

Medios de transmisión No Guiados

Microondas

Ing. Gabriel Filippa

Transmisión inalámbrica

- 2GHz to 40GHz
 - Microondas
 - Altamente direccional
 - Enlaces punto a punto
 - Satelites
- 30MHz to 1GHz
 - Ominidireccional
 - Broadcasting de radio
- 3×10^{11} to 2×10^{14}
 - Infrarojos
 - Formato Local

Antenas

- Es un conductor eléctrico usado para irradiar o captar energía electromagnética
- Transmisión de la señal
 - La energía eléctrica se convierte a energía electromagnética
 - La conversión se realiza en la antena.
 - La energía se irradia al entorno que envuelve a la antena.
- Recepción de la señal.
 - La energía electromagnética se convierte a energía eléctrica.
 - Esta conversión se realiza en la antena.
 - La energía eléctrica se pasa al receptor.
- La misma antena es a menudo usada en ambos sentidos.

Patrón de Radiación

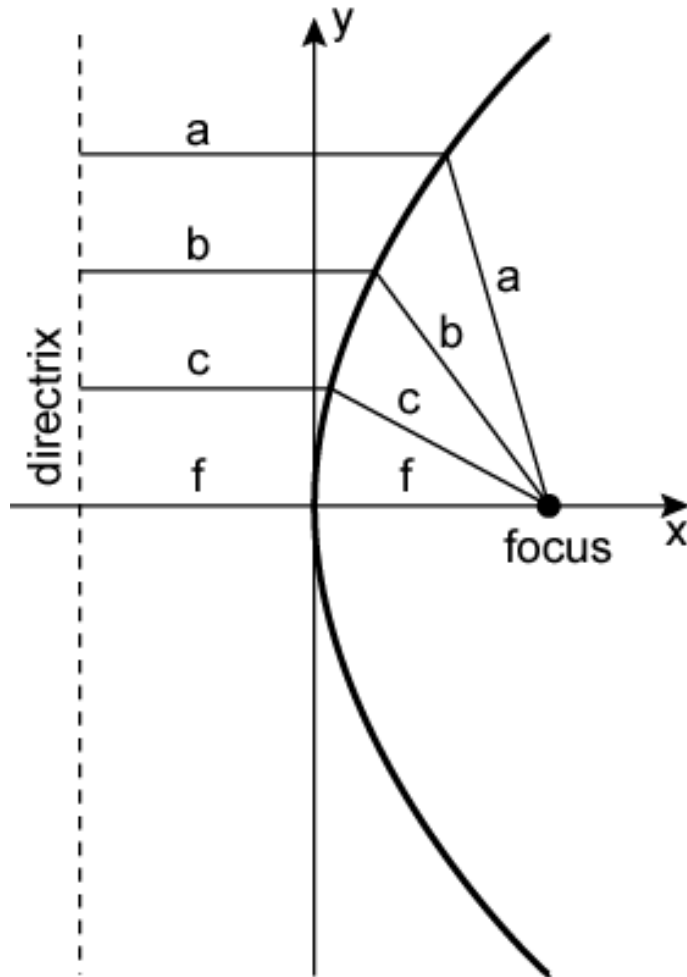
- La potencia radiada es todas las direcciones
- No es la misma performance en todas las direcciones
- Las antenas isotrópicas (teóricamente) son un punto en el espacio.
 - Irradian energía en todas las direcciones igualmente.
 - El diagrama de radiación es una esfera.

La antena parabólica de reflexión

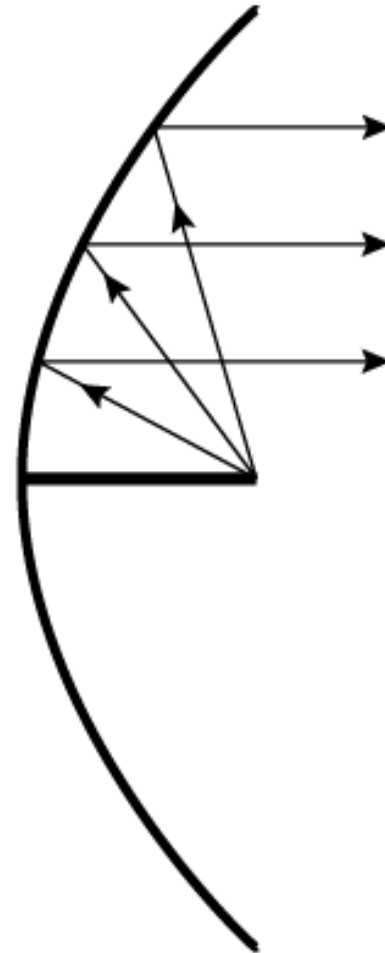
- Usadas para microondas terrestre y satelitales.
- Parábola es el lugar geométrico de todos los puntos que equidistan de una recta dada y de un punto fijo que no pertenecen a la recta.
 - El punto fijo es el foco
 - La línea se llama generatriz.
- Si la parábola se hace girar entorno a su eje se genera una superficie denominada paraboloides.
- Cualquier fuente de EE* situada en su foco, seguirán trayectorias paralelas al eje de la parábola.
 - Teóricamente, este efecto consigue un haz paralelo sin dispersión alguna
- En el receptor, si las ondas recibidas son paralelas al eje de la parábola reflectante, la señal resultante estará concentrada en el foco.

* EE = energía electromagnética.

Antena parabólica de reflexión



(a) Parabola



(b) Cross-section of parabolic antenna showing reflective property

Ganancia de una antena

- Medida de su direccionalidad
- Dada una dirección, se define la ganancia de una antena como la potencia de salida, en esa dirección, comparada con la potencia transmitida en cualquier dirección por una antena omnidireccional.
- Se mide en decibeles (dB)
- El incremento de potencia radiada es consecuencia de la pérdida de potencia en otra dirección.
- El área efectiva de una antena está relacionada con su tamaño físico y con su geometría y ella con la ganancia.

$$G = 4 \pi A_E / \lambda^2 = 4 \pi f^2 A_E / c^2$$

Microondas terrestres



- La antena mas común es la de plato.
- Aplicaciones:
 - Servicios de telecomunicaciones en reemplazo de cable coaxil o Fibra.
 - Enlaces punto a punto entre edificios de corta distancia.
- Características de transmisión
 - Rango de operación: 1 y 40 Ghz
 - Mayor frecuencia implica mayor ancho de banda.

