Capítulo 6: Redes inalámbricas

© Imagen de pexel.com

Capítulo 6: la física de la radio

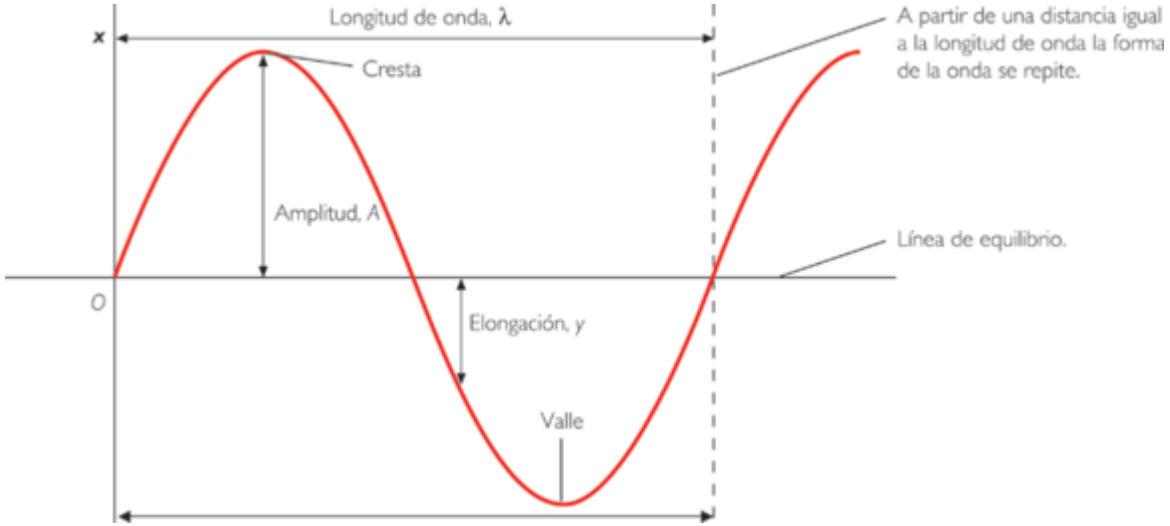
¿Qué es una onda?

una onda (del latín unda) consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, implicando un transporte de energía sin transporte de materia.

Ondas Electromagnéticas

- Hay que tomar en cuenta la longitud de onda, frecuencia y amplitud
- No requieren de la existencia de un medio físico para su desplazamiento
- Ejemplos: la luz, los rayos x, y las ondas de radio

Capítulo 6: la física de la radio



Cresta: Es el punto de máxima elongación o máxima amplitud de la onda.

Periodo: Es el tiempo que tarda la onda en ir de un punto de máxima amplitud al siguiente.

Amplitud: Es la distancia vertical entre una cresta y el punto medio de la onda.

Frecuencia: Es el número de veces que es repetida dicha vibración por unidad de tiempo.

Valle: Es el punto más bajo de una onda.

Longitud de onda: Es la distancia que hay entre el mismo punto de dos ondulaciones consecutivas, o la distancia entre dos crestas consecutivas.

Nodo: Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.

Elongación: Es la distancia que hay, entre un punto de la onda y la línea de equilibrio.

Ciclo: Es una oscilación, o el recorrido desde el nodo que inicia la trayectoria de la cresta hasta el nodo que termina la trayectoria del valle o viceversa.

Velocidad de propagación: Es la velocidad a la que se propaga el movimiento ondulatorio. Su valor es el cociente de la longitud de onda y su período.

Capítulo 6: la física de la radio

Longitud de onda y frecuencia

$$c = f * \lambda$$

c = velocidad (metros/ segundo)

f = frecuencia (ciclos por segundo, o Hz)

λ = longitud de onda (metros)

Si una onda viaja a 1 m/s y oscila 5 veces por segundo, cada onda tendrá una longitud de 20 cm:

```
1 metro/segundo = 5 ciclos/segundo * λ
λ = 1 / 5 metros
λ = 0.2 metros = 20 cm
```

Capítulo 6: la física de la radio

Longitud de onda y frecuencia

Puesto que la velocidad de propagación de la luz (y de todas las ondas electromagnéticas) es de aproximadamente 3×10^8 m/s, podemos calcular la longitud de onda a cualquier frecuencia.

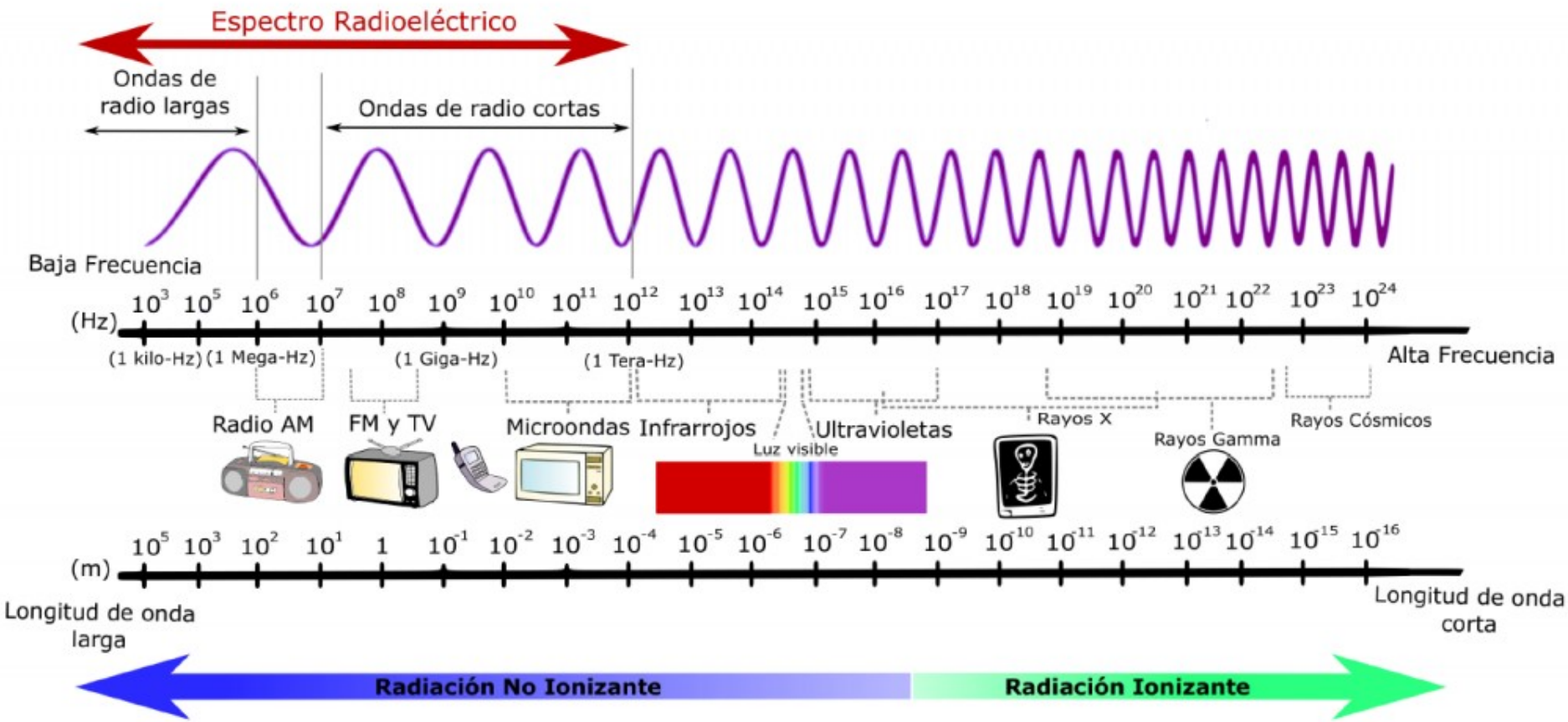
Por ejemplo, la frecuencia de las ondas de las redes inalámbricas ***802.11b/g*** es:

$$f = 2.4 \text{ GHz}$$
$$= 2{,}400{,}000{,}000 \text{ ciclos / segundo}$$

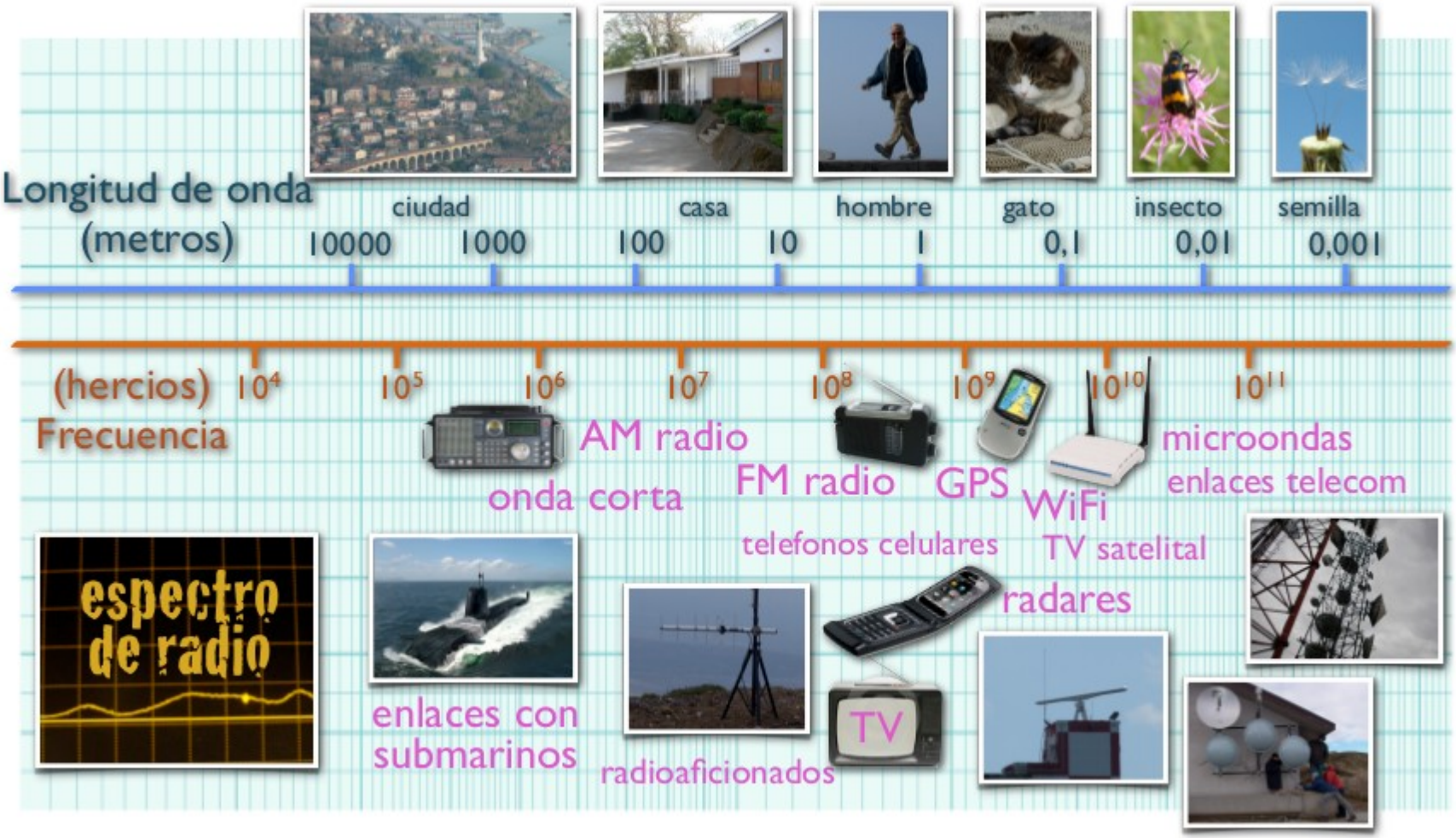
$$\text{longitud de onda } (\lambda) = c / f$$
$$= 3 * 10^8 \text{ m/s} / 2.4 * 10^9 \text{ s}^{-1}$$
$$= 1.25 * 10^{-1} \text{ m}$$
$$= 12.5 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la longitud de onda de 802.11b/g es de alrededor de ***12.5 cm***.

