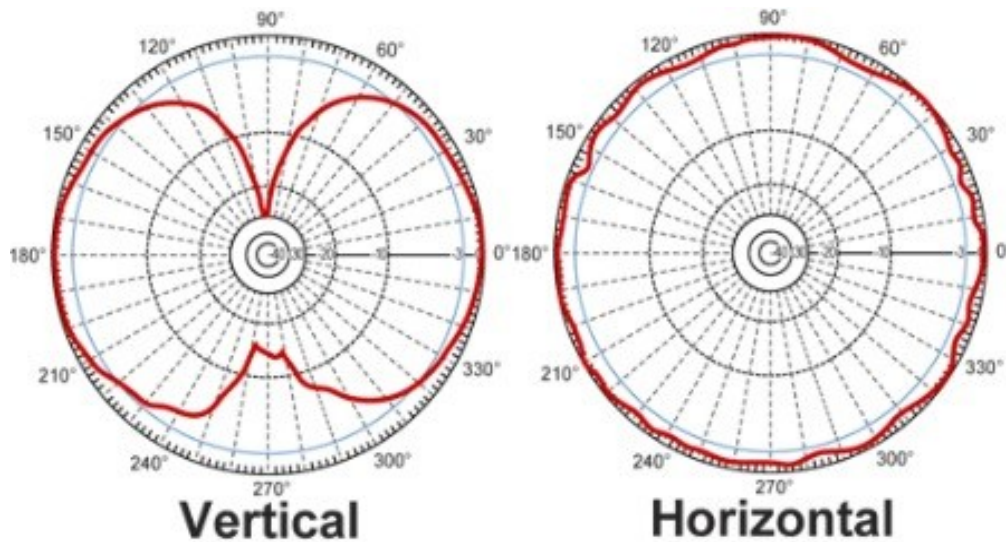


Omnidireccionais:

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.

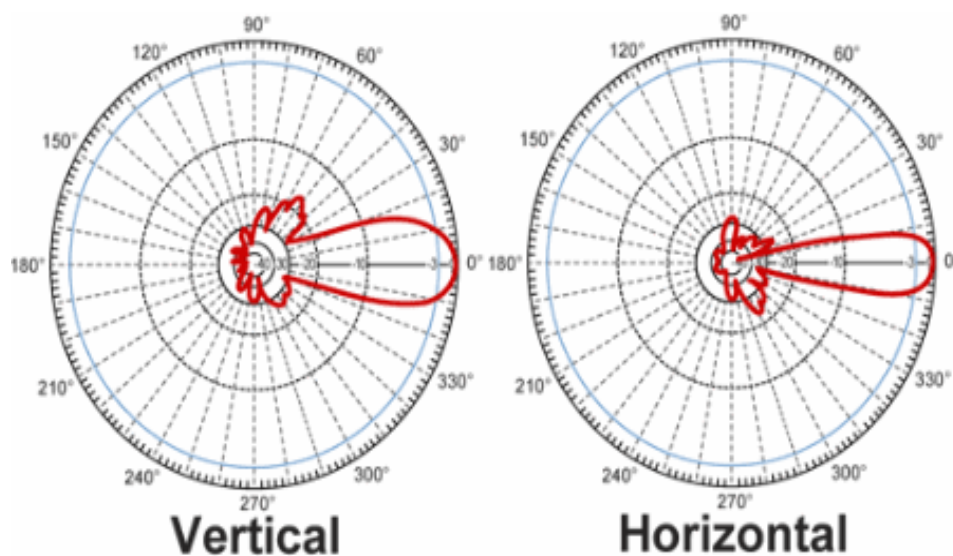
En xeral cando falamos de antenas omnidireccionais referímonos ás que emiten de xeito homoxéneo no plano horizontal xa que en xeral non resulta interesante

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.



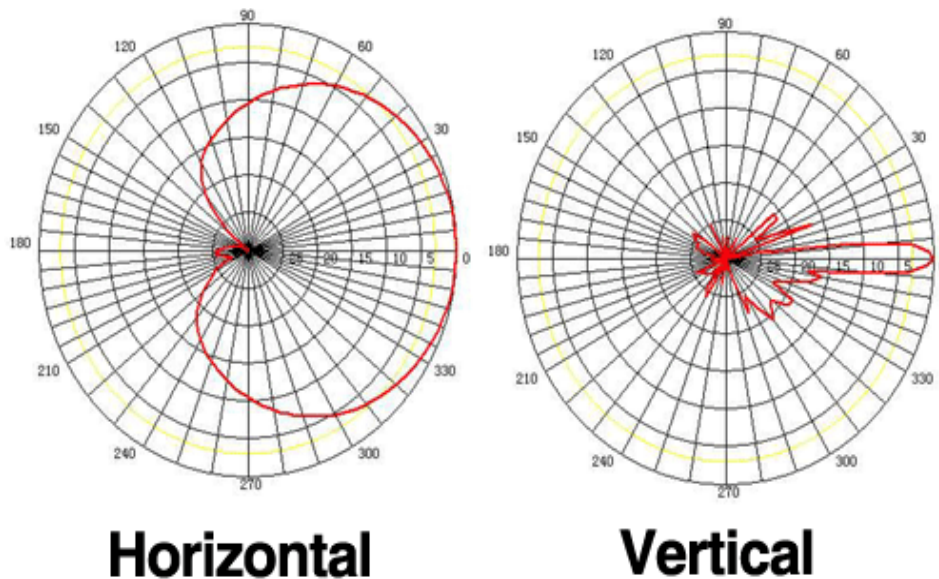
Direccionais:

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.



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.



4.2. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DAS ANTENAS.

4.2.1. 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.