Microondas terrestres

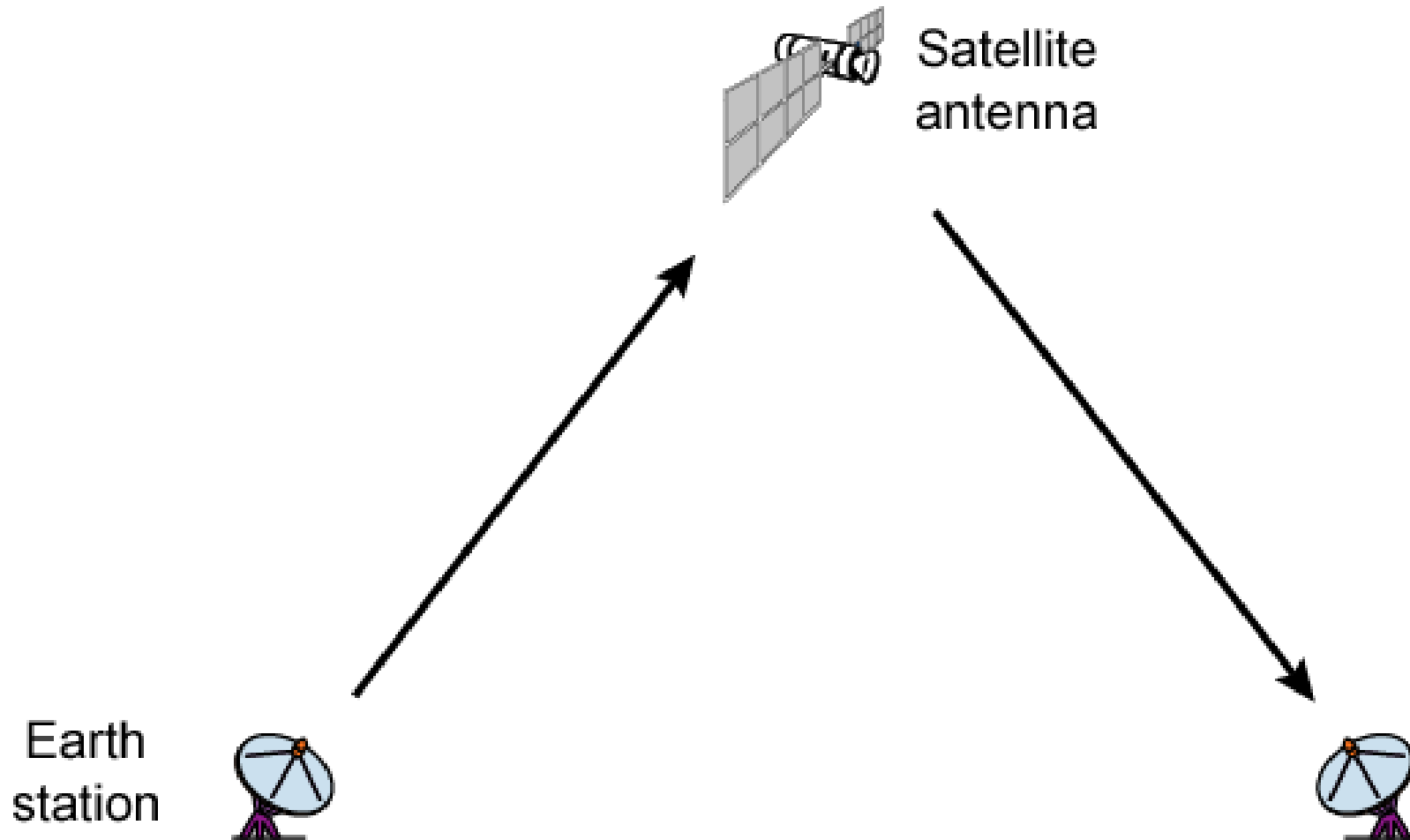
| Banda (GHZ) | Ancho de Banda (Mhz) | Velocidad de transmisión Mbps |
|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 2 | 7 | 12 |
| 6 | 30 | 90 |
| 11 | 40 | 135 |
| 18 | 220 | 274 |

- La principal causa de pérdida es la atenuación
- La perdida la expresamos con
 - $L = 10 \log(4\pi d / \lambda)^2$ dB
 - d es la distancia y λ es la longitud de onda
 - La atenuación varia con el cuadrado de la distancia