Capítulo 6: la física de la radio



Capítulo 6: la física de la radio



Ermanno Piestrosemoli

Capítulo 6: la física de la radio

Hay unas reglas simples que son de gran ayuda en la planificación inicial de una red inalámbrica:

- Mientras más **larga** la longitud de onda, mayor alcance
- Mientras más **larga** la longitud de onda, atravesará mejor los obstáculos y los rodeará
- Mientras más **corta** la longitud de onda, podrá transportar mayor cantidad de datos

Todas estas simples reglas son fáciles de entender mediante ejemplos.

Capítulo 6: la física de la radio

Propagación de las ondas de radio

Las ondas de radio no se mueven estrictamente en línea recta. En su trayectoria desde el punto “A” hasta el punto “B” , las ondas estarán sujetas a:

- Absorción
- Reflexión
- Difracción
- Refracción

Capítulo 6: la física de la radio

Absorción

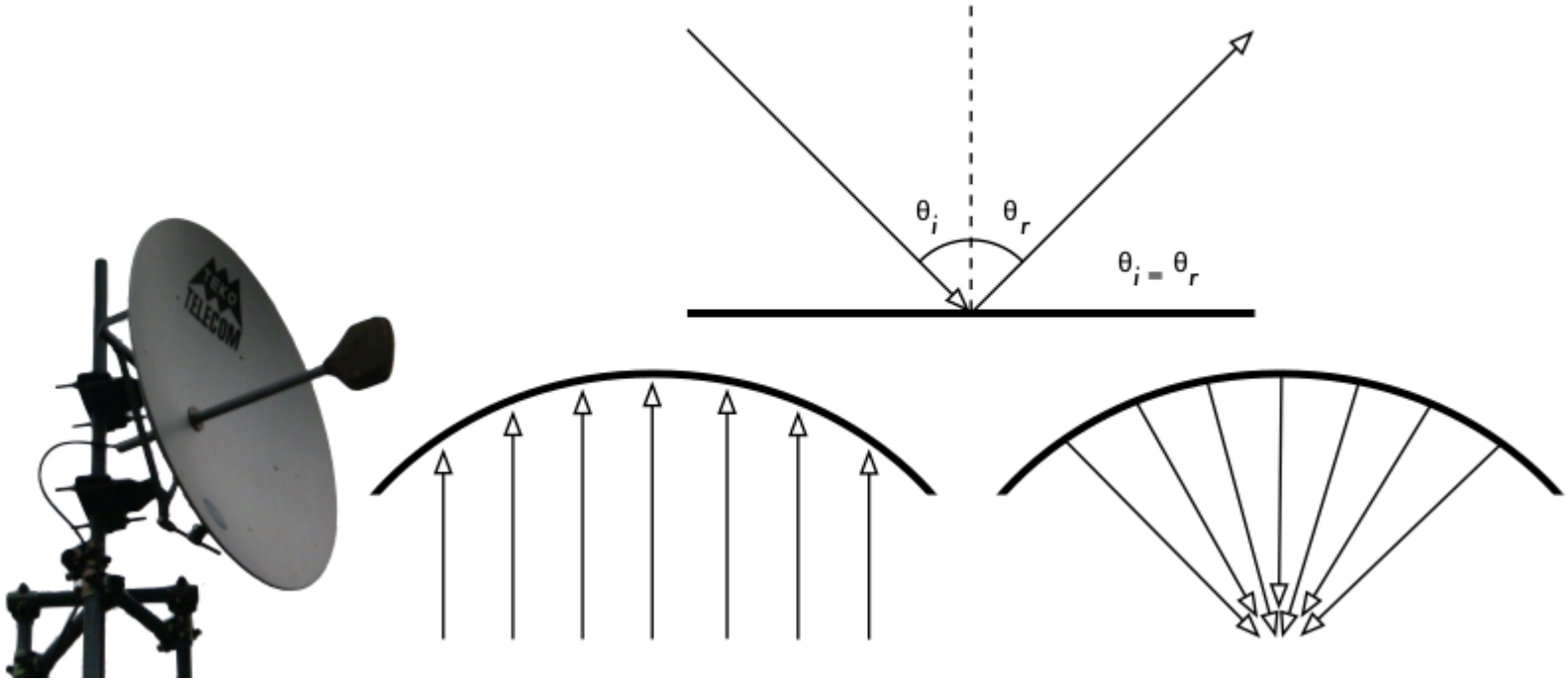
Cuando una onda electromagnética atraviesa algún material, generalmente se verá debilitada o atenuada. Los materiales que absorben energía incluyen:

- **Metal**. Los electrones se mueven libremente en un metal, y por lo tanto se moverán al compás de la onda que lo atraviesa absorbiendo su energía.
- **Agua**. Las moléculas de agua se agitan en presencia de ondas de radio y de esta manera absorben parte de la energía
- Los **árboles** y la **madera** absorben energía en proporción a la cantidad de agua que contienen
- Los **humanos** somos principalmente agua: absorbemos muy bien las ondas de radio!

Capítulo 6: la física de la radio

Reflexión

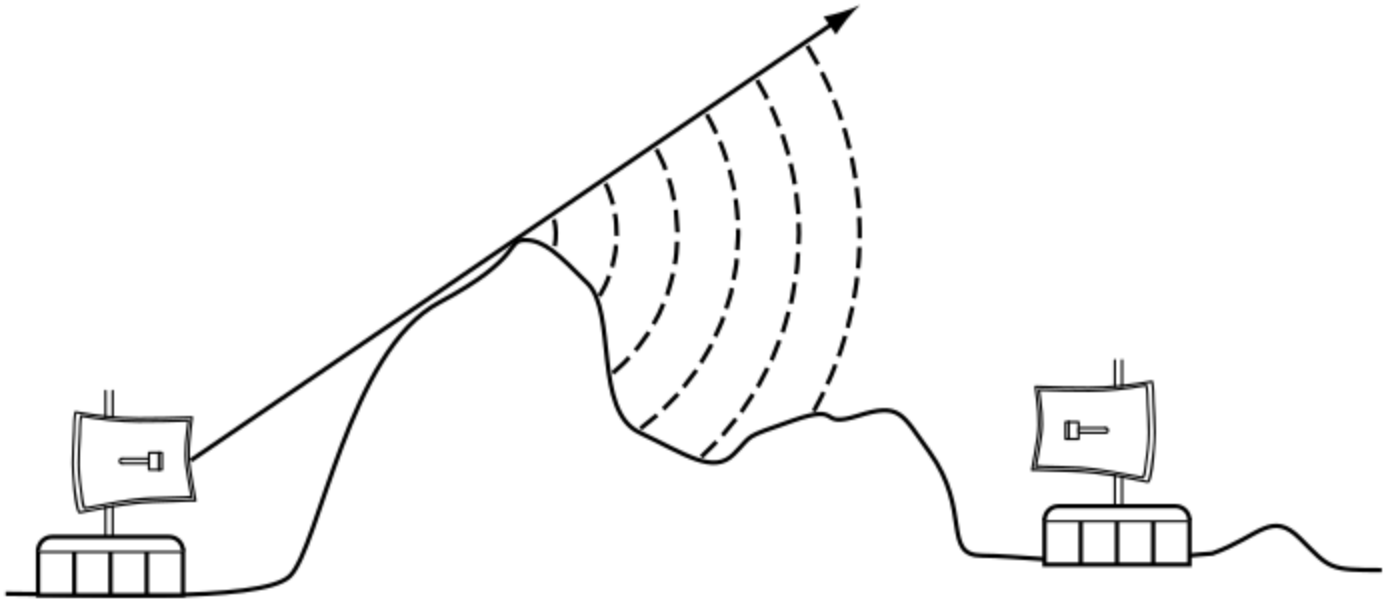
Las reglas para reflexión son muy simples: el ángulo con el que una onda incide en una superficie es el mismo ángulo con el cual es reflejada. El **metal** y el **agua** son excelentes reflectores para las ondas de radio.



Capítulo 6: la física de la radio

Difracción

Debido al efecto de difracción las ondas “dan vuelta” en las esquinas o cambian de dirección en la abertura de una barrera

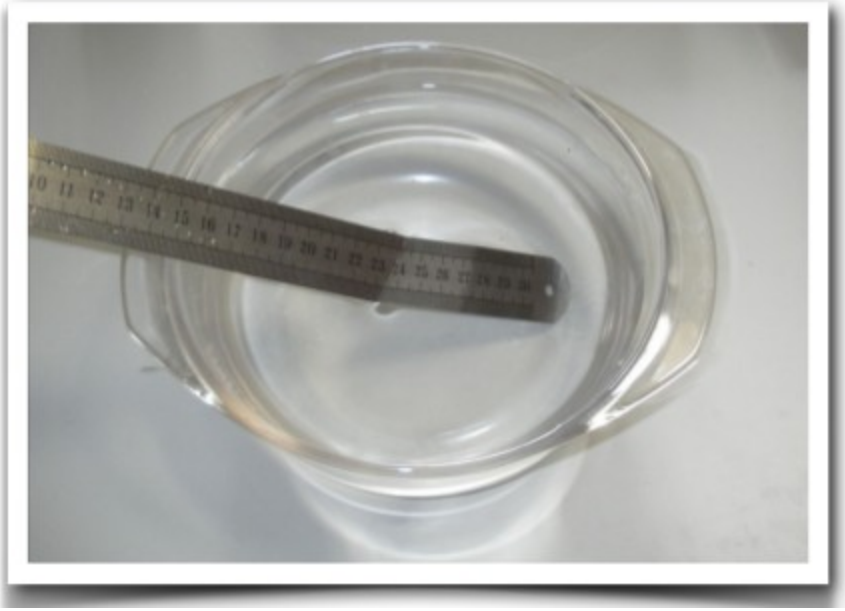


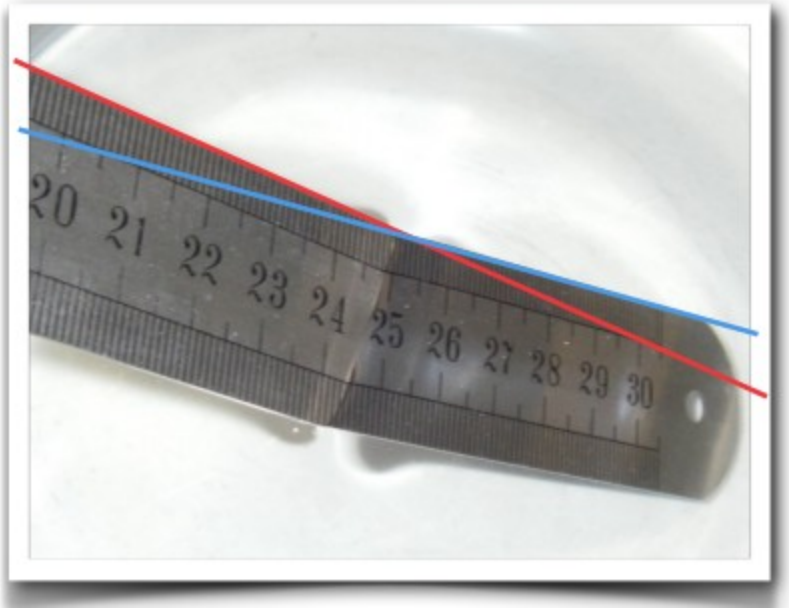
Capítulo 6: la física de la radio

Refracción

La refracción es el cambio de dirección de una onda cuando se encuentra con un material de características diferentes.

