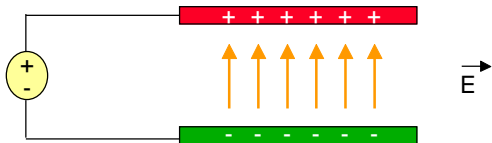


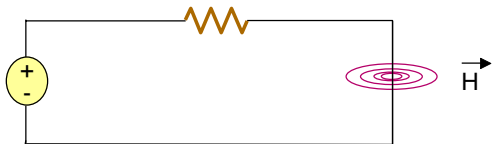
- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
- Cálculo de enlace satelital
- Equipo satelital terrestre
- Servicios satelitales en México y en el mundo
- Redes VSAT y Sistema GPS
- Nuevas aplicaciones con satélites

- ✓ Ondas electromagnéticas
- ✓ Polarización
- ✓ Elementos de radiación
- ✓ Espectro radioeléctrico
- ✓ Atenuaciones
- ✓ Interferencias

## ✓ Generación de un campo eléctrico

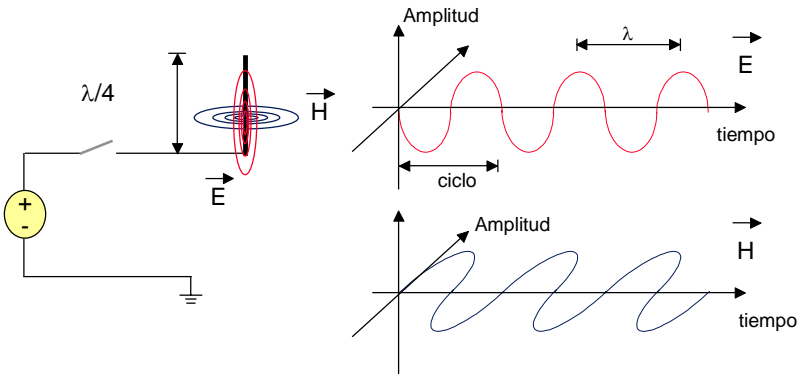


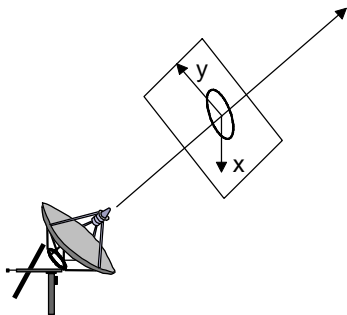
## ✓ Generación de un campo magnético



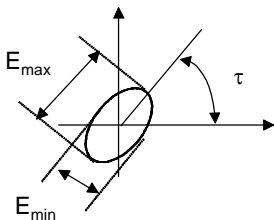
## Onda electromagnética

- ✓ La onda electromagnética se propaga por el aire utilizando una antena como acoplador.

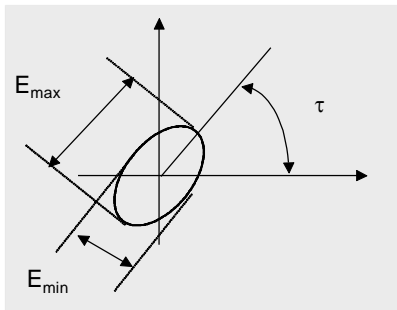




Dirección de propagación



- ✓ La polarización se refiere a la dirección de la variación del vector del campo eléctrico en una onda electromagnética
- ✓ Tipos de polarizaciones
  - Polarización Elíptica, Polarización Vertical, Polarización Horizontal, Polarización Circular Derecha y Polarización Circular Izquierda
  - El caso más general es el de la polarización elíptica del cual pueden derivarse todas las demás

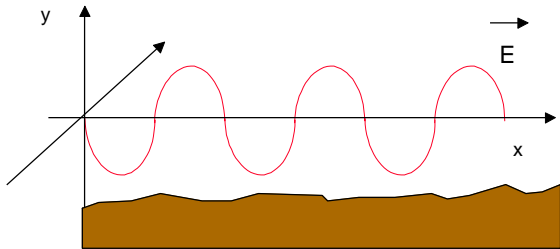


$$\text{Razón Axial} = E_{\max} / E_{\min}$$

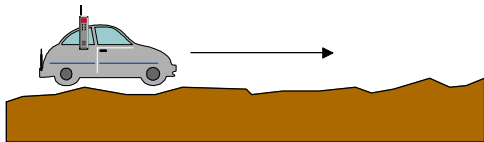
$\tau$ .- ángulo de inclinación de la elipse