Microondas por satellite

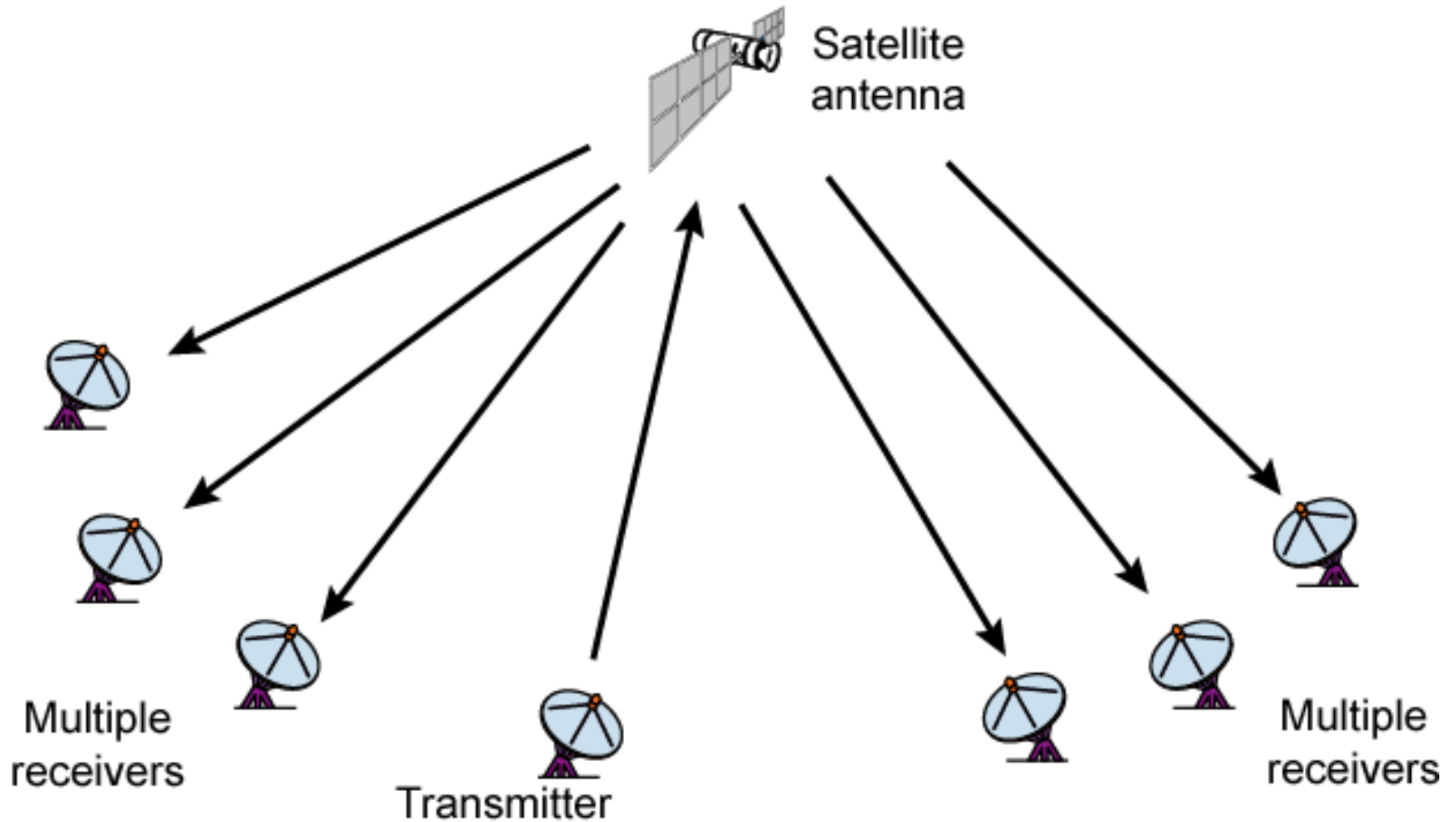
- Es una estación que retransmite microondas.
- El satellite recibe en una frecuencia, amplifica o repite la señal y transmite en otra frecuencia.
- Requiere de orbitas geoestacionarias.
 - Altura 35,784km aproximados.
- Televisión
- Teléfono a grandes distancias.
- Redes privadas de computadoras.

Enlace punto a punto satelital.



(a) Point-to-point link

Enlace de broadcast satelital



(b) Broadcast link

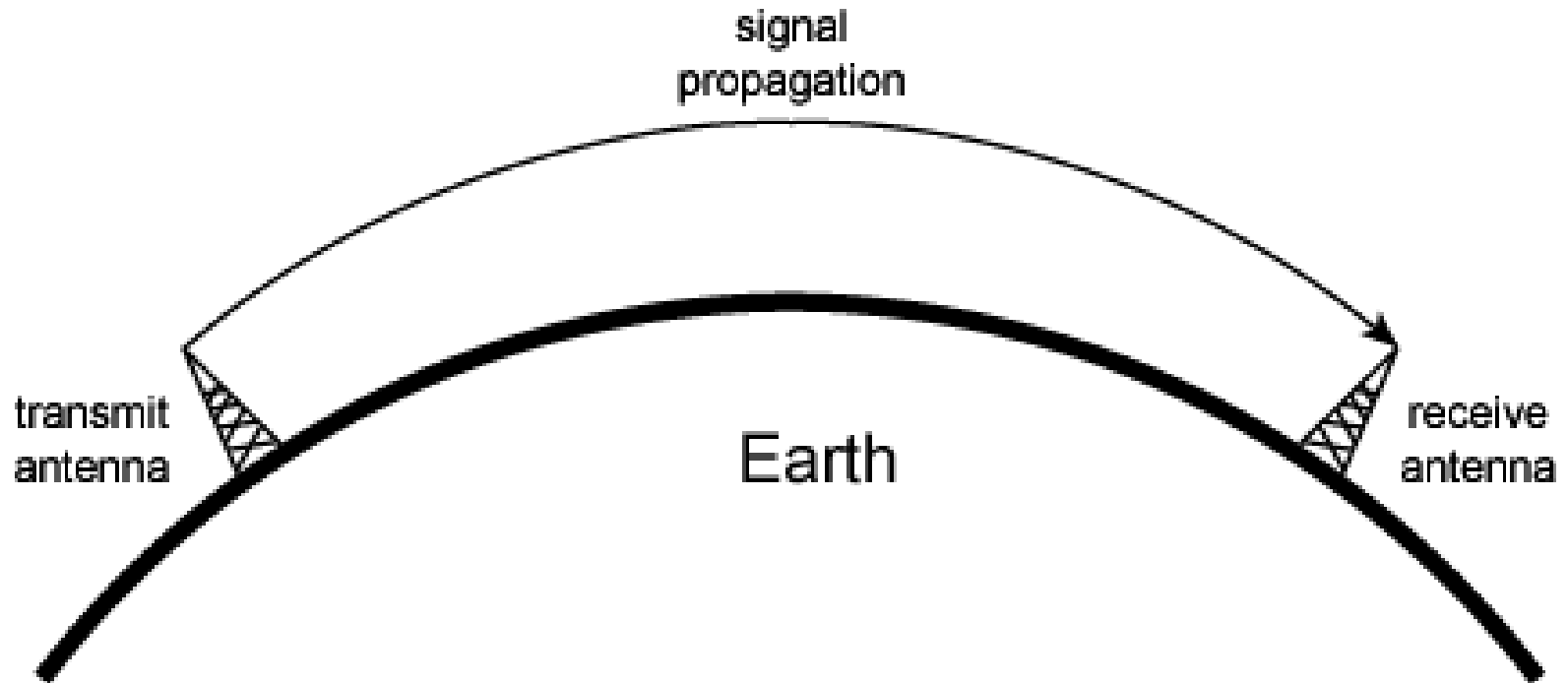
Características de transmisión

- Rango de operación óptimo de 1 a 10 Ghz.
Arriba de 10 Ghz existe mucha atenuación
- Rango muy usado: 5.925 y 6.424 Ghz canal ascendente y 3.7 y 4.2 Ghz canal descendente.
Banda 4/6 Ghz