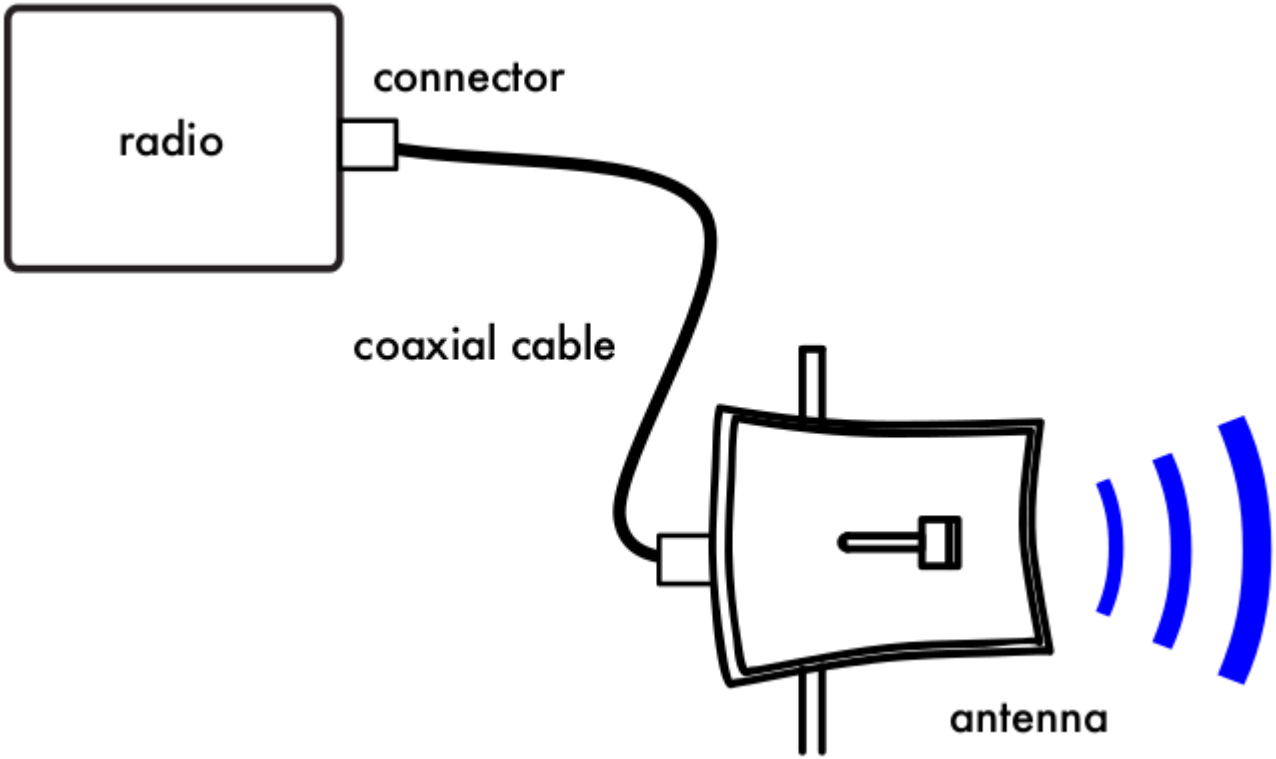
Cuando una onda se mueve de un medio a otro, cambia su velocidad y por ende su dirección al entrar en el nuevo medio.





Capítulo 6: elementos de una red de radio

Elementos de un sistema inalámbrico



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Líneas de Transmisión y Antenas

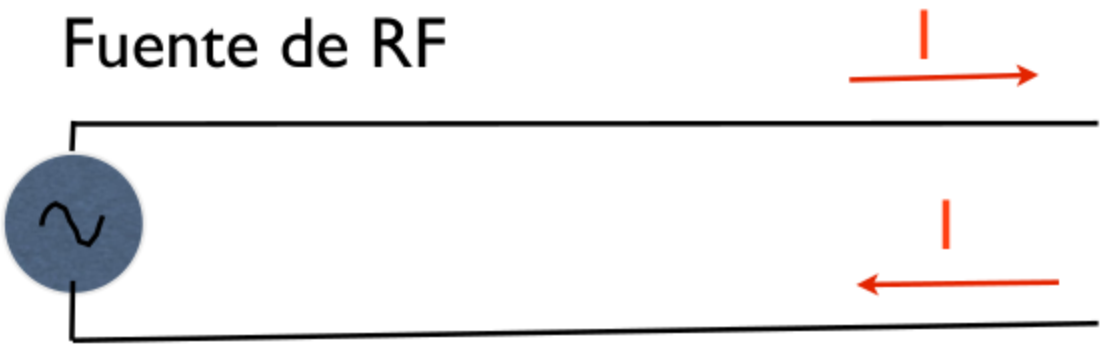
- una **línea de transmisión** es el dispositivo utilizado para guiar la energía de radiofrecuencia (RF) desde un punto a otro (un ejemplo de línea de RF es el cable coaxial).

- una **antena** es la estructura asociada con la región de transición entre una onda guiada a una onda que se desplaza en el espacio libre, por la irradiación de energía de RF.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Línea de transmisión bifilar

Una línea de transmisión bifilar está formada por dos conductores separados por un dieléctrico. La corriente alterna puede circular por la línea de transmisión a pesar de que el extremo esté abierto.

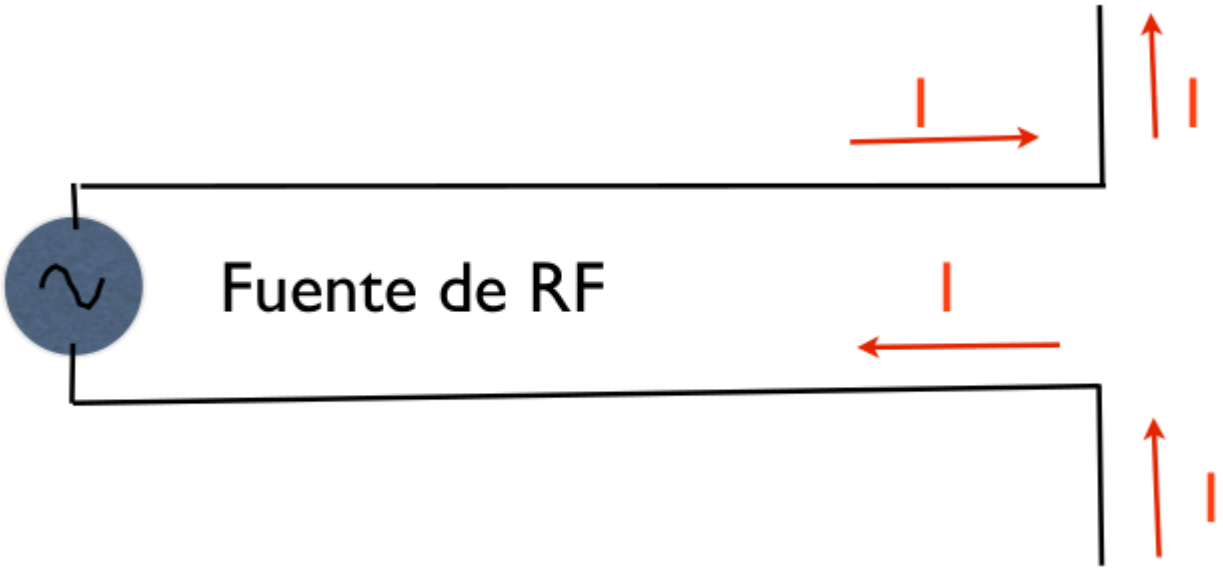


Capítulo 6: elementos de una red de radio

Línea de transmisión bifilar

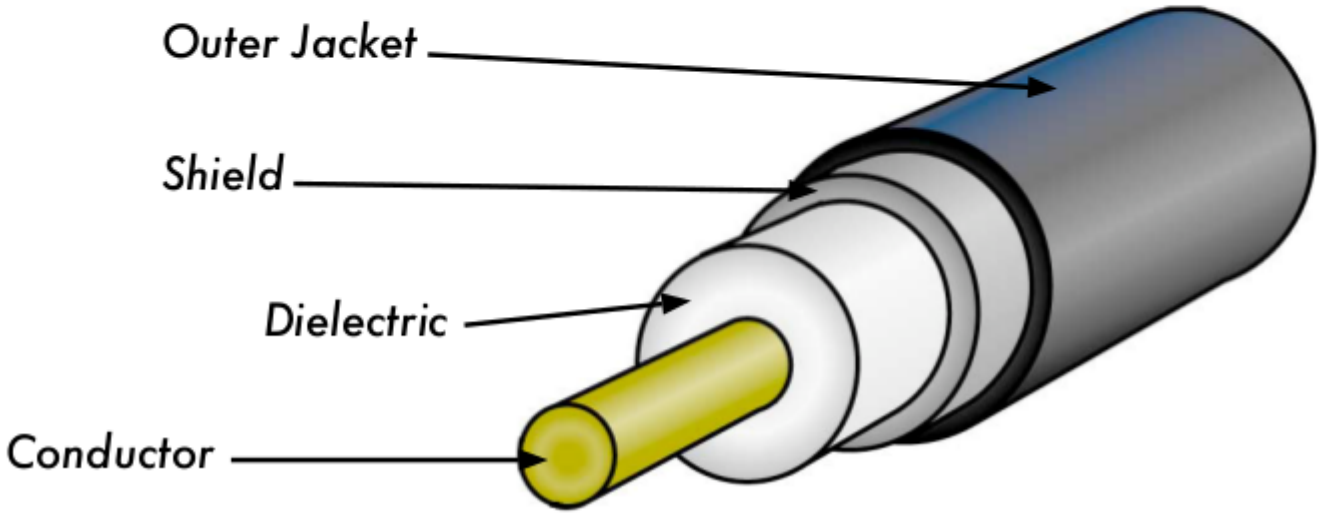
Si doblamos los extremos abiertos de la línea de transmisión en direcciones opuestas, las corrientes en ellos van a generar campos eléctricos que están en fase y se refuerzan mutuamente y por lo tanto se irradian y se propagan a distancia.