Un parámetro similar é a **directividade**, a diferenza é que a definición de **directividade** é a **igualdade de potencia radiada pola antena**, mentres que a de **ganancia** é a **igualdade de potencia entregada á antena**. A diferenza entre ambas potencias é a potencia disipada pola antena debida ás perdas.

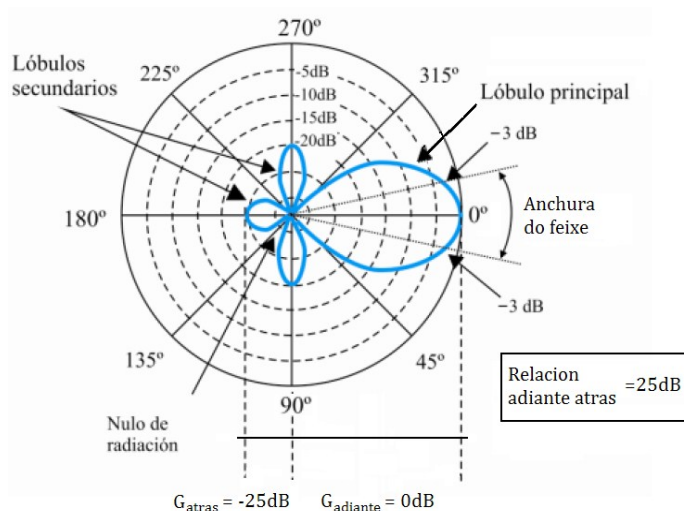
A **eficiencia** é a relación entre a potencia radiada por unha antena e a potencia entregada á mesma. A eficiencia é un número comprendido entre 0 e 1. A relación entre a ganancia e a directividade é a eficiencia, se unha antena non ten perdas óhmicas, a directividade e a ganancia son idénticas.

4.2.2. 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.

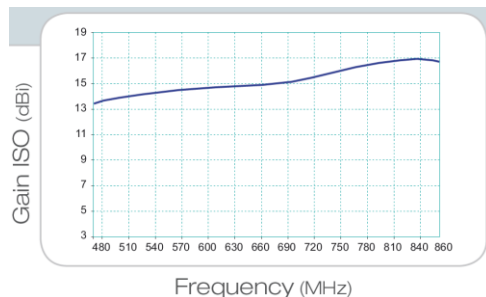


4.2.3. ANCHO DE BANDA

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 de outro 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 da ganancia da antena en función da frecuencia, en estes casos deberemos supor que a ROE se manterá nun valor razoablemente pequeno no rango de frecuencias presentado na gráfica.



4.2.4. 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 de este dependerá o grao de interferencia entre as canles.

4.2.5. IMPEDANCIA

A impedancia dunha antena defínese como a relación entre a tensión e a corrente nos seus terminais de entrada. Esta impedancia é en xeral complexa, a parte real denomínase resistencia de antena e a parte imaxinaria reactancia de antena.

Defínese a **resistencia de radiación** (R_{rad}) como a relación entre a **potencia total radiada** por unha antena e o valor eficaz da corrente nos seus terminais de entrada elevada ao cadrado.

Refínese a **resistencia óhmica** (R_{Ω}) dunha antena como a relación entre a **potencia disipada por efecto de perdas resistivas** e a corrente nos seus terminais de entrada elevada ao cadrado.

A resistencia de antena podémola considerar como a suma da resistencia de radiación e a resistencia óhmica: $R_{Antena} = R_{rad} + R_{\Omega}$

Pola súa banda a reactancia da antena provoca unha caída da potencia radiada debido ao aumento da impedancia e á conseguinte diminución da intensidade absorbida pola antena. As antenas, polo xeral, deséñanse de xeito que resoen na súa marxe de frecuencias de utilización e que, polo tanto, a súa reactancia sexa nula no devandito rango. Aínda que resulta imposible deseñar unha antena cunha reactancia nula nunha marxe ampla de frecuencias si que se adoita conseguir que a súa magnitude resulte desprezable respecto da resistencia.

4.3. 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 $\text{dB}\mu\text{V}$, 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:

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

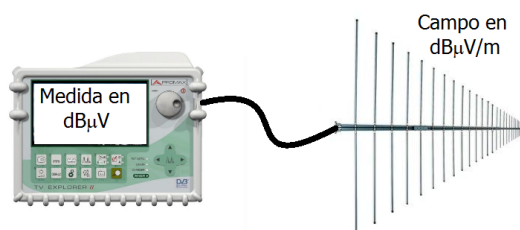
Para sistemas de 50Ω teremos: $P(\text{dBm}) = V(\text{dB}\mu\text{V}) - 107\text{dB}$

O obxectivo, nembargante, 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 bornes da antena en $\text{dB}\mu\text{V}$ coa magnitude do campo eléctrico que a creou en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$. A intensidade do campo eléctrico **FS (Field Strength)** pode calcularse como:

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

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



4.4.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:

$$PIRE = P_{Emisor} - L_{Cable} + G_{Antena}(dB_i)$$

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.

4.5.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:

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

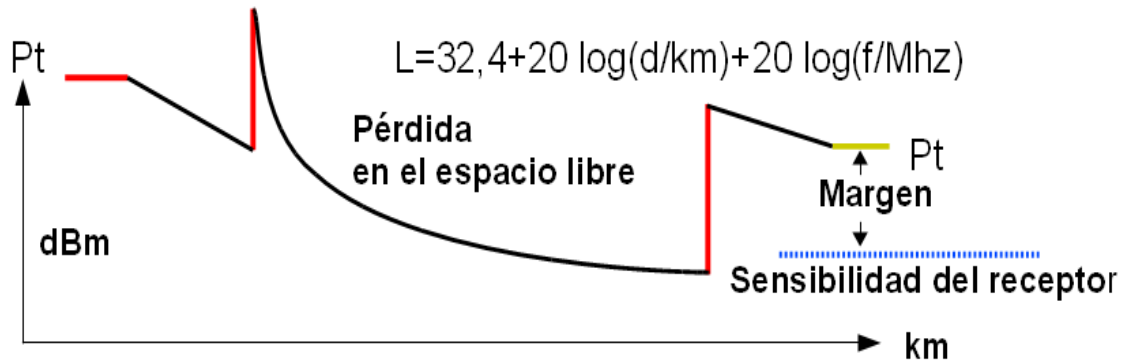
Do mesmo xeito que a PIRE usase para establecer limites legais ás emisións radioelétricas.