Propagación inalámbrica

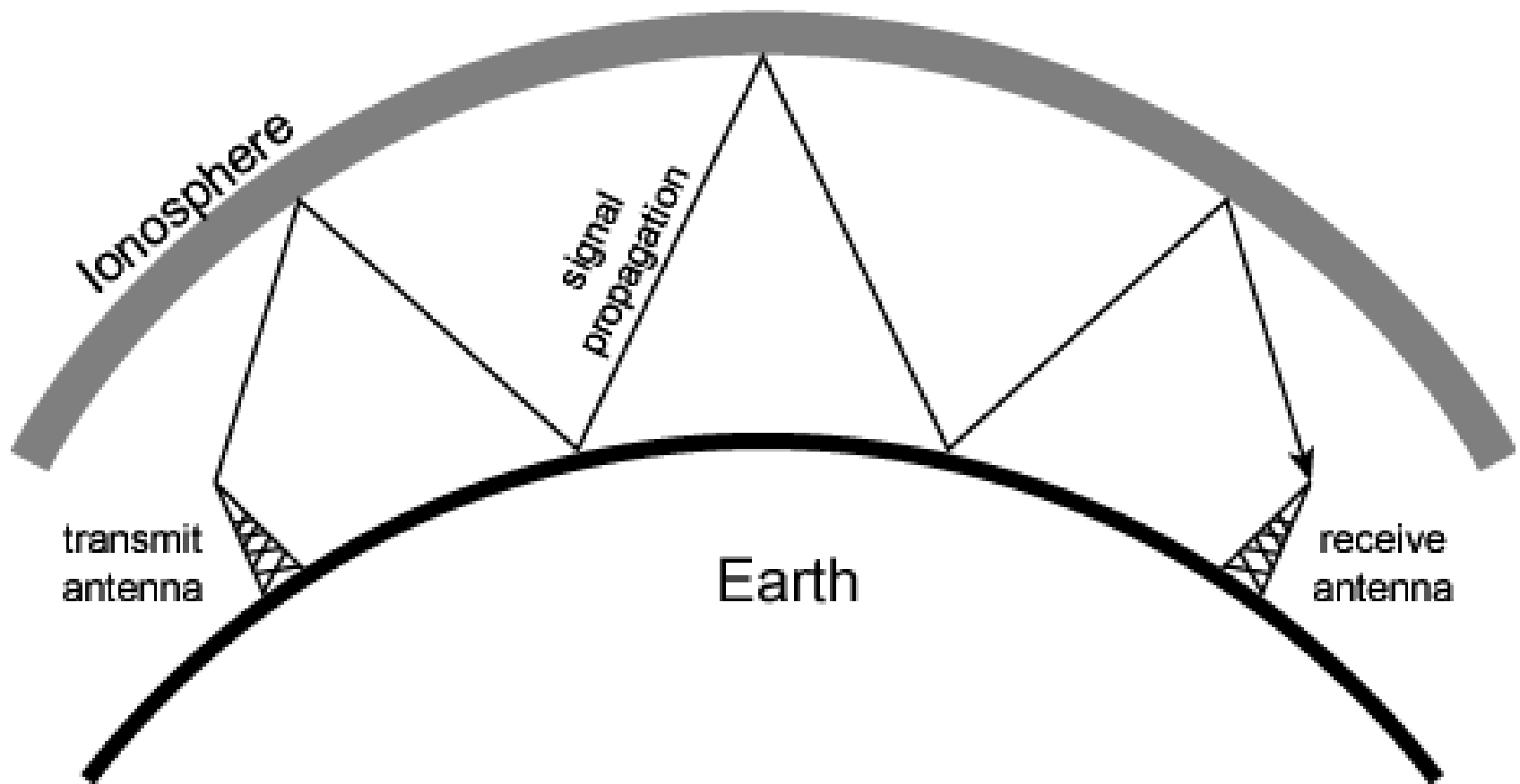
- La señal puede viajar por tres caminos
 - Ondas superficial: sigue el contorno de la superficie terrestre. Radio AM
 - Ondas aéreas
 - Radios amateur.
 - La señal se refleja en la ionosfera
 - Línea de vista (LOS)
 - Arriba de los 30 Mhz
 - El radio horizonte afecta la transmisión.
 - Etc.

Ground Wave Propagation



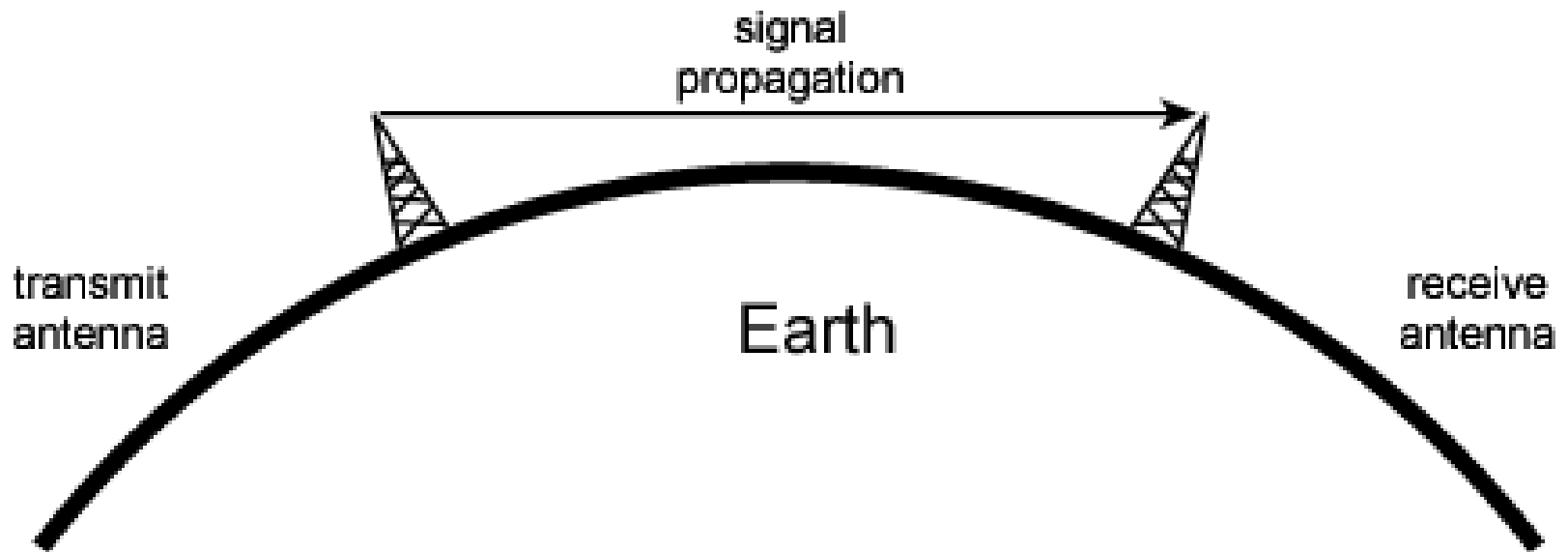
(a) Ground-wave propagation (below 2 MHz)