Tenemos ahora una antena en los extremos de la línea de transmisión.



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Líneas de transmisión coaxiales



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Líneas de transmisión coaxiales

La pérdida (o atenuación) de un cable coaxial depende de la construcción del cable y de la frecuencia de operación.

La pérdida total es proporcional a la longitud del cable.

Cable Type	Diameter	Attenuation @ 2.4 GHz	Attenuation @ 5.3 GHz
RG-58	4.95 mm	0.846 dB/m	1.472 dB/m
RG-213	10.29 mm	0.475 dB/m	0.829 dB/m
LMR-400	10.29 mm	0.217 dB/m	0.341 dB/m
LDF4-50A	16 mm	0.118 dB/m	0.187 dB/m

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Impedancia

Todos los materiales se oponen al flujo de una corriente alterna en alguna medida. A esta oposición se le llama **impedancia**, y es análoga a la resistencia de los circuitos en corriente continua.

La mayoría de las antenas de telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios, mientras que las antenas y los cables para TV normalmente tienen una impedancia de 75 ohmios.

Asegúrese de que la impedancia característica del cable entre el radio y la antena es de 50 ohmios. Cualquier desadaptación de impedancia causará reflexiones indeseables y pérdidas.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Conectores

Los conectores vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Además de los modelos estándares, los conectores pueden tener polaridad inversa (géneros intercambiados) o roscas invertidas

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Adaptadores y Pigtails

Los adaptadores (transiciones) y pigtails se usan para interconectar diferentes clases de cables y dispositivos.Los conectores vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Además de los modelos estándares, los conectores pueden tener polaridad inversa (géneros intercambiados) o roscas invertidas

SMA hembra a N macho

N macho a N macho

N hembra a N hembra

SMA macho a TNC macho

pigtail U.FL a RP-TNC macho

pigtail U.FL a N macho

SMA macho a N hembra

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Antenas isotrópicas

Una **antena isotrópica** irradia la energía que se le suministra de manera pareja en todas las regiones del espacio. Es sólo un modelo ideal y no puede ser fabricada.

Las antenas reales se caracterizan por irradiar más fuertemente en ciertas direcciones que en otras; esto es lo que se denomina la **directividad** de la antena.

Al tomar en cuenta la eficiencia de la antena, esta preferencia por la radiación en una determinada dirección se denomina la **ganancia** de la antena.

Antena Isotropica

Capítulo 6: elementos de una red de radio

dBi

La antenas no añaden potencia. Ellas dirigen la potencia disponible en una determinada dirección.

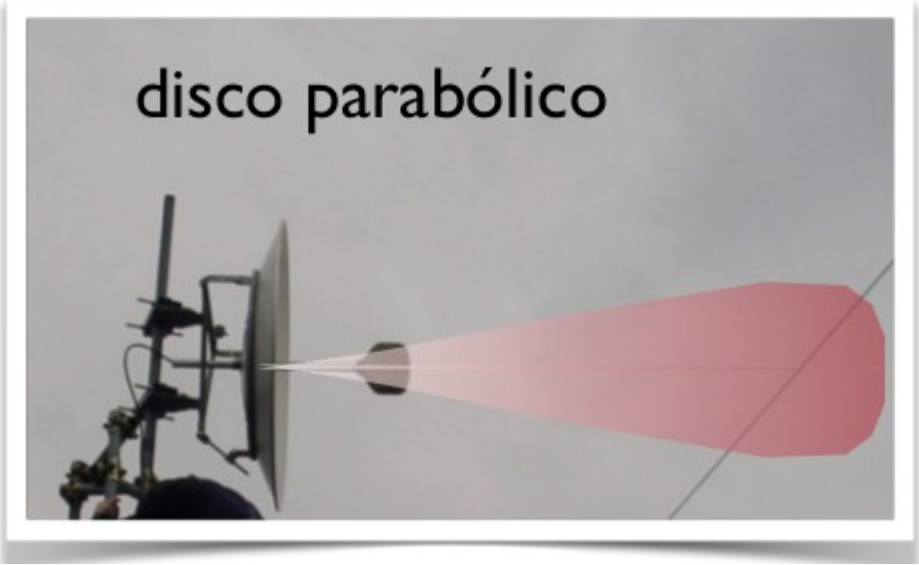
La ganancia de una antena se mide en dBi (decibeles relativos a un radiador isotrópico).

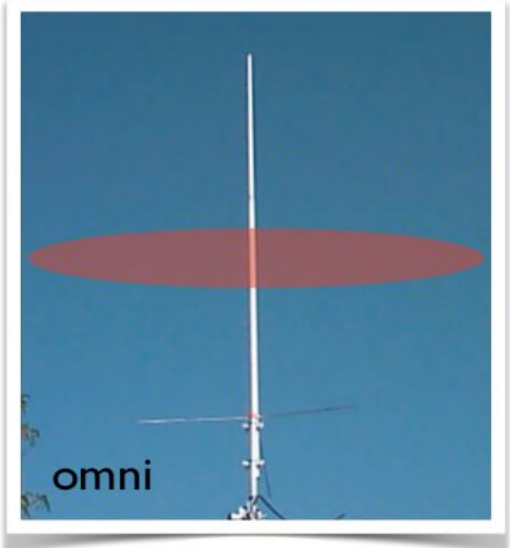
Capítulo 6: elementos de una red de radio

Características de las antenas

Al comprar una antena, ¿Cuáles características debemos considerar?

- Gama de frecuencias en la que se puede usar (ancho de banda)
- Patrón o Diagrama de Radiación (ancho del haz, lóbulos laterales, lóbulo trasero, relación adelante-atrás, ubicación de los nulos)
- Ganancia máxima
- impedancia de entrada (ROE máxima)
- Tamaño físico y resistencia al viento
- Costo





Capítulo 6: elementos de una red de radio

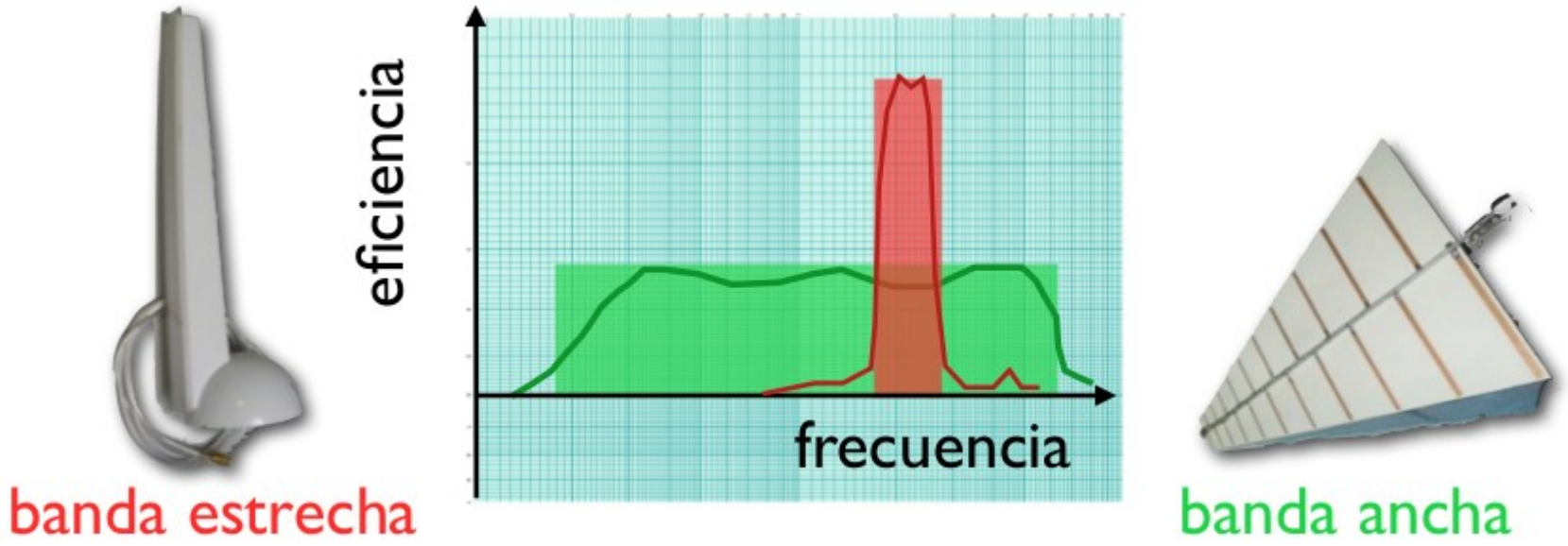
Reciprocidad

Las características de la antena como ganancia, rango de frecuencias, ancho del haz, eficiencia, polarización e impedancia son independientes del rol de la antena como transmisora o receptora. Esto se suele expresar diciendo que las las características de transmisión y recepción de una antena obedecen al principio de reciprocidad.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Ancho de banda

El ancho de banda se refiere al rango de frecuencias sobre el cual la antena opera satisfactoriamente. Se debe escoger una antena adecuada las frecuencias que pretende usar. (por ejemplo, use una antena de 2.4 GHz para 802.11 b/g, y una antena a 5 GHz para 802.11a).

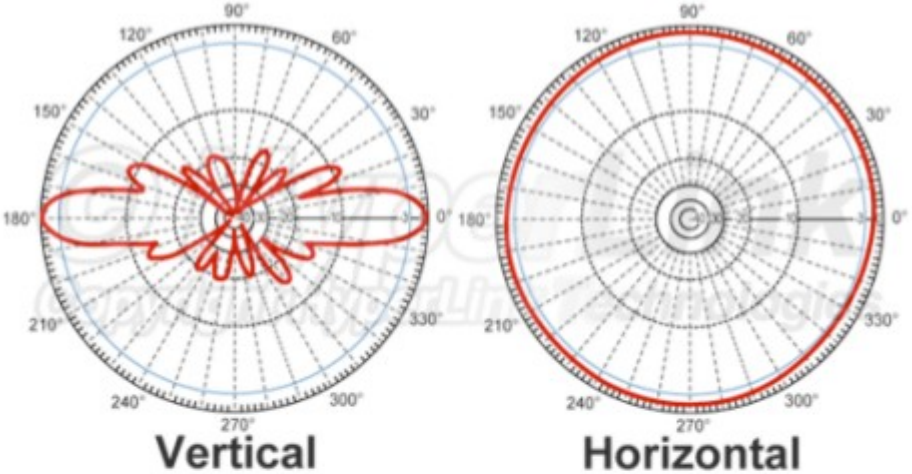


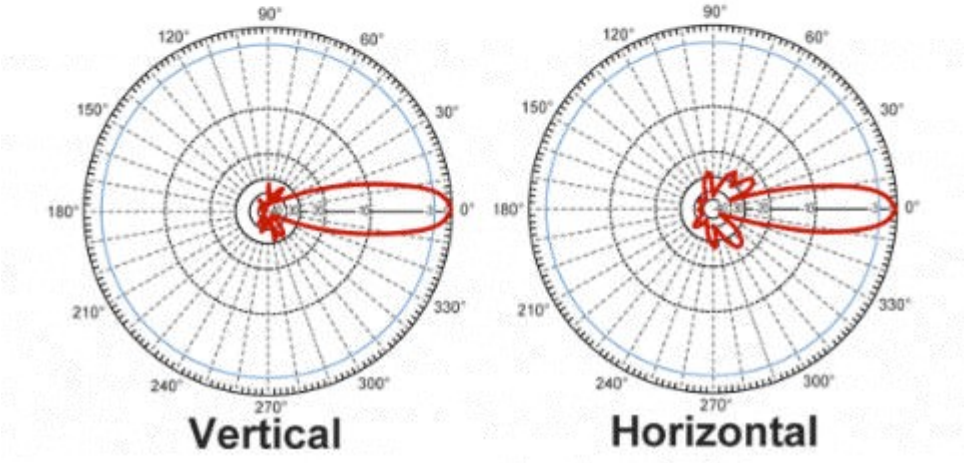
Capítulo 6: elementos de una red de radio

Patrón de Radiación

El patrón o diagrama de radiación de una antena es una representación de la distribución de potencia de la radiación recibida o irradiada por la antena en diferentes regiones del espacio.