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

$$PRA = PIRE - 2,15dB$$

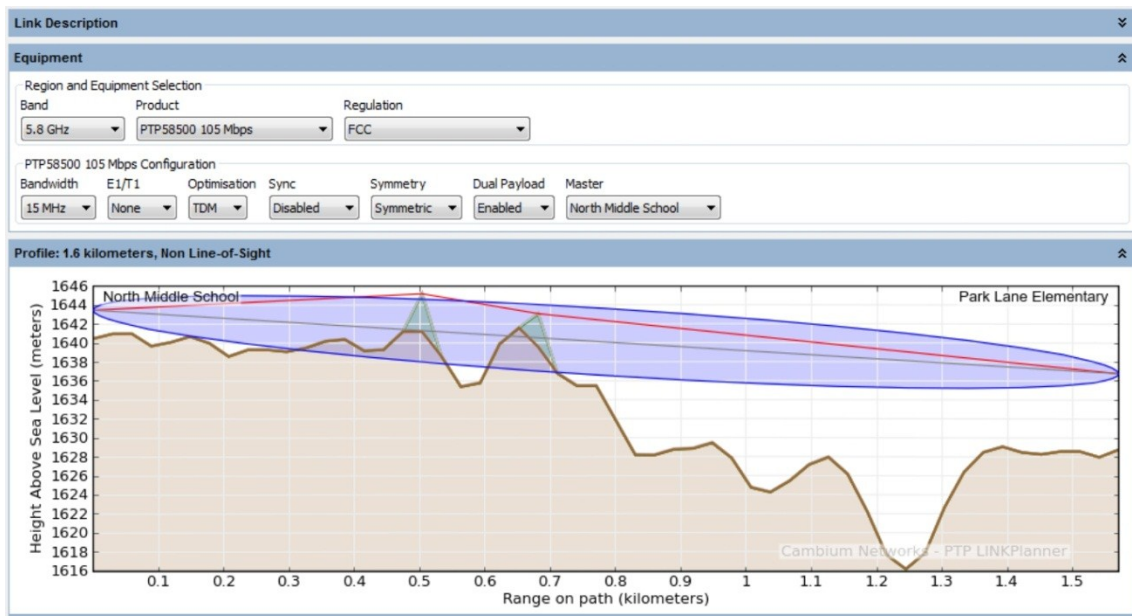
4.6. PRESUPUESTO DE POTENCIA DUN RADIOENLACE

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:



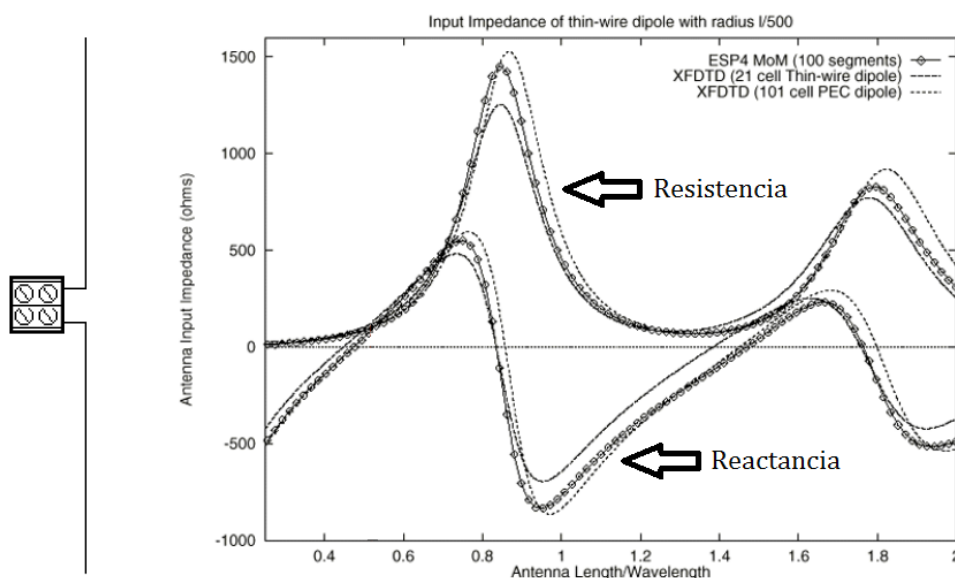
Marxe de recepción = Potencia do transmisor[dBm] – Pérdas no cable TX[dB] + Ganancia da antena TX[dBi] – Pérdas no espazo libre[dB] + Ganancia da antena RX[dBi] – Pérdas no cable de RX[dB] – Sensibilidade do receptor[dBm]

Un presupuesto de potencia dun enlace xunto coa e a avaliación de se polo menos o 60% da primeira zona de Fresnel esta 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 aproximado 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.