- ✓ En Polarización Horizontal y Vertical, RA = infinita.
- ✓ En Polarización Circular, RA = 1.
  - **Derecha**.- Giro a favor de las manecillas del reloj viendo en la dirección de propagación
  - **Izquierda**.- Giro en contra de las manecillas del reloj viendo en la dirección de propagación

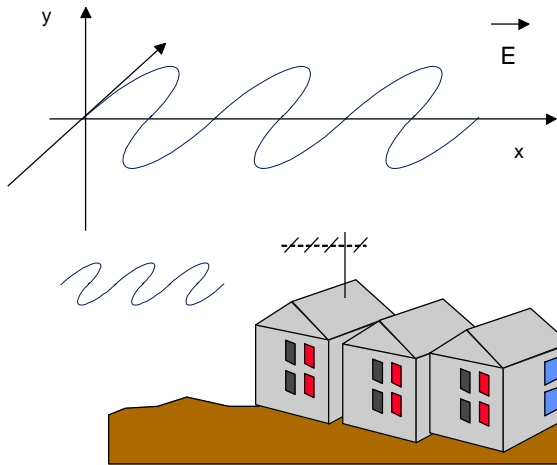
## Polarización vertical



Superficie  
terrestre

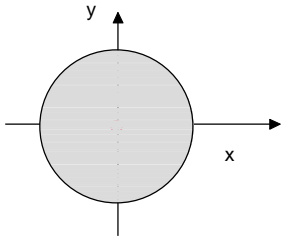


Superficie  
terrestre



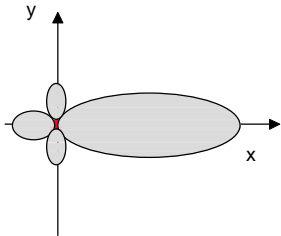


## Isotrópico



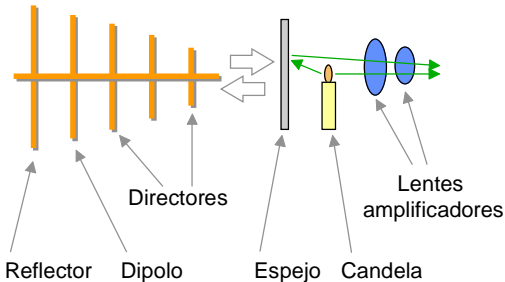
- ✓ La radiación se asume igual en todos los sentidos, al tipo de antenas que utilizan este elemento se les conoce como omnidireccionales

## Direccional

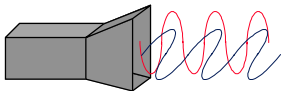


- ✓ La radiación se asume en una sola dirección con un cierto ángulo de apertura.