Se suele representar en función de ángulos de dirección centrados en la antena.





Capítulo 6: elementos de una red de radio

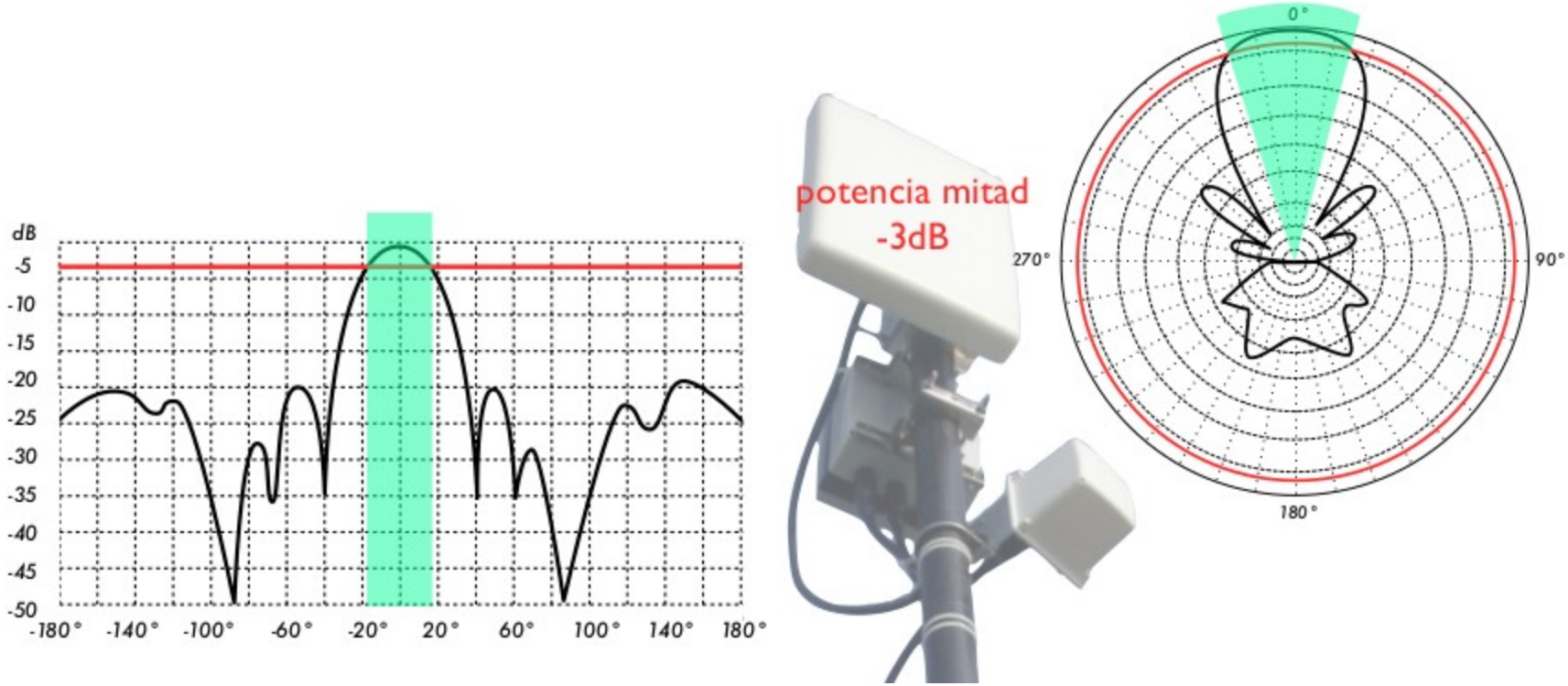
Patrón de Radiación

Estos son el diagrama rectangular y el diagrama polar de la misma antena (en un mismo plano). La representación mediante coordenadas polares es mucho más común que con coordenadas rectangulares, porque da una mejor representación visual de las características de la antena en cada dirección.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Ancho del haz

El ancho del haz de una antena es la medida angular de aquella porción del espacio en donde la potencia irradiada es mayor o igual que la mitad de su valor máximo.



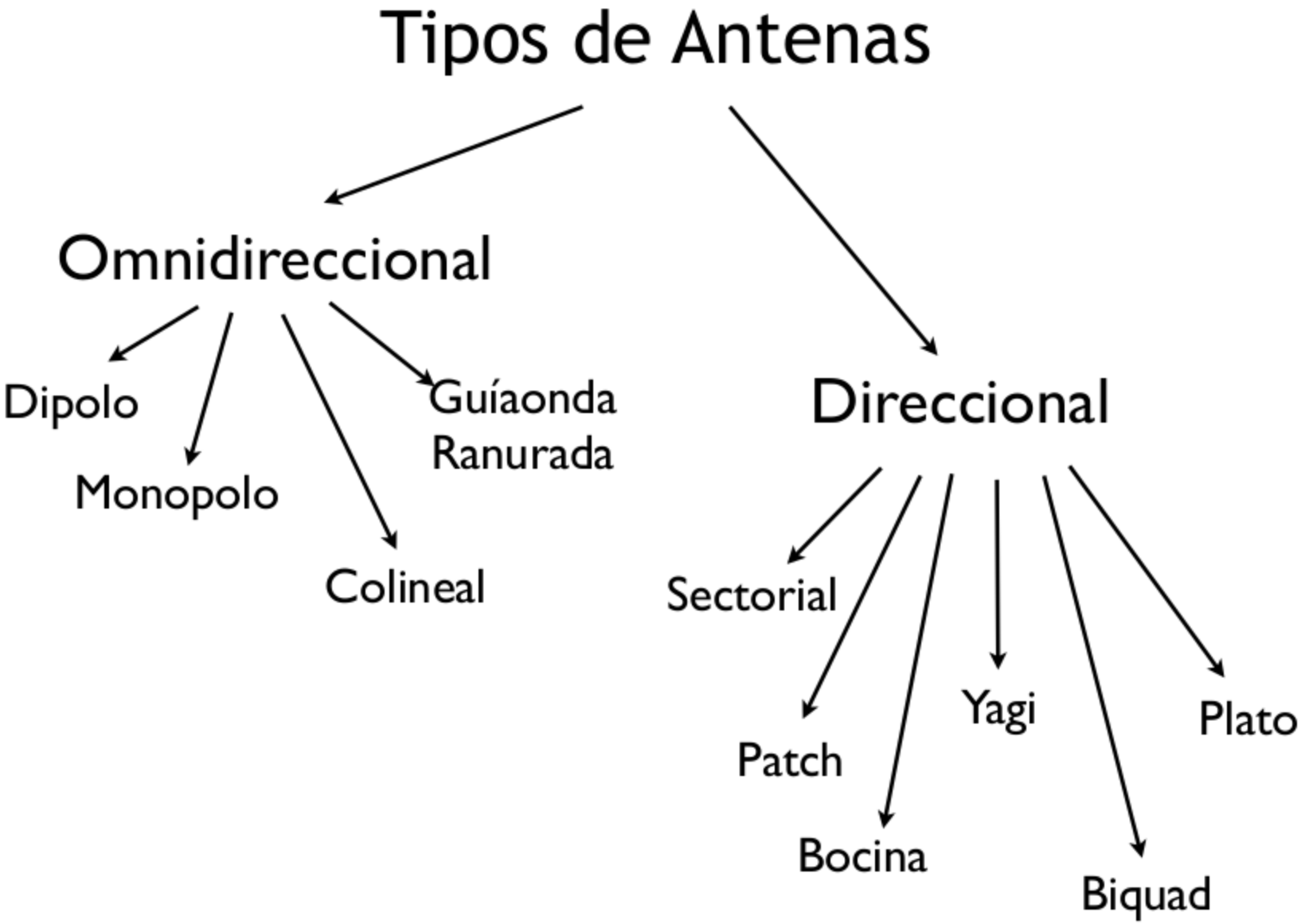
Capítulo 6: elementos de una red de radio

Impermeabilización de las antenas

La mayor parte de los problemas de las antenas son causados por agua que penetra en los conectores del cable coaxial que se aflojan debido a la vibración, permitiendo la penetración de humedad en la interfaz del conector.

Proteja contra la humedad todas las conexiones externas.

Capítulo 6: elementos de una red de radio



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Tasas de Transmisión

Note que las “tasas de transmisión” mencionadas en las especificaciones de equipos WiFi se refieren a la tasa de transmisión total de los símbolos, no al verdadero caudal o rendimiento de la transmisión a nivel de TCP/IP. La diferencia es lo que se conoce como protocol overhead (tara debida al protocolo) y es utilizada por el protocolo WiFi para manejarcolisiones, retransmisiones y en general la gestión del enlace.

Una regla general es que el caudal máximo a nivel TCP/IP es la mitad de la tasa de símbolos.

Por ejemplo, un enlace 802.11 a 54 Mbps tiene un rendimiento máximo práctico de unos 25 Mbps. Un enlace 802.11b tiene un rendimiento máximo de transmisión de 5 Mbps.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Topologías de redes inalámbricas

Toda red inalámbrica compleja está constituida por la combinación de uno más de los siguientes tipos de conexiones:

- Punto-a-Punto
- Punto-a-Multipunto
- Multipunto-a-Multipunto

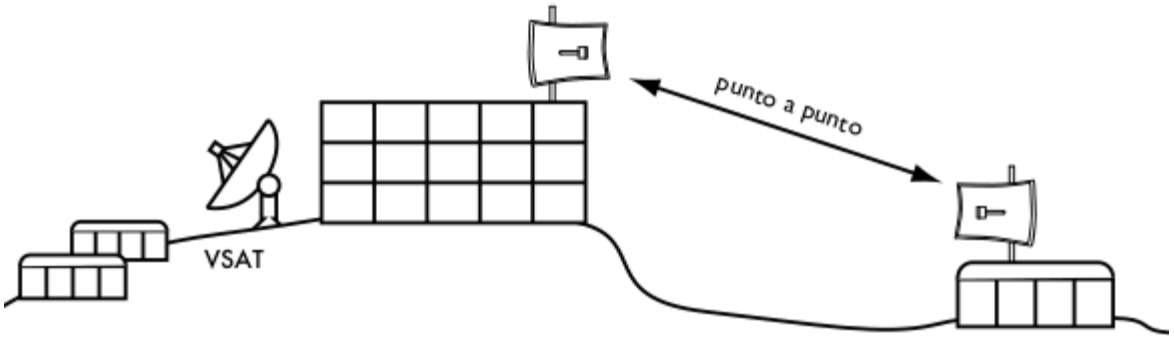
Capítulo 6: elementos de una red de radio

Punto-a-punto

La conexión más simple es un enlace punto-a-punto.