Sky Wave Propagation



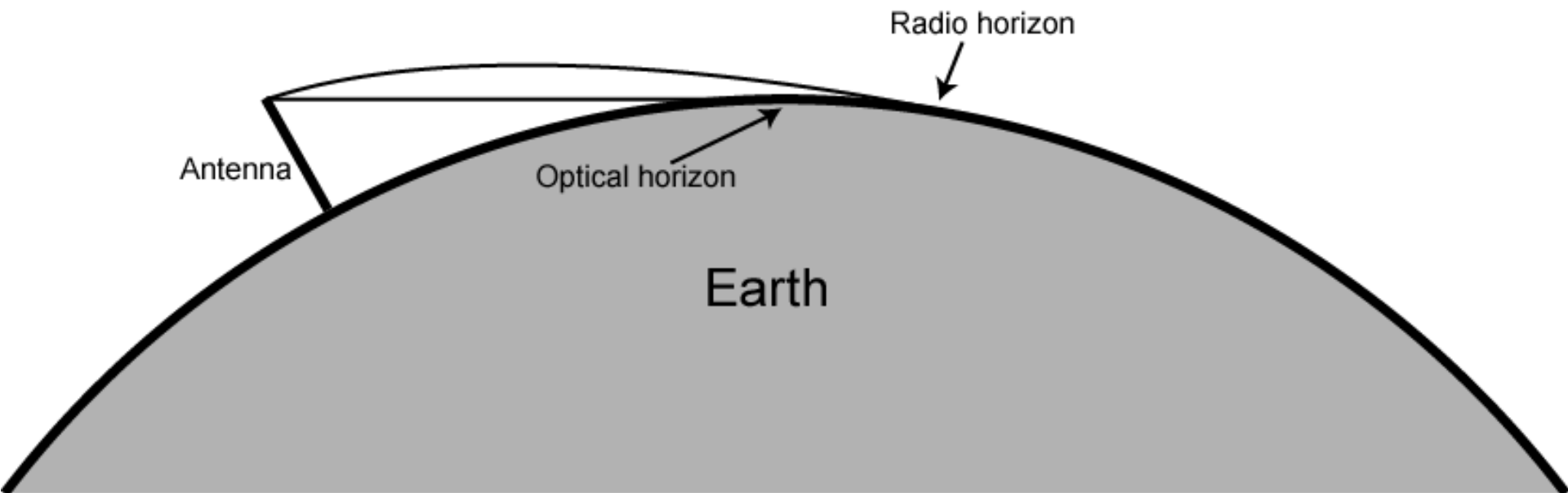
(b) Sky-wave propagation (2 to 30 MHz)

Line of Sight Propagation



(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)