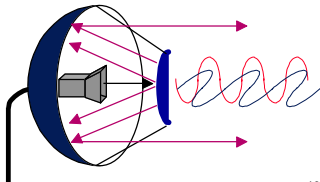
## ✓ Radiador Yagui

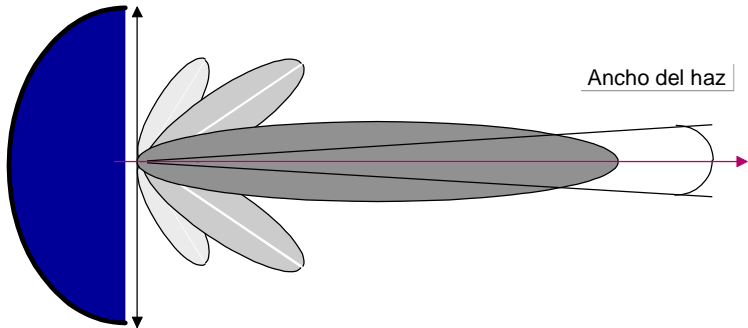


## ✓ Radiador corneta

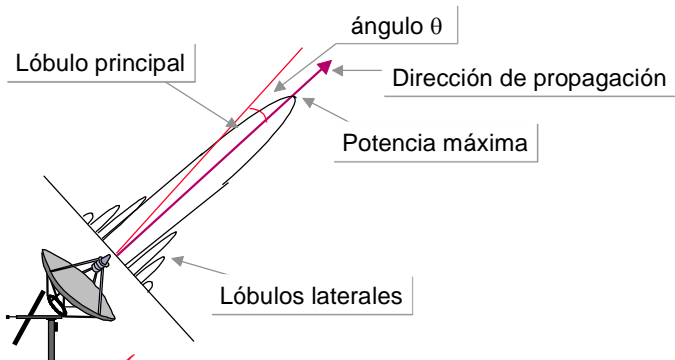


## ✓ Radiador Cassegrain



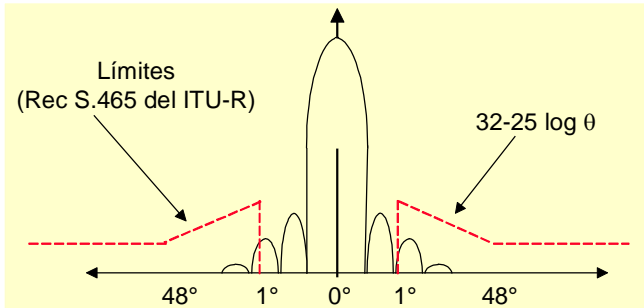


- ✓ El patrón de radiación de una antena parabólica típica representa la disminución del valor del campo eléctrico radiado al alejarse un ángulo  $\psi$  del eje central.
- ✓ Mientras menor sea este ángulo, mayor es la directividad de la antena. Valores típicos van de  $0.7$  a  $8^\circ$  de acuerdo con el tipo y uso de antena.



- ✓ Los lóbulos laterales son parte de los defectos de la antena y deben de mantenerse dentro de ciertos límites para controlar las interferencias
- ✓ En antenas satelitales, el patrón de radiación deberá ser estrecho para permitir una proximidad adecuada entre los satélites de la órbita geostacionaria

## Límites para el patrón de radiación



- ✓ Hasta 1995 se aplicó la Rec S.465. Actualmente se encuentra vigente la Rec. S.580-5 del ITU-R

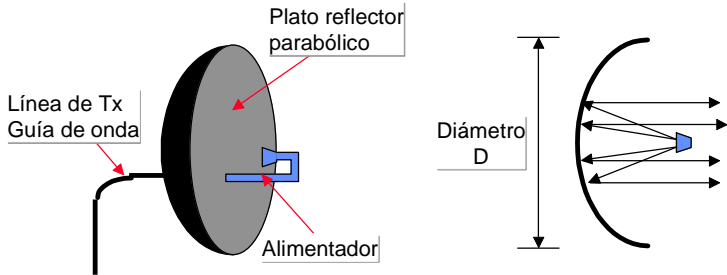
Para Antenas con  $D/\lambda > 150$ , el 90% de los picos en los lóbulos laterales no tendrán una ganancia mayor a  $G = 29-25 \log \theta$

Para Antenas con  $50 < D/\lambda < 150$ , en las mismas condiciones  $G = 32-25 \log \theta$

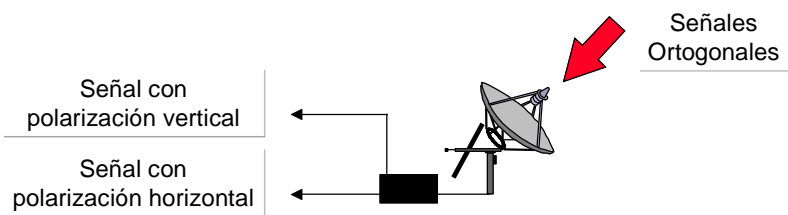
D: diámetro de la antena

$\lambda$ : longitud de onda de operación

## Estructura de antena parabólica



- ✓ Para transmitir, las ondas electromagnéticas son proyectadas sobre el plato parabólico desde el alimentador. En recepción, el proceso es simplemente inverso.
- ✓ Las variaciones de esta antena están en el tipo de alimentador y en la estructura del plato parabólico. Hay varios tipos: parabólica, de rejilla, parabólica blindada y con reflector de corneta (cornucopia).