Estos enlaces pueden usarse para extender su red a grandes Distancias.

Los enlaces punto a punto ofrecen el mayor caudal posible entre todas las configuraciones mencionadas porque hay muy poca contienda por el uso del canal.



Capítulo 6: elementos de una red de radio

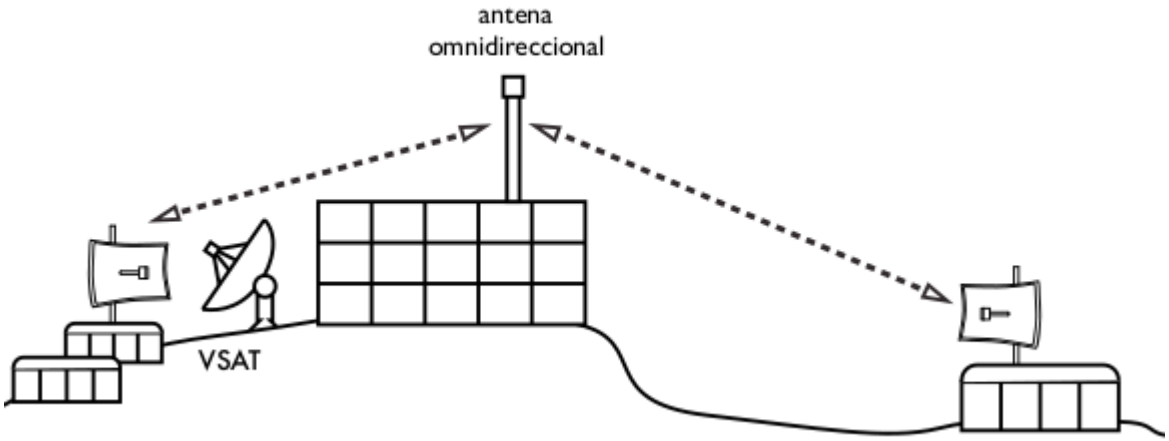
Punto a Multipunto

Cuando más de un nodo debe comunicarse con un punto central tenemos una red punto-a-multipunto.

La red punto a multipunto es la topología más común. Considere el caso de un AP con muchos clientes.

A menudo las redes punto a punto pueden evolucionar hacia redes punto a multipunto cuando se corre la voz de que es posible conectarse a la red inalámbricamente.

El diseño de redes punto a multipunto es muy diferente del de las redes punto a punto. No se puede simplemente reemplazar una antena parabólica por una omnidireccional y esperar que eso sea todo. La transición de punto a punto a punto multipunto aumenta la complejidad porque ahora se tienen múltiples nodos que compiten por los recursos de la red. El resultado neto es que el caudal total disminuye.



Capítulo 6: elementos de una red de radio

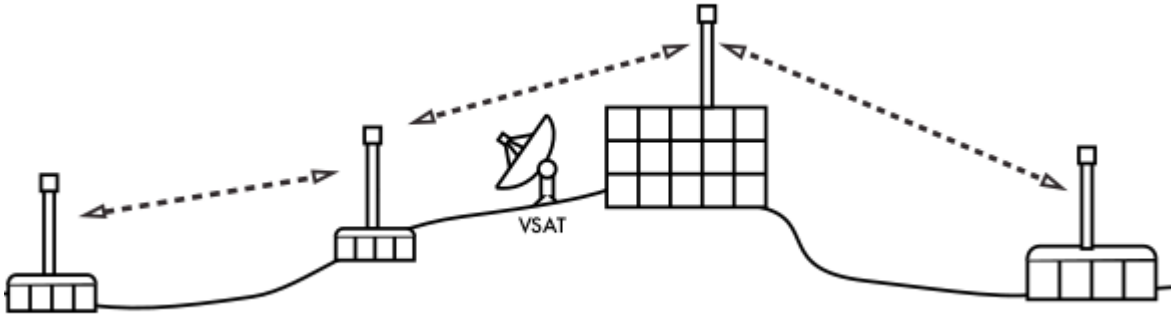
Multipunto a Multipunto

Cuando cada nodo de una red puede comunicarse con cualquier otro tenemos una red multipunto a multipunto, también conocida como red en malla (mesh) o ad-hoc.

Las redes Multipunto a Multipunto son considerablemente más complejas, pero también mucho más flexibles que la redes punto a multipunto. No hay una autoridad central en una red en malla. El protocolo de malla automáticamente añade nuevos nodos a la medida que se incorporan a la red, sin necesidad de cambiar la configuración de ninguno de los nodos existentes.

Las redes en malla puede ser difíciles de afinar comparadas con las redes punto a punto y punto a multipunto.

Una dificultad obvia es la escogencia del canal a ser usado en la red. Puesto que cada nodo comunica con todos los demás, sólo se puede usar un canal en una malla dada. Esto reduce significativamente el caudal máximo posible.



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Modos de funcionamiento en WiFi

Los dispositivos WiFi pueden operar en alguno de los siguientes modos:

- Master (AP -access point-)
- Managed (también llamado cliente o estación)
- Ad-hoc (usado en redes en malla)
- Monitor (no usado normalmente para comunicaciones)
- Otros modos no 802.11 (por ejemplo Mikrotik Nstreme o Ubiquiti AirMAX)

Cada modo tiene restricciones de operación específicas, y los radios sólo pueden operar en un modo en un momento determinado.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Modo master

El modo master (también llamado modo AP o de infraestructura) se usa para instalar una red con un AP (punto de acceso) que conecta a diferentes clientes.

El AP crea una red con un nombre específico (denominado SSID ó ESSID) y un canal sobre el cual se ofrecen los servicios de la red. Los dispositivos WiFi en modo master pueden comunicarse sólo con los dispositivos asociados a ellos que estén en modo managed.

SSID (Service Set IDentifier), es el identificar de la red. Cuando hay más de un AP en la misma red se usa el término ESSID (Extended SSID). Cuando hay un solo AP se puede usar BSSID (Basic SSID), todos ellos se refieren al nombre de la red, el cual tiene que ser el mismo para e AP y sus clientes.

Los AP crean redes WiFi punto a multipunto. Un radio operando en el modo master funciona como un AP, anunciando una red con cierto nombre en un determinado canal y permite que los clientes se le conecten. Puede haber limitaciones en el número máximo de clientes permitidos (el límite depende del modelo de AP usado).

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Modo Managed

El modo Managed es llamado también modo cliente. Los dispositivos inalámbricos en modo managed se unirán a una red creada por el master y automáticamente cambiarán el canal para ajustarse al del master.

De los clientes que usan un determinado AP se dice que están asociados con él.

Los radios en modo managed no pueden comunicarse directamente entre sí y sólo se pueden comunicar con el master al cual están asociados.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Modo ad-hoc

El modo Ad-hoc mode se usa para crear redes en malla donde:

- No hay dispositivos en modo master (AP)
- Se realiza la comunicación directamente entre todos los nodos

Los dispositivos deben estar dentro de su rango de cobertura para poder comunicarse y deben escoger un nombre de red y canal común.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Modo monitor

El modo Monitor se usa para escuchar pasivamente todo el tráfico en un canal dado. Es útil para:

- Analizar los problemas en un enlace inalámbrico
- Observar el uso del espectro en una zona
- Realizar tareas de mantenimiento y de seguridad

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Redes Puenteadas

Para una red local inalámbrica simple, una arquitectura de tipo puente es normalmente la más adecuada.

Ventajas

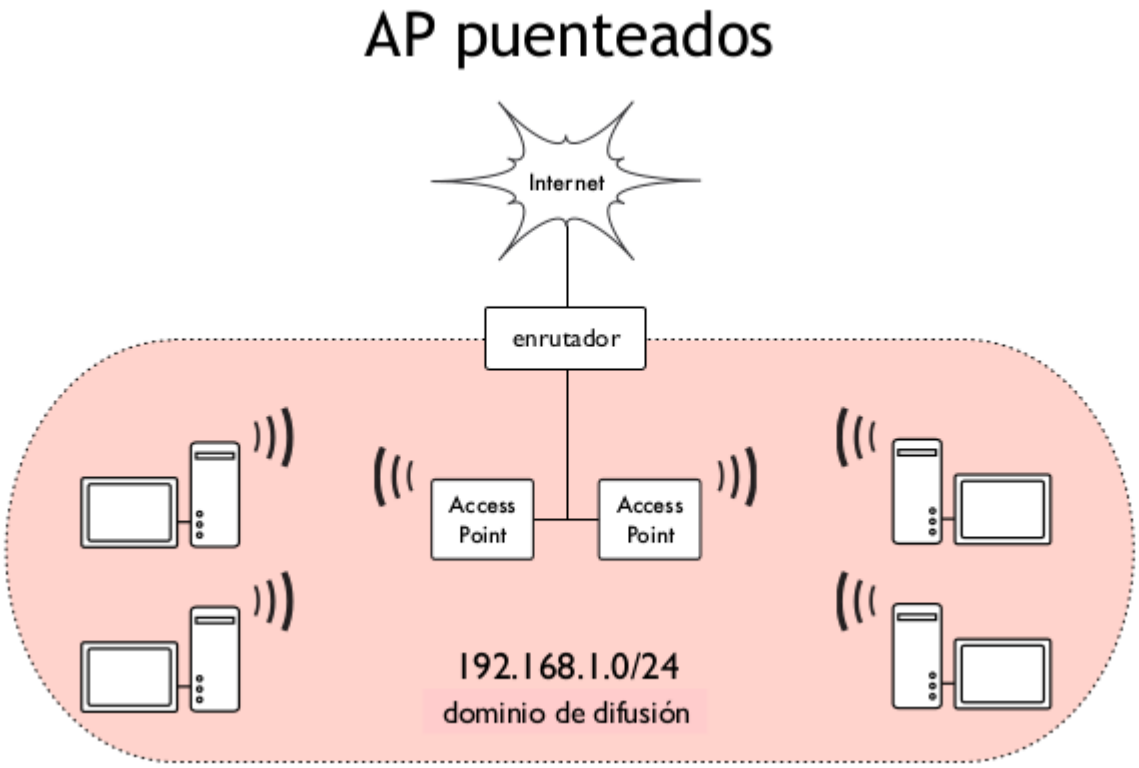
- Configuración muy simple
- Es muy fácil incorporar la itinerancia (roaming)

Desventajas

- Se vuelve ineficiente al añadir muchos nodos
- Todo el tráfico de difusión (broadcast) es retransmitido
- Virtualmente inusable en grandes redes de área extendida (WAN)

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Redes Puenteadas



Capítulo 6: elementos de una red de radio

Redes enrutadas

Las redes de gran escala se construyen aplicando protocolos de enrutamiento entre nodos.