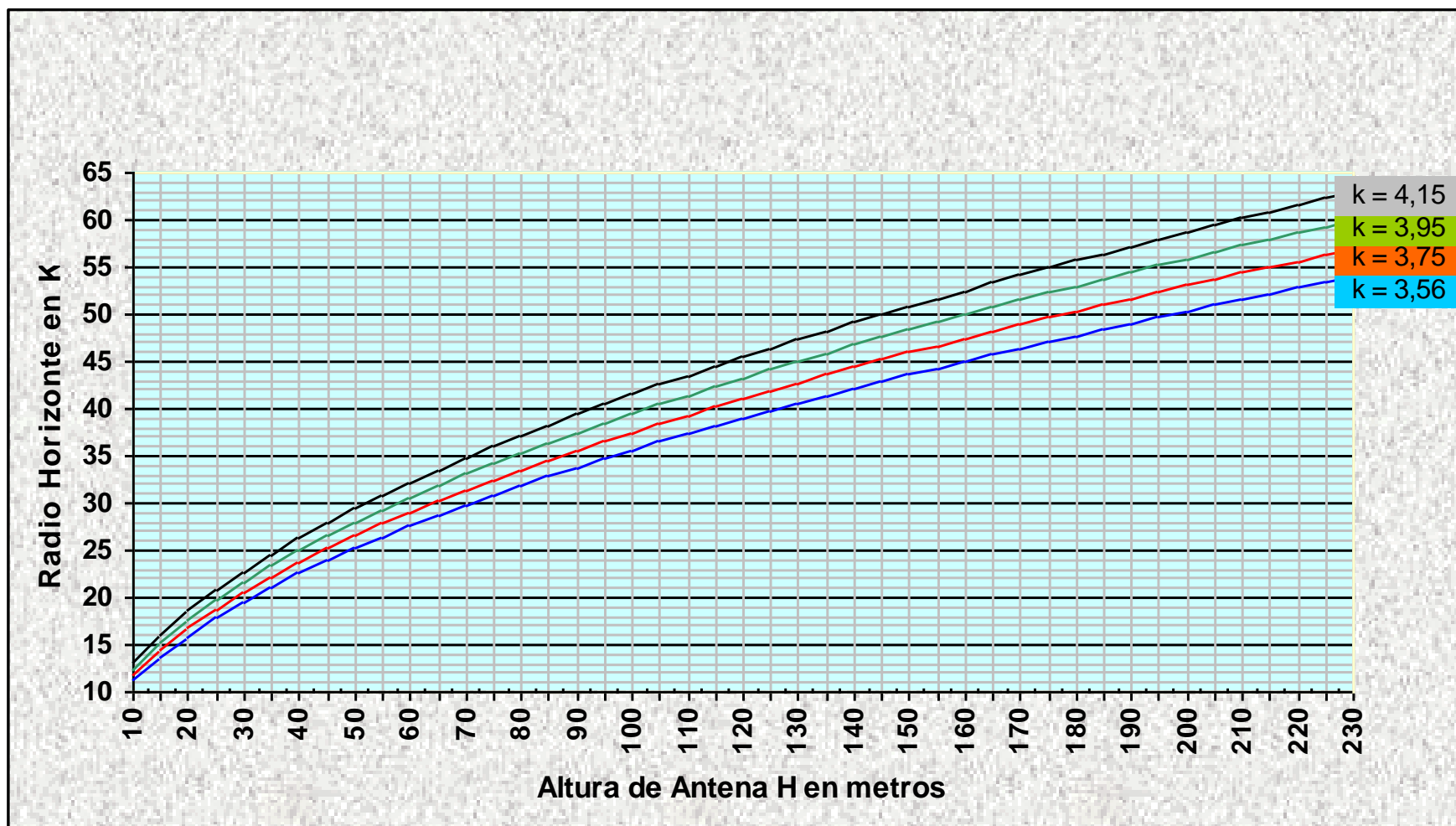
Optical and Radio Horizons



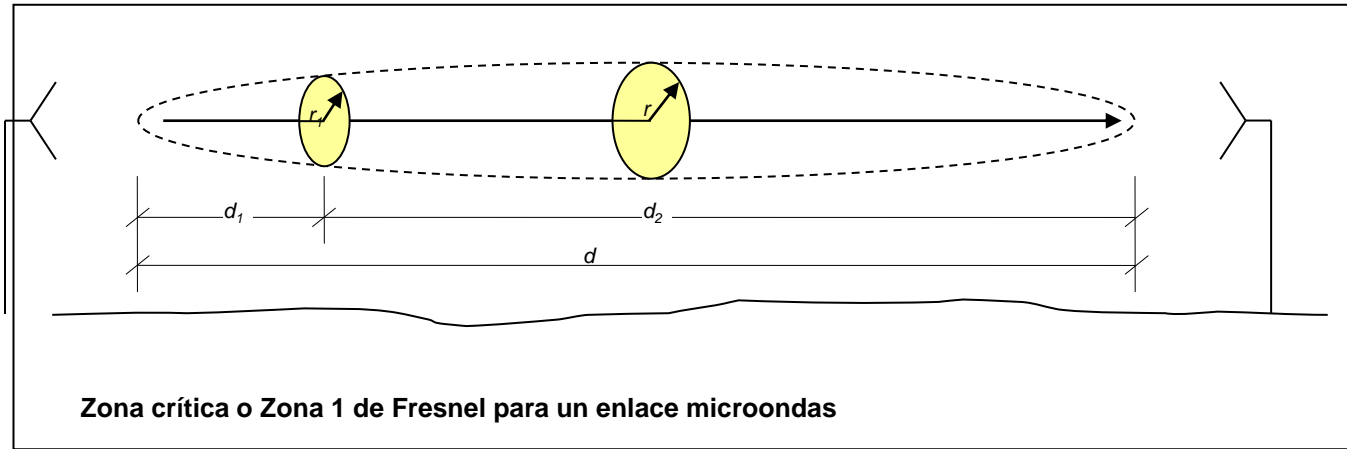
Transmisión por línea de vista

- Si no hay obstáculos, la línea de visión óptica se puede expresar cómo:
 - $d = 3.57 \sqrt{h}$
 - d es la distancia entre la antena y el radio horizonte en kilómetros y h es la altura en metros.
- La línea efectiva se expresa:
 - $d = 3.57 \sqrt{kh}$
 - Donde k es un factor de ajuste que tiene en cuenta la difracción.
- El enlace completo se expresa:
 - $3.57 \sqrt{kh_1} + 3.57 \sqrt{kh_2}$
 - h_1 y h_2 son las alturas de las torres.