- ✓ En cada puerto se recibe una señal con la polarización esperada (*copolarized*) y, debido a imperfecciones, residuos de la señal con polarización opuesta (*cross-polarized*)
- ✓ La capacidad del sistema para separar las señales se conoce como XPD (*cross-polarization discrimination*)
- ✓ Se calcula:

$$\text{XPD} = 20 \log \frac{(\text{RA}) + 1}{(\text{RA}) - 1}$$

Para RA menores a 3 dB:

$$\text{XPD} = 24.8 - 20 \text{ RA} \log (\text{RA})$$

$$\Gamma = \frac{\text{Voltaje reflejado}}{\text{Voltaje incidente}}$$

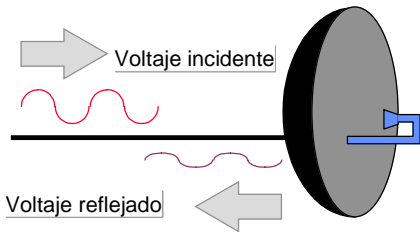
$$\text{R.O.E.} = \frac{1 + |\Gamma|^2}{1 - |\Gamma|^2}$$

$$P_{\text{retorno}} = -20 \log_{10} |\Gamma|$$

$\Gamma$ : Coeficiente de reflexión.

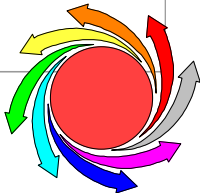
**ROE**: Razón de onda estacionaria (*VSWR*, *Voltage Standing Wave Ratio*).

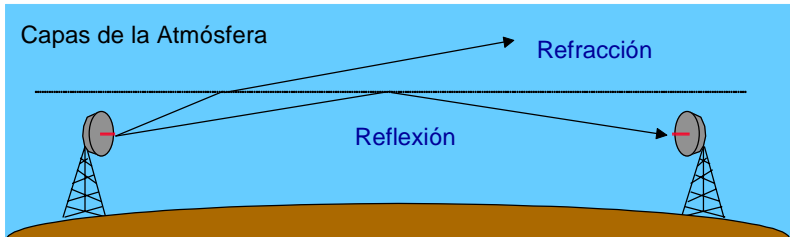
- ✓ Las reflexiones se deben a desacoplamiento de impedancias entre la línea de transmisión y la antena y entre la antena y el aire.





- ✓ La propagación de ondas en el espacio se debe a la interacción de un campo magnético y un campo eléctrico que componen a la onda viajera. De ahí que la onda sea conocida como *onda electromagnética*.
- ✓ Debido a las características de la atmósfera, las ondas se enfrentan con diversos fenómenos tales como los siguientes:
  - Refracción y Reflexión.
  - Difracción.
  - Atenuación.
  - Cancelación.
  - Ruido.
  - Interferencia de canal adyacente y de co-canal.





## ✓ Refracción

- Cuando una onda viajera, al llegar a la frontera entre dos regiones de características diferentes, se propaga a la segunda región con un cierto ángulo (Ley de Snell).

## ✓ Reflexión

- Cuando una onda viajera, al llegar a la frontera entre dos regiones de características diferentes, “rebota” en la frontera y se regresa a la primera región con ángulo igual al de incidencia.

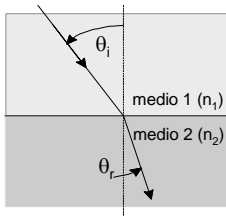
- ✓ Cuando una onda incide con un ángulo  $\theta_i$  en la frontera entre dos medios diferentes, la onda transmitida viaja en una dirección diferente.
- ✓ Una onda es *refractada* debido a un cambio en la velocidad de propagación al pasar de un medio a otro.
- ✓ El índice de refracción  $n$  de un medio es la razón de la velocidad de la luz en el vacío a la velocidad de la luz en ese medio:

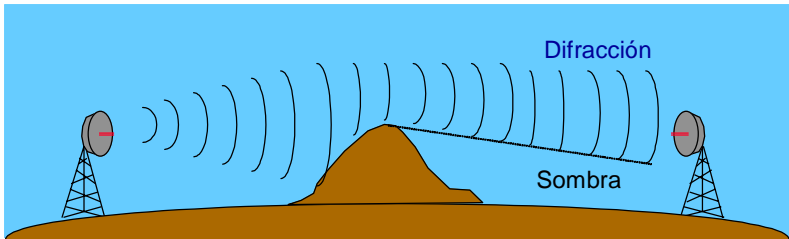
$$n = \frac{c}{v}$$

- ✓ Para establecer matemáticamente la relación entre los ángulos  $\theta_i$  y  $\theta_r$  recurrimos a la *Ley de Snell*:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