4.7. TIPOS DE ANTENAS

Unha varilla de metal partida en dúas seccións polo centro e conectada a unha fonte entre estes puntos centrais e o que chamamos un dipolo. O dipolo presenta unha impedancia complexa para unha determinada frecuencia como a que se mostra na seguinte figura:

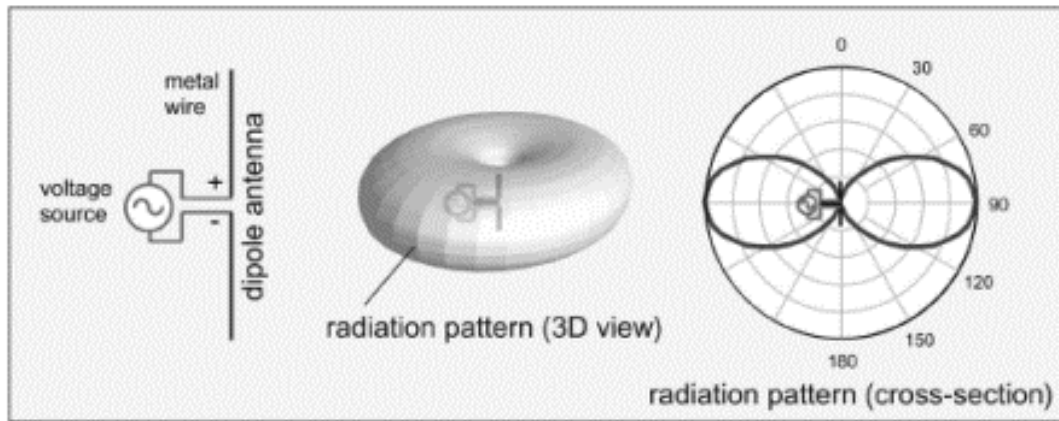


4.7.2. DIPOLO SIMPLE

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 $\lambda/2$. 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.

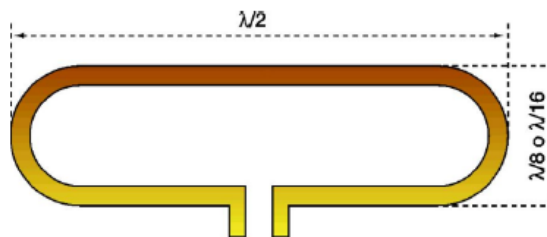


No diagrama de radiación desta antena obsérvase cómo xera campos electromagnéticos en tódalas direccións, excepto na do eixo que contén a propia antena, e a súa dirección de máxima radiación á perpendicular a este eixo. A súa impedancia característica é de aproximadamente 73 ohmios. O ancho de banda 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 antena.



4.7.3. DIPOLO DOBRADO

É unha variante da antena de media onda na que se unen 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 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.

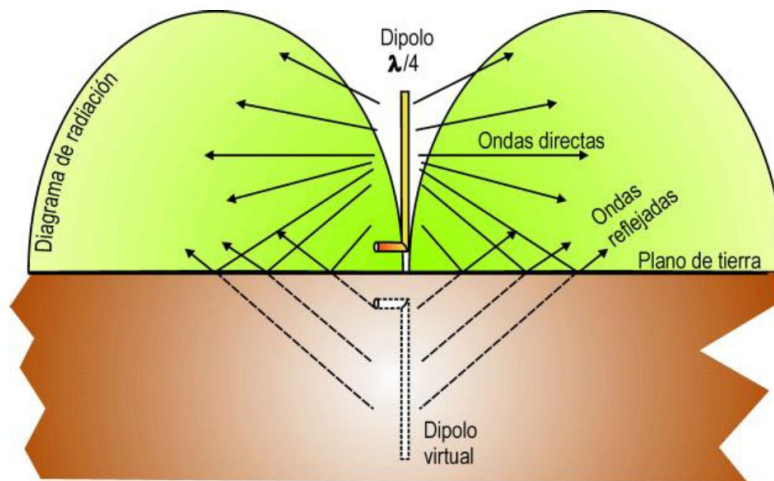
As antenas empregadas maioritariamente para a emisión e recepción de televisión están baseadas no dipolo simple ou dipolo dobrado.

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

Cando se precisa unha antena de pequeno tamaño, pódese recorrer a 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 e a súa impedancia é de en torno a 36Ω . 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.

4.7.5. 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 decima parte da lonxitude de onda. O dipolo curto presenta un diagrama

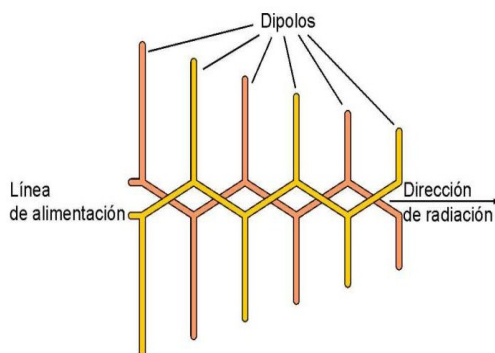
de radiación similar ao do resto dos dipolos vistos ata o de agora. Os problemas do dipolo curto son dous:

- ✓ 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 antenna facendo que o rendemento da mesma sexa extremadamente pobre.

4.7.6. ANTENA LOGOPERIÓDICA

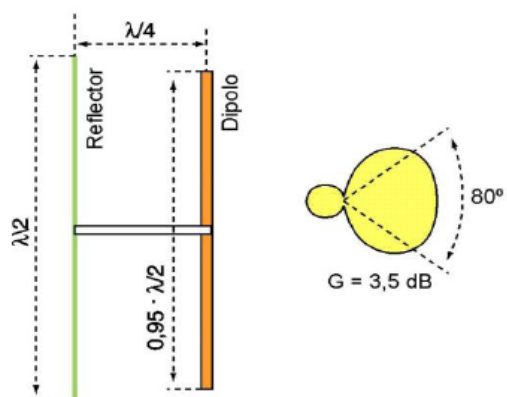
Cando é precisa unha antenna cun gran ancho de banda, pódese recorrer a unha configuración como a antenna logoperiódica. En realidade non é unha única antenna, senón unha asociación de dipolos de media onda de tamaño progresivamente crecente. O resultado é unha antenna directiva na dirección na que están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