Cálculo rápido de RH



Zona de Fresnel



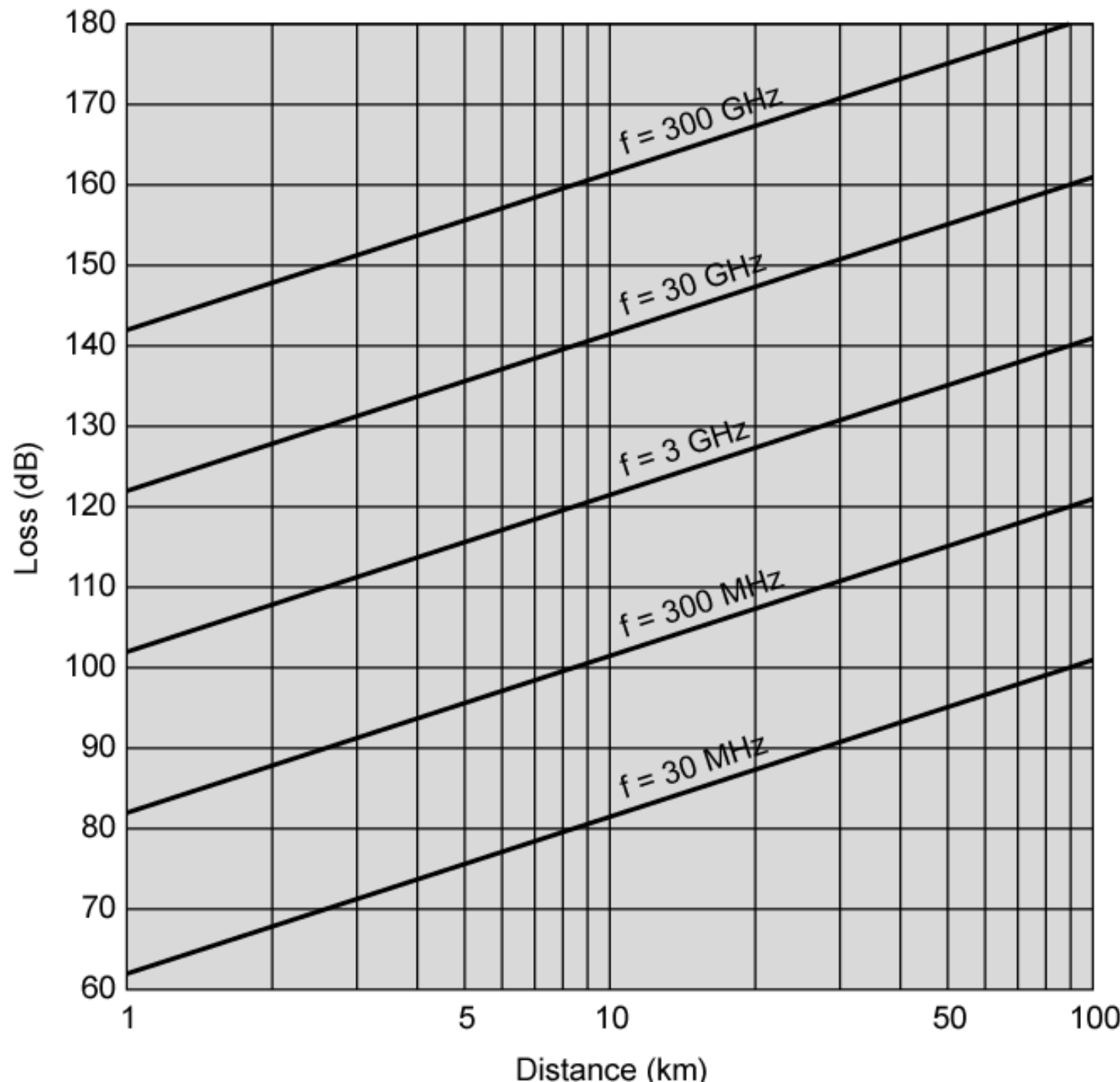
Elipsoide de revolución
Eje mayor = Eje del Haz
Eje menor en la mitad del vano
Cálculo según ITU-R I.175

$$Rf_n(m) = 548 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{F \cdot d}}$$

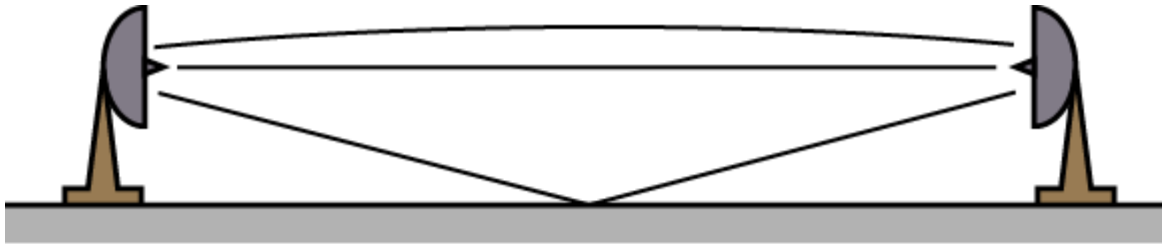
Criterio de la obstrucción < 15%
del área

Transmisión por línea de vista

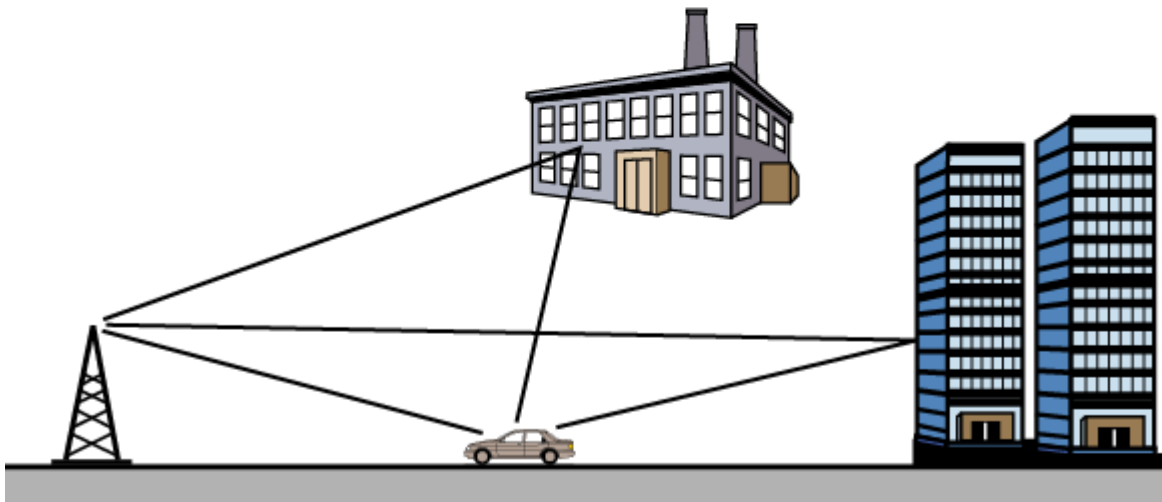
- Cualquier comunicación inalámbrica produce una dispersión de la señal con la distancia.
- A este fenómeno se lo llama: Pérdida en el espacio libre y se calcula de la siguiente manera:
 - $L \text{ (dB)} = 20 \log (f) + 20 \log (d) - 147.56 \text{ dB}$