- El enrutamiento estático es usado frecuentemente para enlaces punto a punto.
- El enrutamiento dinámico (con protocolos como RIP u OSPF) puede usarse con redes inalámbricas más grandes, aunque estos protocolos no están diseñados para trabajar sobre redes inalámbricas que pueden presentar considerables pérdida de paquetes.
- Los protocols de enrutamiento en malla funcionan muy bien en redes inalámbricas, particularmente cuando los radios están en el modo ad-hoc.

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Redes enrutadas

Cuando la red crece, se hace necesario utilizar algún esquema de enrutamiento para mantener la eficiencia en el manejo de tráfico.

Ventajas

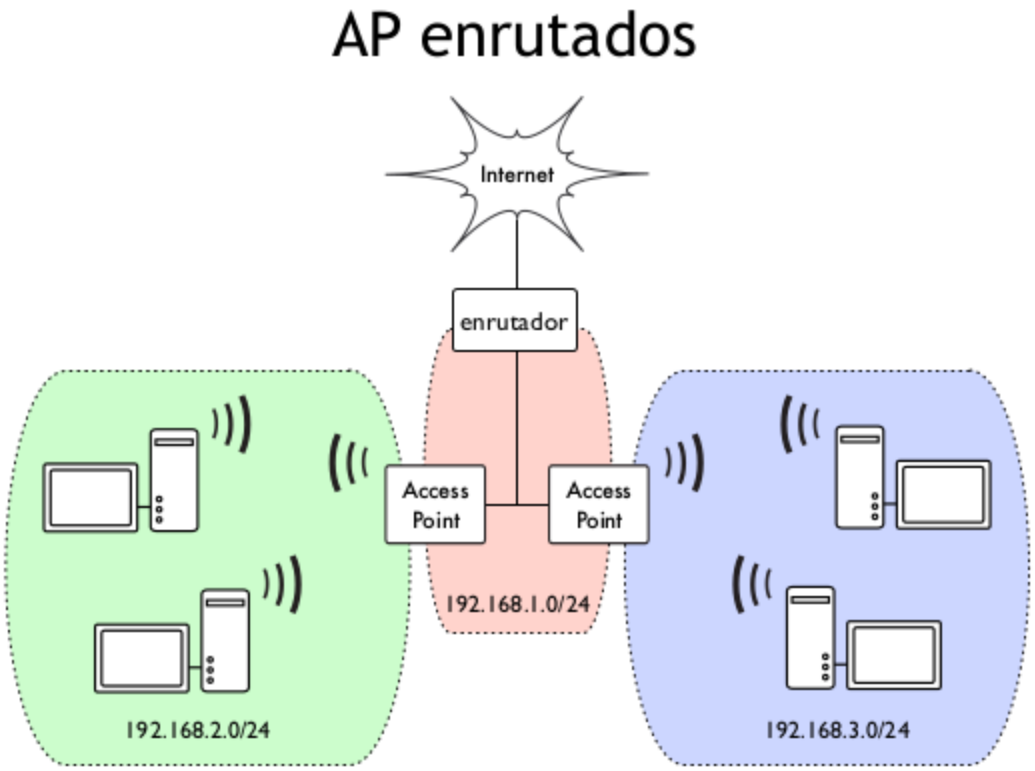
- Los dominios de difusión están limitados, lo que permite un
- uso más eficiente del ancho de banda del radio.
- Se puede construir redes arbitrariamente grandes.
- Se dispone de una variedad de protocolos de enrutamiento y de gestión.

Desventejas

- Configuración más compleja
- La itinerancia (roaming) entre AP no es soportada

Capítulo 6: elementos de una red de radio

Redes enrutadas



Capítulo 6: presupuesto de potencia

Pérdida en el Espacio Libre

- La potencia de la señal se reduce por el ensanchamiento del frente de onda en lo que se conoce como Pérdida en el Espacio Libre.
- La potencia de la señal se distribuye sobre un frente de onda de área cada vez mayor a medida que nos alejamos del transmisor, por lo que la densidad de potencia disminuye.

- A la frecuencia de 2.45 GHz la pérdida en el espacio libre en decibelios es

$$L_{fsl} = 100 + 20 \cdot \log_{10}(D)$$

...con L_{fsl} en dB y D en kilómetros.

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Presupuesto de potencia

- Las prestaciones de cualquier enlace de comunicaciones dependen de la calidad del equipo usado.
- El **Presupuesto o Balance de potencia** es una manera de cuantificar las características del enlace.
- La potencia recibida en un enlace 802.11 está determinada por tres factores: la **potencia de transmisión**, la **ganancia** de la antena transmisora y la ganancia de la antena receptora.
- Si esa potencia, menos las **pérdidas de trayectoria** es mayor que el **nivel mínimo de señal recibida** del receptor tendremos un enlace viable.
- La diferencia entre el nivel de la señal recibida y el nivel mínimo de señal recibida (también llamado sensibilidad del receptor) es el **margen del enlace**.
- El margen del enlace debe ser positivo y debemos tratar de maximizarlo (al menos 10 dB para un enlace viable).

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Ejemplo de cálculo de presupuesto de potencia:

Estimemos la factibilidad de un enlace de 5 km, con un AP y un cliente.

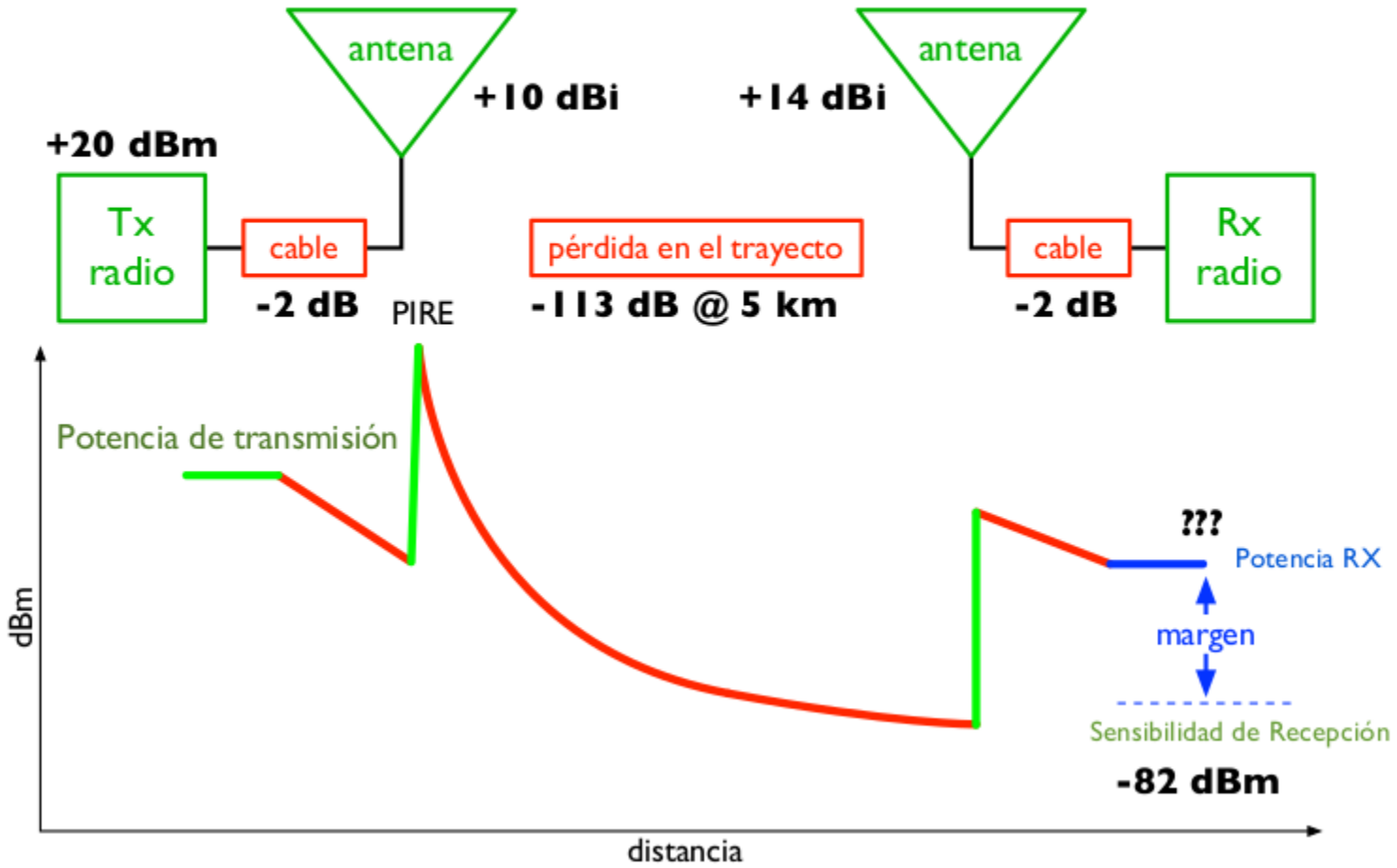
El AP está conectado a una antena con una ganancia de 10 dBi, tiene una potencia de transmisión de 20 dBm y una sensibilidad de receptor de -89 dBm.

El cliente está conectado a una antena de 14 dBi, y tiene una potencia de transmisión de 15 dBm mientras que la sensibilidad del receptor es de -82 dBm.

Los cables en ambos extremos son cortos, con una pérdida de 2dB cada uno a la frecuencia de operación de 2.4 GHz.

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Enlace entre un AP y su cliente