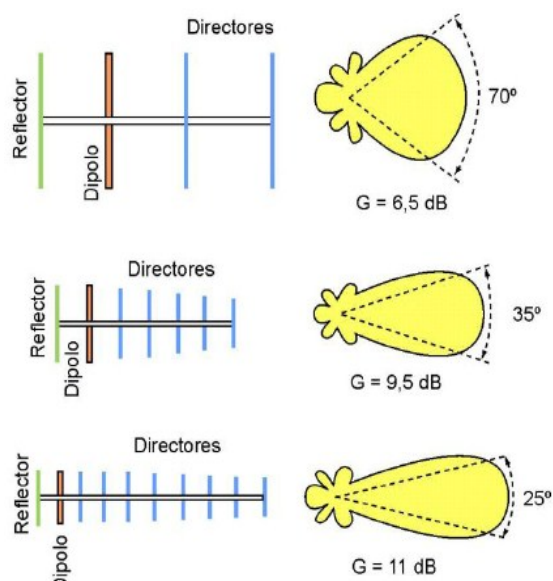
4.7.7. ANTENA YAGI OU YAGI-UDA

A antenna mais utilizada na recepción de televisión é, seguramente, a antenna de canal de ondas ou antenna Yagi. Está formada por un dipolo, simple ou pregado, 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.

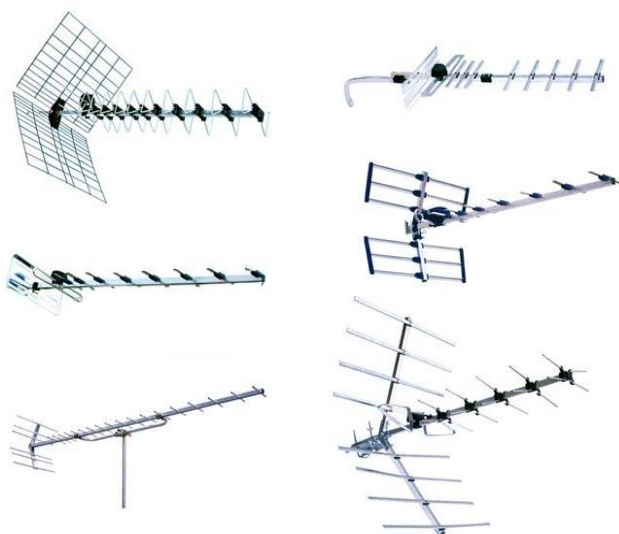


- ✓ **Directores:** Unha varilla (ou varias paralelas) de lonxitude lixeiramente mais curta ca do dipolo e separadas en torno a $\lambda/8$ respecto deste, funcionara como un **director**. Un director alargará o diagrama de radiación, facéndoo mais directivo e con maior ganancia na dirección na que esta 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.



4.7.8. 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 compórtanse 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.

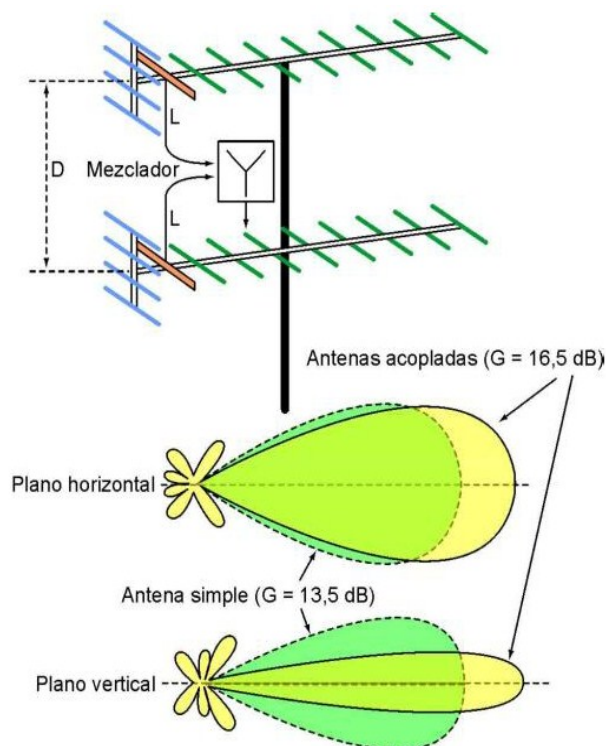
O feito de estreitar o lóbulo principal dunha asociación de antenas confírelle unha utilidade interesante en instalacións receptoras, xa que podemos utilizala para evitar interferencias procedentes de reflexións cando estas sexan un problema.

Na figura da dereita ilustrase 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**:

Se colocamos un conxunto de dipolos próximos entre si e os alimentamos co mesmo sinal, observaremos que as antenas interfírense, modificando o diagrama de radiación e a ganancia da antena orixinal. A forma na que se modifica depende da distancia de separación, habitualmente búscanse estruturas que incrementen a directividade. Se combinamos esta estrutura co uso dun reflector pasivo, conséguese



aumentar considerablemente directividade sen empregar directores. Ademais, ao empregar varios dipolos, a potencia aplicada repártese entre eles, resultando por iso especialmente aconsellable para sistemas de emisión. Estas antenas fórmanse frecuentemente enfasando catro dipolos a través dunha liña de transmisión simétrica, obténdose ganancias duns 13 dBi.

Antenas intelixentes

A característica principal dunha antena intelixente é que o seu diagrama de radiación é modificable, podendo adaptalo a diferentes aplicacións ou necesidades. Isto conséguese controlando de maneira individual a amplitude e fase do sinal que alimenta a cada un dos elementos do arranxo.