Multipath Interference



(a) Microwave line of sight



(b) Mobile radio

Perdidas en los alimentadoras

| Alimentador | Banda de transmisión GHz | Atenuación específica dB/100m | Pérdida por diversidad dB | Pérdida por par de acoples dB | Impedancia característica Ω | Resistencia de $\Omega/100\text{ m}$ | NVP |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---|-------|
| Coaxil | Hasta 0,9 | 3,00 | 2 | 1,2 | 50 | 0,78 | 88 |
| | 0,9 - 1,5 | 4,80 | | | | | |
| | 1,5 - 1,9 | 5,00 | | | | | |
| | 1,9 - 2,2 | 5,40 | | | | | |
| | 2,2 - 2,4 | 5,80 | | | | | |
| Guía de onda | 2,4 - 3,1 | 1,40 | 4 | 0,6 | N/A | N/A | 97,08 |
| | 3,1 - 4,4 | 2,10 | | | | | |
| | 4,4 - 6,2 | 3,60 | | | | | |
| | 6,2 - 7,1 | 4,30 | | | | | |
| | 7,1 - 7,7 | 4,60 | | | | | |
| | 7,7 - 8,5 | 5,60 | | | | | |
| | 8,5 - 10,0 | 8,40 | | | | | |
| | 10,0 - 11,7 | 8,90 | | | | | |
| | 11,7 - 13,3 | 11,20 | | | | | |
| | 13,3 - 15,4 | 13,70 | | | | | |
| | 15,4 - 19,7 | 18,90 | | | | | |
| | 19,7 - 23,6 | 28,10 | | | | | |
| | 23,6 - 26,5 | 32,00 | | | | | |
| | 26,5 - 40,0 | 60,00 | | | | | |

Perdida de desvanecimiento

| Término | Pondera | Factores | Valores |
|----------------------|------------------------------|---------------------------------|--|
| ▪ $30 \log D$ | La diversidad modal | D Distancia | La distancia visual entre antenas, en Km |
| ▪ $10 \log (6A B F)$ | El entorno de propagación | A Factor de rugosidad | 4 = espejos de agua, ríos muy anchos, etc. |
| | | | 3 = sembrados densos; pastizales; arenales |
| | | | 2 = bosques (la propagación va por encima) |
| | | | 1 = terreno normal |
| | | | 0,25 = terreno rocoso desperejo |
| | | B Factor climático | 1 = áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas |
| | | | 0,5 = áreas tropicales calientes y húmedas |
| | | | 0,25 = áreas mediterráneas de clima normal |
| | | | 0,125 = áreas montañosas de clima seco y fresco |
| | | F Frecuencia | La frecuencia medida en GHz |
| ▪ $10 \log (1 - R)$ | El objetivo de confiabilidad | R Confiabilidad | La confiabilidad esperada o convenida, como un decimal |

$$L_D \text{ (dB)} = 30 \log D + 10 \log (6A B F) - 10 \log (1 - R) - 70$$

Ganancias de las antenas

| Diámetro | | Frecuencias superior e inferior en GHz | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| (m) | (pies) | 0,9 a 1,5 | 1,7 a 1,9 | 1,9 a 2,3 | 2,3 a 2,5 | 2,5 a 2,7 | 3,4 a 4,2 | 4,0 a 6,4 | 6,4 a 7,1 | 7,1 a 8,5 | 10,0 a 13,0 | 13,0 a 16,0 | 16,0 a 20,0 | 20,0 a 25,0 | 25,0 a 40,0 |
| 0,3 | 1 | | | | | | | | | | | 29,0 | 31,1 | 33,0 | 37,5 |
| 0,6 | 2 | | | | 18,5 | 18,6 | | | | 29,3 | 33,4 | 34,4 | 36,3 | 38,2 | 42,4 |
| 0,9 | 3 | | | | 22,1 | 22,4 | | | | 31,9 | 36,7 | 37,0 | 39,1 | 41,7 | |
| 1,2 | 4 | 20,7 | 22,3 | 24,2 | 25,0 | 25,9 | | | | 34,9 | 39,5 | 40,4 | 42,5 | 44,2 | |
| 1,8 | 6 | 24,3 | 26,2 | 28,1 | 28,6 | 29,4 | 33,1 | 36,4 | 37,9 | 38,4 | 43,1 | 43,9 | 46,4 | 47,6 | |
| 2,4 | 8 | 26,9 | 28,7 | 30,6 | 31,3 | 31,9 | 35,4 | 38,9 | 40,3 | 40,9 | 45,5 | 44,4 | | | |
| 3,0 | 10 | 28,9 | 30,7 | 32,5 | 33,2 | 33,9 | 37,4 | 40,8 | 42,0 | 42,9 | 47,2 | | | | |
| 3,7 | 12 | 30,5 | 32,4 | 34,1 | 34,8 | 35,5 | 39,0 | 42,44 | 43,6 | 44,6 | | | | | |
| 4,6 | 15 | | | | | | 40,9 | 44,6 | 45,5 | 46,2 | | | | | |

Perdidas Totales

Pérdidas en el alimentador

Atenuación por metro, atenuación en los acoples y pérdida por diversidad. Todas tabuladas

$$LA \text{ (dB)} = L \text{ (m)} \times \text{dB/m} + Q \text{ acoples} \times \text{dB/acoples} + \text{dB diversidad}$$

Pérdidas en la trayectoria

Son función creciente del logaritmo del vano y del de la frecuencia

$$LT \text{ (dB)} = 92,44 + 20 \log F \text{ (GHz)} + 20 \log D \text{ (Km)}$$

Pérdidas por desvanecimiento

Son función del tipo de terreno, del tipo de clima y del objetivo de confiabilidad

$$LD \text{ (dB)} = 30 \times \log D \text{ (Km)} + 10 \log (6 A B F) - 10 \log (1 - R) - 70$$

30 log D: Pondera la diversidad modal

6 A B F : Pondera el entorno de propagación:

A: Factor de rugosidad del terreno

B: factor climático

10 log(1-R): Pondera el objetivo de confiabilidad

R: Confiabilidad deseada en número decimal

Cálculo del enlace

$$L_S \text{ (dB)} = L_A + L_T + L_D - G_A$$

$$P_R \text{ (dBm)} = P_X \text{ (dBm)} - L_S \text{ (dB)} \geq S_R \text{ (dBm)}$$

PR: Potencia que se medirá a la entrada del radio módem receptor

Px: Potencia con la que la señal es generada por el radio módem transmisor

GA: Ganancias que serán aplicadas a la señal en la antena transmisora y en la receptora

LT: Pérdidas totales, representadas por las que habrá en los alimentadores y acoples, como
atenuación en la trayectoria y los márgenes de seguridad y ajuste que se tomarán

Sr: Sensibilidad en el receptor, es decir umbral de potencia que lo excita