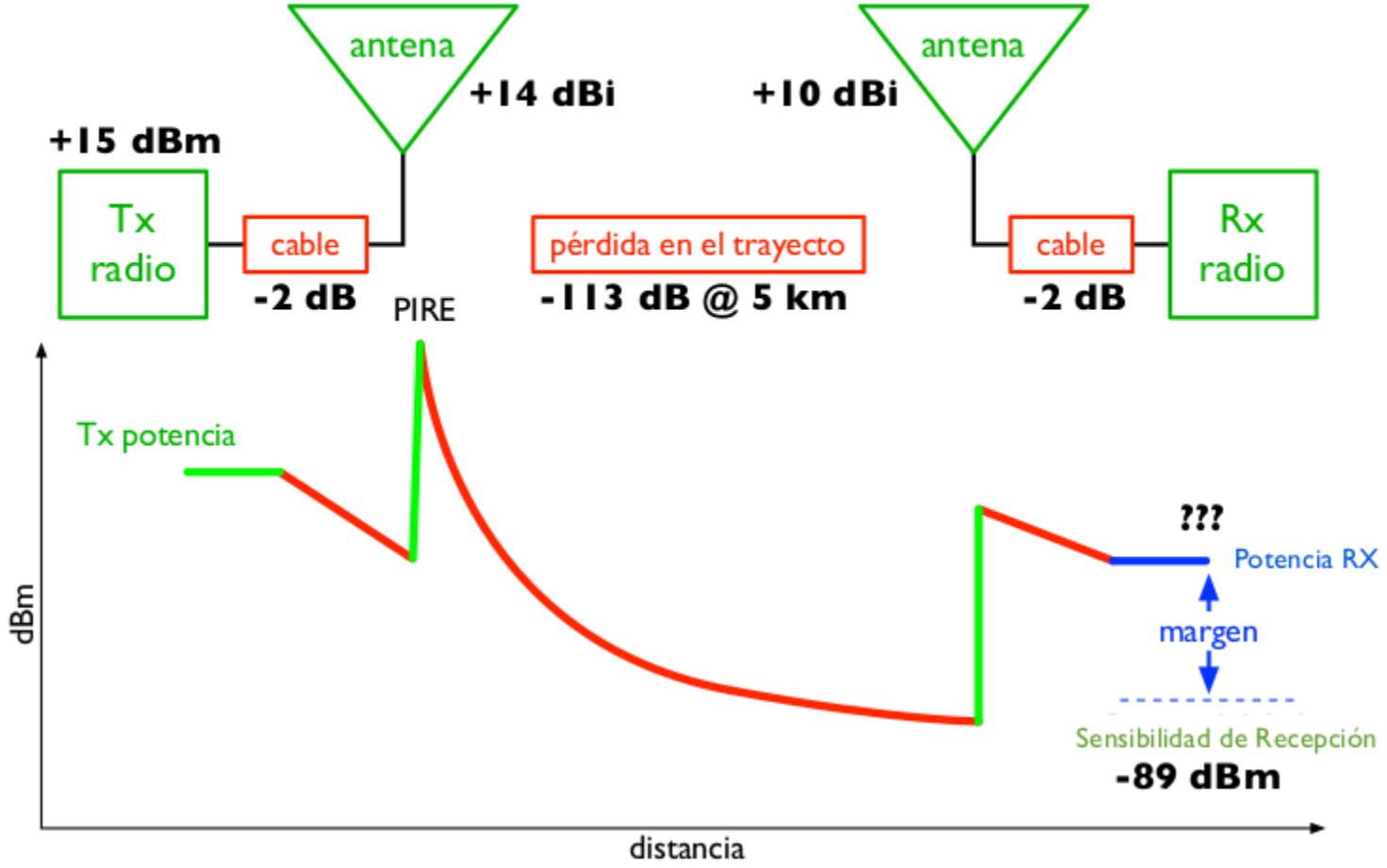
Capítulo 6: presupuesto de potencia

Presupuesto de potencia: Enlace AP - Cliente

```
  20 dBm (TX Potencia del AP)
+ 10 dBi (Ganancia de Antena AP)
-  2 dB  (Pérdida en el Cable AP)
+ 14 dBi (Ganancia de la Antena Cliente)
-  2 dB  (Pérdida en el Cable Cliente)
__________
  40 dB  Ganancia Total
-114 dB  (Pérdida en el espacio libre @5 km)
__________
 -74 dBm  (nivel de señal recibida esperado)
--82 dBm (sensibilidad del Cliente)
__________
   8 dB  (margen del enlace)
```

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Dirección opuesta: Cliente - AP



Capítulo 6: presupuesto de potencia

Presupuesto de potencia: Enlace Cliente-AP

```
 15 dBm (TX Potencia del Cliente)
 + 14 dBi (Ganancia de Cliente AP)
 -  2 dB  (Pérdida en el Cable AP)
 + 10 dBi (Ganancia de la Antena Cliente)
 -  2 dB  (Pérdida en el Cable Cliente)
 ___________
   35 dB  Ganancia Total
 -114 dB  (Pérdida en el espacio libre @ 5 km)
 ___________
  -79 dBm (nivel de señal recibida esperado)
 --89 dBm (sensibilidad del Cliente)
 ___________
    10 dB  (margen del enlace)
```

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Zona de Fresnel

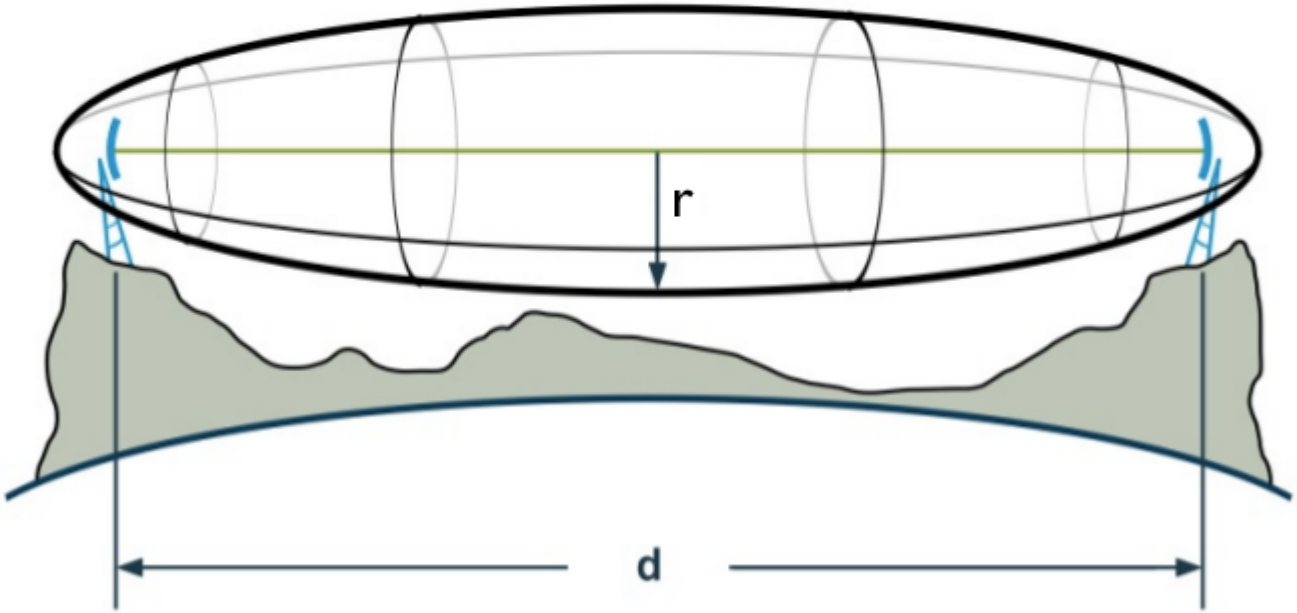
La primera Zona de Fresnel es un volumen elipsoidal alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor (línea de vista).

La primera Zona de Fresnel es importante porque define un volumen alrededor de la Línea de vista (LOS -Line of Sight-) que debe estar despejado de todo obstáculo para que la potencia que alcanza a la antena receptora sea máxima.

Objetos en la zona de Fresnel como árboles, colinas y edificios pueden atenuar considerablemente la señal recibida, aún cuando la línea visual entre el TX y el RX no esté bloqueada.

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Línea de vista y Zonas de Fresnel



la existencia de línea de vista **NO GARANTIZA** despeje de la Zona de Fresnel

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Zona de Fresnel

- El radio de la primera Zona de Fresnel Zone en cualquier punto del trayecto entre el transmisor y el receptor viene dado por:

$$r = \mathrm{sqrt}(d1*d2*\lambda)/d)$$

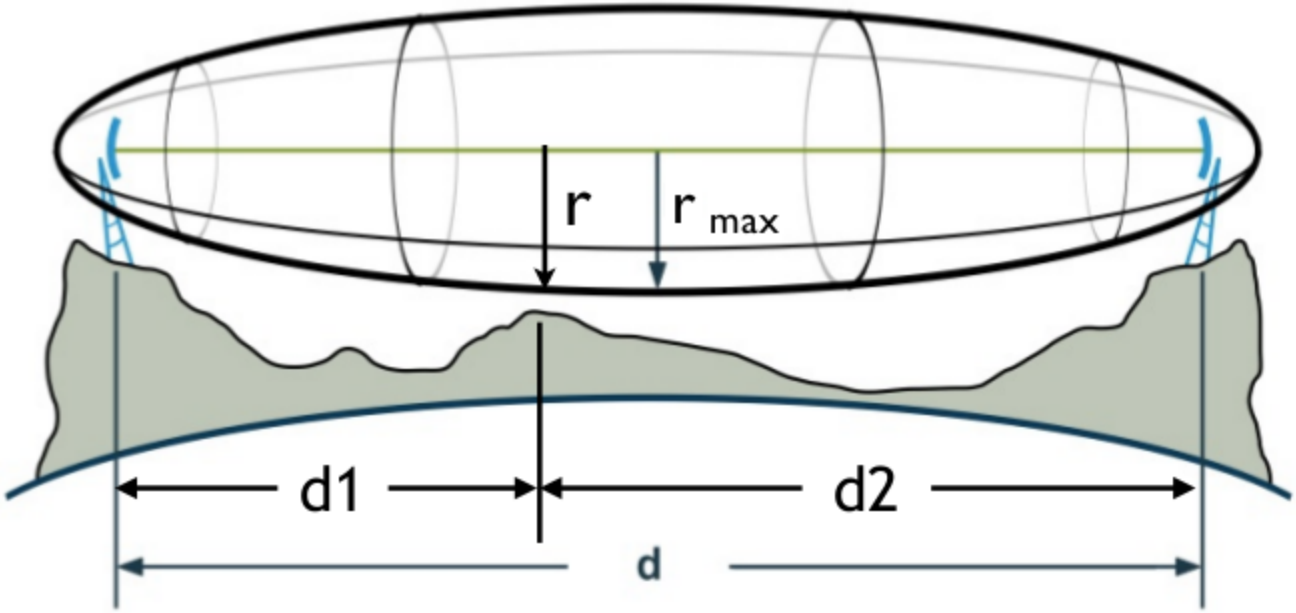
- ...donde r es el radio de la zona en metros, d1 y d2 son las distancias en metros desde los extremos del enlace al obstáculo,

- d es la distancia total y λ es la longitud de onda en metros.

- Note que esta fórmula calcula el radio de la zona, no la altura sobre el terreno. Para calcular la altura sobre el terreno requerida se resta este radio de la altura que correspondiente en la recta que une la antena transmisora con la antena receptora.

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Línea de Vista y Zonas de Fresnel



$$r = \sqrt{(d1*d2*\lambda)/d)}$$

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Despeje de la Zona de Fresnel y de la curvatura terrestre

La tabla muestra la altura mínima sobre tierra plana requerida para despejar el 70% de la primera zona de Fresnel para varias distancias a la frecuencia de 2.4 GHz.

Note que la curvatura de la tierra no es significativa a pequeñas distancias pero su efecto es muy importante al aumentar la distancia.

Distancia (km)	1era zona (m)	70% (m)	Curvatura de la tierra (m)	Altura mínima requerida (m)
1	5.5	3.9	0.0	3.9
5	12.4	8.7	1.0	9.1
10	17.5	12.2	1.5	13.7
15	21.4	15.0	3.3	18.3
20	24.7	17.3	5.9	23.2
25	27.7	19.4	9.2	28.6
30	30.6	21.4	13.2	34.6

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Zona de Fresnel

- Considerando cuán importante es la Zona de Fresnel, es relevante cuantificar el efecto de su bloqueo parcial.
- Típicamente, 20% - 40% de bloqueo de la Zona de Fresnel introduce muy poca atenuación en el enlace.
- Si solo la parte superior de la zona de Fresnel es visible, es decir cuando tenemos un enlace rasante, la atenuación es de 6 dB.

Capítulo 6: presupuesto de potencia

Zona de Fresnel

- Para calcular de forma sencilla si el enlace que queremos implementar es factible (la zona de Fresnel está despejada)
- Usemos la aplicaciones gratuitas:
  - BotRf
  - RadioMobile