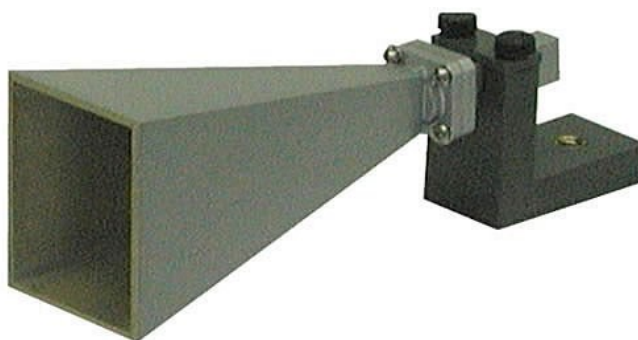
As antenas intelixentes proporcionan múltiples vantaxes:

- ✓ **Incremento da zona de cobertura:** Dado que a ganancia é maior que no caso de antenas omnidireccionais ou sectoriais focalizando mellor a enerxía radiada na dirección desexada.
- ✓ **Redución da potencia de transmisión:** A maior ganancia da antena permite diminuír a potencia total radiada.
- ✓ **Redución da propagación multitraxecto:** Debido á menor dispersión angular da potencia radiada, redúcese o número de traxectorias que pode seguir o sinal antes de chegar ao receptor.

- ✓ **Mellora da seguridade:** Grazas a que a transmisión é máis direccional, hai unha probabilidade moi baixa de que un equipo alleo intercepte a comunicación.
- ✓ **Introdución de novos servizos:** Ao poder identificar a posición de usuarios pódese aplicar a radiolocalización, tarificación xeográfica, publicidade en servizos próximos...

4.7.9. BUCINAS

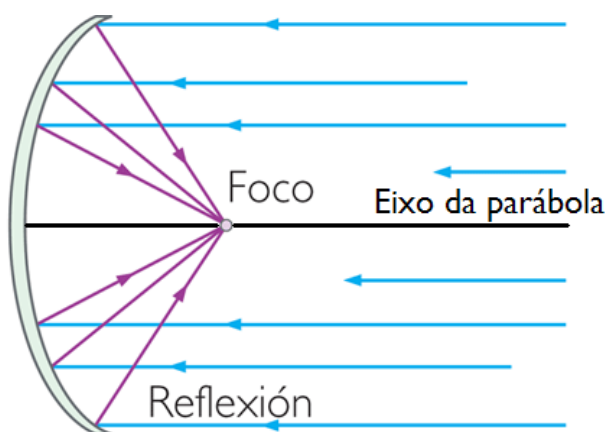
Este tipo de antena utilízase en frecuencias da banda SHF, onde o sinal aplícase a través dunha guía de ondas. En realidade, trátase dun ensanche desta guía, formando unha especie de embude, que pode ser circular, cadrado ou rectangular.



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.

4.7.10. ANTENAS PARABÓLICAS

O funcionamento de este tipo de antenas basease 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 sitúarase 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 de esta.

A misión da parábola, polo tanto, é concentrar o sinal recibido en toda a superficie do mesmo 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.

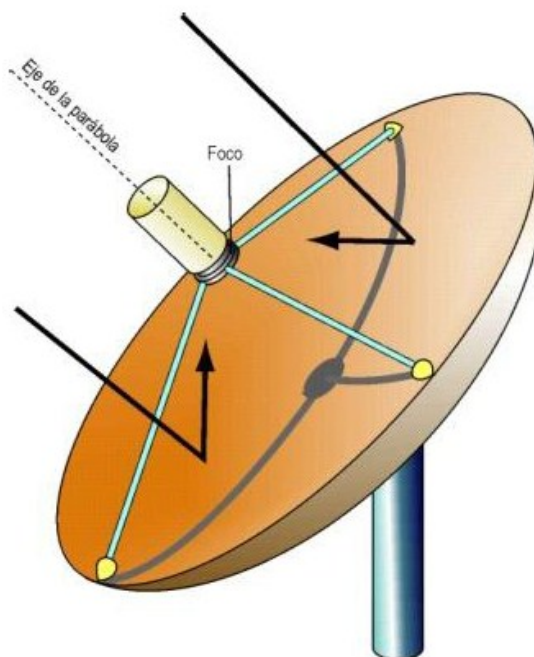
Naturalmente, o principio de funcionamento é reversible, utilizándose tamén en antenas emisoras. Neste caso a misión do paraboloide será enviar toda a potencia radiada polo elemento activo nun feixe practicamente unidireccional paralelo ao seu eixo.

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).

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

4.7.10.1. ANTENA DE FOCO PRIMARIO

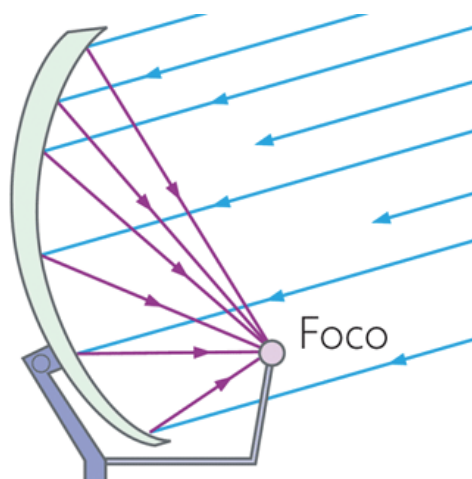
Na antena de foco primario empregase como reflector un anaco de parábola centrado no eixo da mesma de xeito que o alimentador sitúase no centro da parábola. O alimentador e o seu soporte sitúanse, polo tanto, no camiño da radiación que incide sobre a parábola de xeito que limitan bastante a ganancia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



4.7.10.2. ANTENA DE OFFSET

O principal problema das antenas parabólicas anteriores é a zona 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.