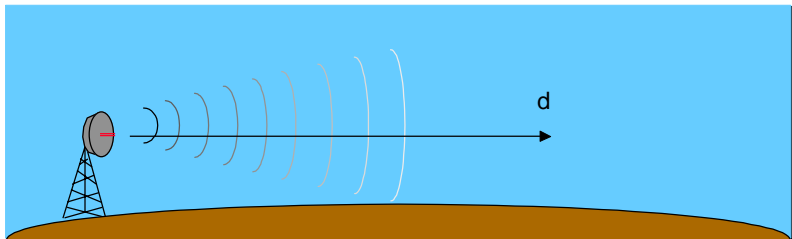
- ✓ Esta ley se aplica para superficies planas. Para la propagación de señales de radio en la atmósfera terrestre se deben utilizar modificaciones de esta expresión para medios estratificados esféricamente.





## ✓ Difracción

- Cuando una onda viajera se encuentra un cuerpo sólido a su paso, la onda continua su viaje pero con un efecto de sombra en la cobertura en el área inmediata posterior al obstáculo.



## ✓ Atenuación

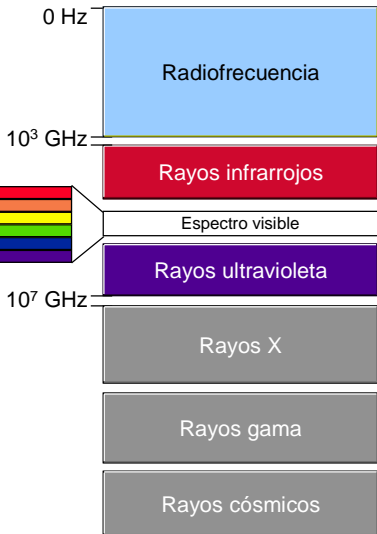
- Conforme la onda viajera se va propagando va perdiendo intensidad. Este fenómeno conocido como atenuación aumenta con la distancia recorrida ( $d$ ) y aumenta más rápidamente a mayores frecuencias de la onda.

## ✓ Ruido

- En su camino, la onda viajera se puede ver afectada por fuentes de ruido debido a la atmósfera y a fuentes de interferencia naturales, como los rayos cósmicos.

## Radio frecuencia

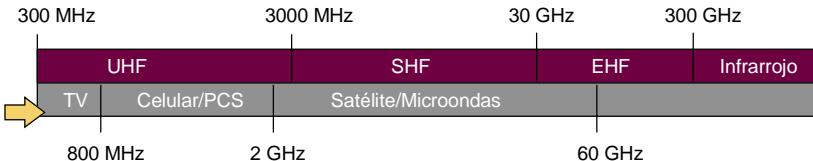
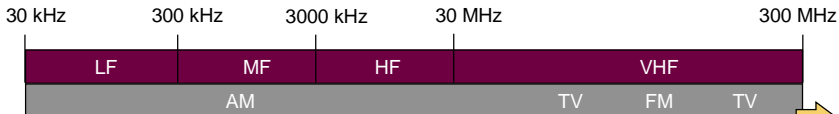
Es la frecuencia específica a la cual se radia una señal por el espacio.



$4 \times 10^5$  a  $7 \times 10^5$  GHz

GHz =  $10^9$  Hz

# Espectro radioeléctrico

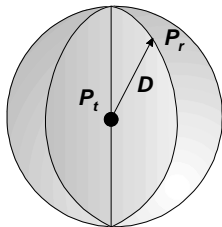


## Bandas

<b>L</b>	1-2	GHz	<b>K</b>	18-27	GHz
<b>S</b>	2-4	GHz	<b>Ka</b>	27-40	GHz
<b>C</b>	4-8	GHz	<b>V</b>	40-75	GHz
<b>X</b>	8-12	GHz	<b>W</b>	75-110	GHz
<b>Ku</b>	12-18	GHz			