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 mostra a figura. Ao eliminar as zonas de sombra, o rendemento sitúase no contorno do

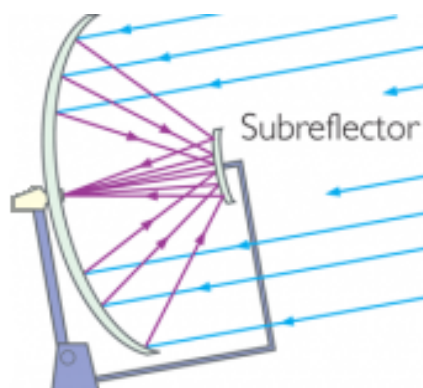


80 %, incluso para antenas de pequeno tamaño. Por iso, a ganancia da antena aumenta ata case o dobre, a igualdade de superficie e frecuencia, se a comparamos cunha antena de foco primario. Isto xustifica o seu alto grao de implantación.

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 antena. Por isto, nas operacións de axuste, deberase introducir unha corrección na elevación da antena, o valor de este desprazamento é proporcionado polo fabricante.

4.7.10.3. 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 da emisión. Ao incidir sobre o reflector parabólico, os sinais procedentes da dirección do eixo 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 chéganlle 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 antena estará onde sexa necesaria unha antena 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%.

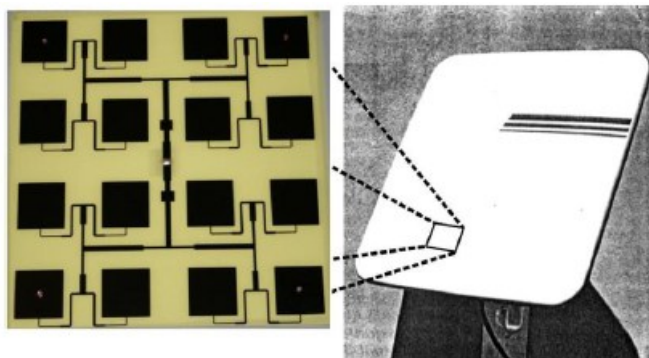
As vantaxes da antena Cassegrain son, fundamentalmente dúas. A primeira ten que ver coa distancia ao foco ao aumentar o tamaño da parábola, ao traballar con parabólas de gran tamaño nos modelos anteriores haberá que colocar o alimentador moi lonxe da parábola o que non resulta práctico, nunha Cassegrain 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 antena máis indicado para empregar con alimentadores grandes e complexos xa que nin hai que colocalos nun soporte nin proxectan sombra algunha sobre a parábola.

Estas dúas vantaxes fan que a antena 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.



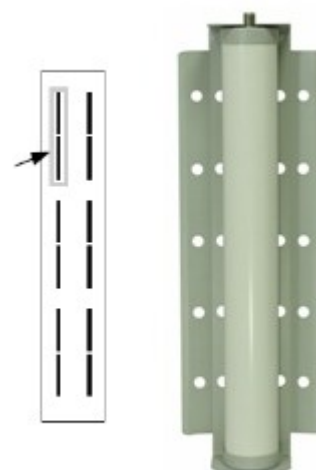
4.7.11. ANTENAS PLANAS (PATCH) E SECTORIAIS

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 2,5cm.



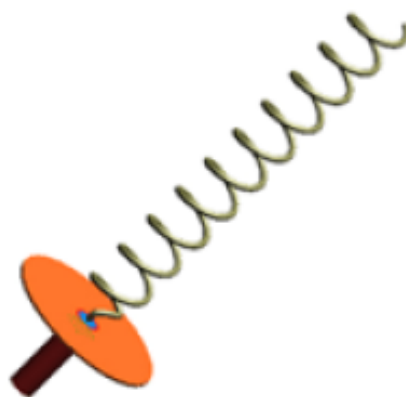
Con estes tamaños será posible colocar, nun espazo reducido, un gran número de pequenos dipolos unidos por unha rede de alimentación. Esta rede encargarse de sumar os sinais procedentes de tódalas pequenas antenas coa fase axeitada (en recepción) ou de alimentar a todas elas coas fases axeitadas (en emisión). Este é o xeito en que están construídas a maioría das antenas planas, incluídas as sectoriais.

Tamén se pode construír unha antena sectorial co unha antena omnidireccional e un reflector colocado dun modo axeitado.



4.7.12. ANTENAS HELICOIDAIS

A antena helicoidal produce unha onda con polarización circular. As ondas con polarización circular non cambian a súa polarización cando se reflicte nun obxecto, isto é unha vantaxe cando se pretende aproveitar esas reflexións. Ao establecer un enlace entre unha antena de polarización circular e unha de polarización lineal as perdas por desadaptación son de 3 dB.



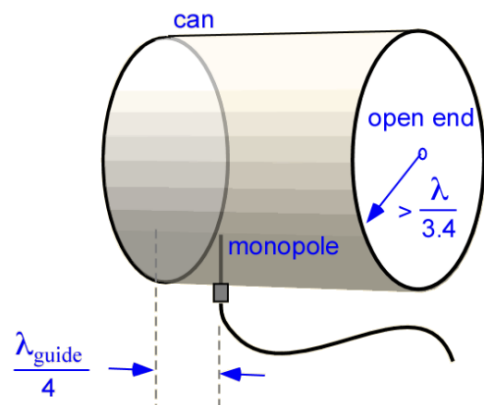
4.7.13. ANTENA BIQUAD

A antena BiQuad é unha antena direccional sinxela de construír, habitual en deseños “caseiros” que ofrece ganancias relativamente elevadas (10 – 12 dBi) e unha anchura de feixe en torno a 70°. Esta formada por dous cadrados metálicos de lado $\lambda/4$ e un reflector metálico. Pode ser usada por si mesma ou como alimentador dunha parábola. Produce polarización linear.



4.7.14. 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). Ao igual que a BiQuad pode ser usada por si mesma ou como alimentador dunha parábola.