## Transmisión en el espacio libre

- ✓ Las pérdidas de transmisión en espacio libre se obtienen considerando una antena isotrópica de ganancia unitaria en el centro de una esfera de radio  $D$ .
- ✓ Asumiendo que no hay pérdidas dentro de la esfera, la densidad de potencia por unidad de área en la superficie de la esfera es:



$$P_r = \frac{P_t}{4\pi D^2} \quad (\text{Watts por unidad de área})$$

- $D$  Radio de la esfera
- $P_t$  Potencia de transmisión en el centro de la esfera
- $P_r$  Potencia recibida en la superficie de la esfera ( $4\pi D^2$ )



- ✓ En la teoría de antenas, la apertura efectiva de una antena ideal de ganancia  $G$  en metros cuadrados ( $m^2$ ) es:

$$A_e = \frac{G \lambda^2}{4\pi}$$

$\lambda$  es la longitud de onda de la señal de radio

$G$  es el factor de ganancia de la antena (no en dB)

- ✓ Si la antena de recepción también se considera isotrópica con  $G=1$ , entonces la potencia recibida en la superficie de la esfera es el producto  $P_r * A_e$  en Watts:

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi D^2} \frac{\lambda^2}{4\pi} = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$$

- ✓ Para evaluar las pérdidas en espacio libre es más común escribir la expresión como una relación de potencias:

$$\frac{P_t}{P_r} = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$$

## Fórmula para pérdidas en espacio libre

- ✓ La forma más útil de manejar esta expresión es utilizando su equivalente en decibeles :

$$FSL_{dB} = 10 \operatorname{Log} \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 20 \operatorname{Log} (4\pi) + 20 \operatorname{Log} \left( \frac{D}{\lambda} \right) \quad dB$$

- ✓ La expresión anterior se puede modificar considerando  $\lambda=c/f$ , además teniendo que la velocidad de la luz  $c=2.998 \times 10^8$  m/s es posible escribir la expresión de distintas formas:

$$FSL_{dB} = -27.55 + 20 \operatorname{Log} D_m + 20 \operatorname{Log} F_{MHz} \quad dB$$

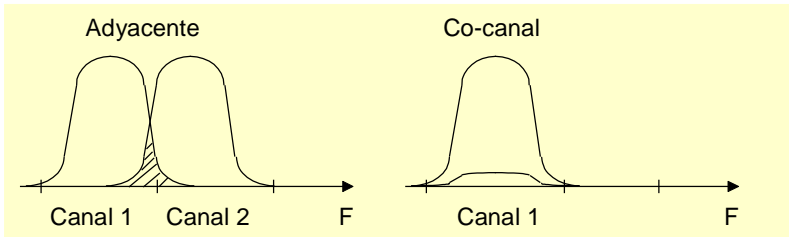
$$FSL_{dB} = 32.45 + 20 \operatorname{Log} D_{Km} + 20 \operatorname{Log} F_{MHz} \quad dB$$

$$FSL_{dB} = 92.45 + 20 \operatorname{Log} D_{Km} + 20 \operatorname{Log} F_{GHz} \quad dB$$

*FSL : Free Space Loss*

- ✓ La propagación de las ondas de radio a través de la atmósfera debe considerar varios factores, además de las pérdidas por espacio libre:
  - La característica gaseosa de la atmósfera.
  - La no homogeneidad en la atmósfera.
  - Las partículas debido a la lluvia y neblina o polvo y humo
  
- ✓ Podemos agregar a la fórmula para calcular FSL, de la siguiente manera:
  - Atenuación en dB debido al vapor de agua.
  - Atenuación en dB debido a la niebla y neblina.
  - Atenuación en dB debido al oxígeno.
  - Suma de las pérdidas por absorción en dB debido a otros gases.
  - Atenuación en dB debido a las lluvias.
  
- ✓ Por debajo de 10 GHz se puede despreciar la atenuación debida a efectos de lluvia o por absorción atmosférica. Sin embargo, por encima de este límite estos efectos toman gran importancia en cuanto a su consideración para el diseño de un enlace

## Interferencia adyacente y de co-canal



### ✓ Adyacente

- Cuando la señal de un canal invade el espacio de frecuencia de un canal vecino. Puede ser por una emisión con demasiada potencia o por un corrimiento de la frecuencia nominal.

### ✓ Co-canal

- Cuando en un canal de cierta polarización aparecen vestigios de la señal que se encuentra en la misma frecuencia pero que originalmente viajaba en la polarización contraria.