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 calculase a partir do diámetro da lata e a lonxitude de onda empregada como:

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

Por exemplo cunha lata de diámetro 8,8 cm para WiFi a 2,4GHz ($\lambda = 12,3\text{cm}$) teremos: $\lambda_G = \frac{12,3}{\sqrt{1 - \left(12,3 / (1,706 \cdot 8,3)\right)^2}} = 24,8 \text{ cm}$, logo $\lambda_G/4 = 6,2 \text{ cm}$.

4.7.15. RANURAS

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

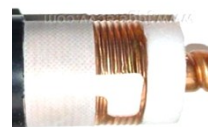


4.7.16. CABLES COAXIAIS RADIANTES

Unha solución moi novidosa son os cables coaxiais que actúan ao mesmo tempo como antenas distribuídas ao longo do cable. O principio de funcionamento é moi similar ao das guías de ondas ranuradas, orificios dunha forma particular son practicados cada certa distancia na blindaxe do coaxial constituíndo pequenas antenas elementais. Ademais teñen ancho de banda suficiente para levar polo mesmo cable radiante sinais de telefonía móbil e redes de datos inalámbricas.

Esta tecnoloxía tense usado xa para dar cobertura deste tipo de servizos nos túneles do metro de algunhas cidades e en algúns túneles de estradas que, por estar rodeados dunha malla metálica (a armadura do formigón) son lugares particularmente problemáticos para as ondas electromagnéticas.

Estas solucións poden resultar dunha gran utilidade en edificios nos que, polas súas características construtivas, os sinais de radio experimenten dificultades para atravesar as paredes, muros ou outros obstáculos. Tamén resultan unha solución axeitada en edificios de gran tamaño (factorías, hospitais, facultades, museos, concellos...) onde nos aforraremos colocar un gran número de puntos de acceso garantindo ademais unha cobertura moito máis homoxénea que a acadada con estes.



4.8.INSTALACIÓN DE ANTENAS

No proceso de instalación dos sistemas de antenas distinguiremos dúas fases principais: a colocación ou preparación de soportes e a montaxe e orientación das antenas sobre eles.

4.8.2. SOPORTES DE ANTENAS

Os soportes de antenas habitualmente consisten nun tubo cilíndrico que se atopa suxeito a certa distancia da torre ou estrutura de soporte de antenas (mastros, paredes,...). Estes soportes constrúense empregando aceiro galvanizado para evitar a súa corrosión por parte dos axentes meteorolóxicos. Nalgunhas ocasións, para mellorar a súa integración coa contorna ou para aumentar a súa resistencia á corrosión pintaranse.

No caso de torres de celosía, o mecanismo de fixación do soporte debe deseñarse de tal modo que non poida deformar ou danar os perfís da torre. En caso de ser necesario, introducíranse dados cuadrangulares ou triangulares para evitar danos.

Os soportes, así como as antenas, deberán conectarse correctamente a terra. A subida das antenas e os soportes até á súa localización na torre deberán realizarse sempre mediante o uso de dúas cordas, unha para o movemento vertical e outra para afastala horizontalmente da torre e evitar que a golpee.

Os soportes instalaranse na pata ou cara da torre que se atope máis preto do azimut co que se desexen orientar, respectando sempre a distancia mínima entre antenas recollida polas normas do fabricante ou do operador, para evitar interferencias.

4.8.3. ORIENTACIÓN DE ANTENAS

A orientación de antenas realízase en dous eixos: eixo horizontal ou azimut, e eixo vertical ou elevación (tilt).

Azimut

O azimut marca o ángulo que formará a antena respecto ao norte. No caso de antenas de cobertura, orientaranse seguindo a dirección marcada mediante o uso do compás.

É importante lembrar que gran parte das estruturas de soporte de antena son metálicas, polo que deberemos utilizar o compás a unha separación adecuada delas, para evitar falsas lecturas.

No caso das antenas de radioenlaces, realizaremos unha primeira orientación a partir dos datos de proxecto, a cal deberá afinarse posteriormente en ambos os extremos até conseguir o nivel de recepción óptimo.

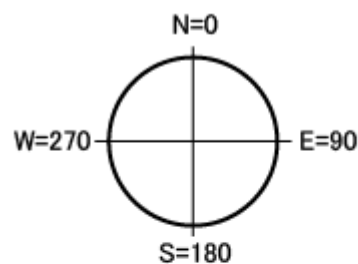
Elevación (tilt)

Ademais da orientación no plano horizontal, algunhas antenas requiren un axuste da súa elevación. Este axuste denomínase tecnicamente en inglés como tilt, sendo especialmente utilizada, para referirse á inclinación cara ao chan, a palabra downtilt.

Algunhas situacións que requiren un axuste preciso da inclinación da antena son:

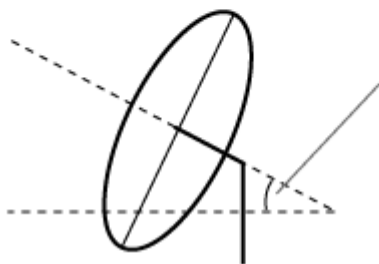
- ✓ Radioenlaces entre puntos con diferenza significativa de altitude.
- ✓ Antenas de cobertura situadas en puntos máis elevados que o obxectivo.
- ✓ Antenas de cobertura situadas en puntos moito máis baixos que o obxectivo.

A maioría das antenas dispoñen no seu soporte dunha escala graduada para coñecer aproximadamente a inclinación respecto da normal. En caso de necesitar unha precisión maior, utilizarase un inclinómetro.



<Azimuth>

- Measured clockwise from north, where north = 0 degree
(Note: An azimuth of 255 degrees points southwest)



<Elevation or Tilt>

- Angle above the horizontal