



# **Arquitectura de comunicaciones Móviles**

*Introducción a los sistemas de propagación*

Ing. Pablo Lena  
Ing. Anibal Pose



# 1- Objetivos:

- Conocer y comprender principios básicos de comunicaciones
- Poder realizar la configuración básica de sistemas
- Capacitarse para la detección primaria de fallas

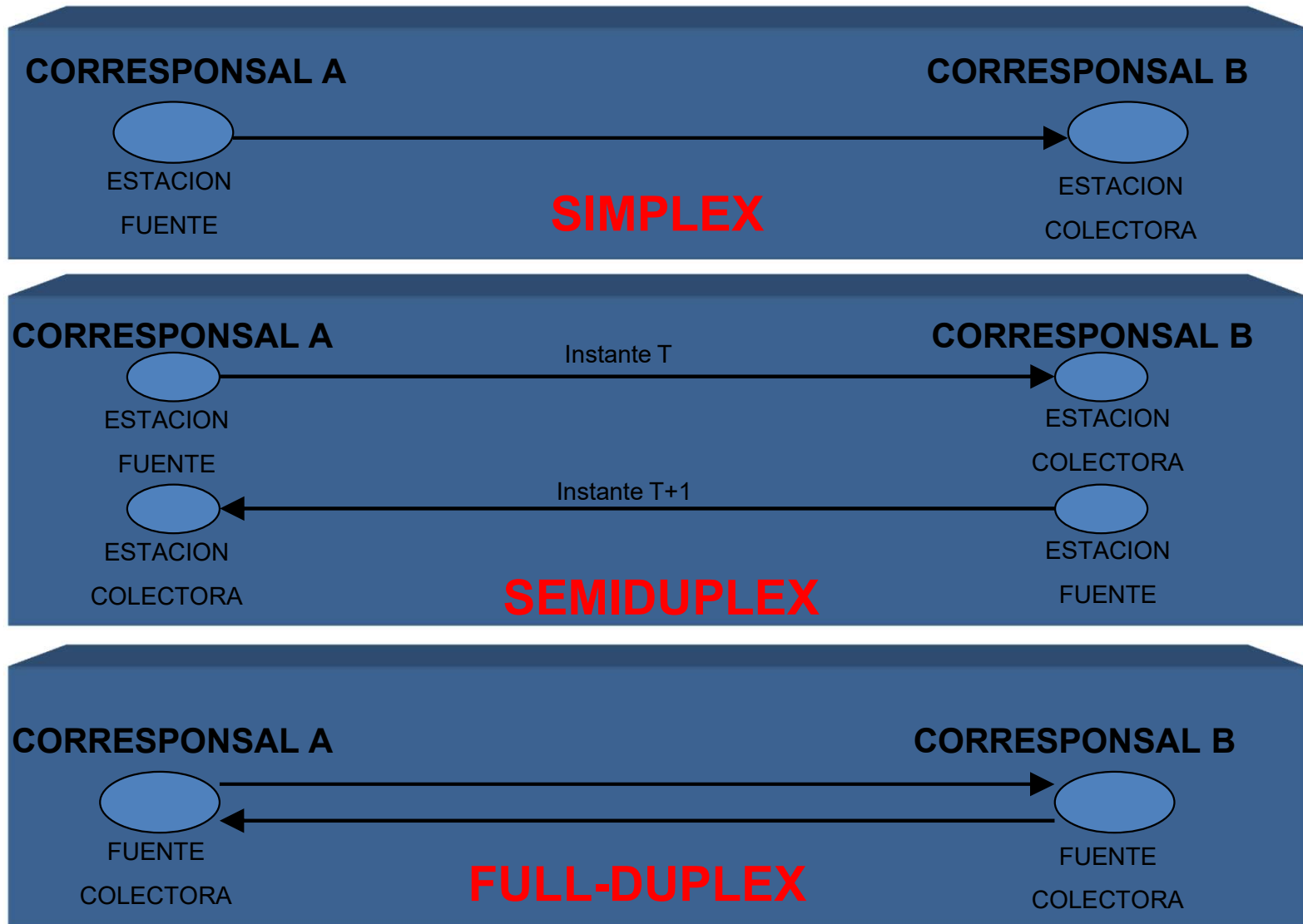


## Tipos de Transmisión:

- **SIMPLEX**
  - **SEMIDUPLEX**
  - **FULLDUPLEX**
-



# Tipos de Transmisión:





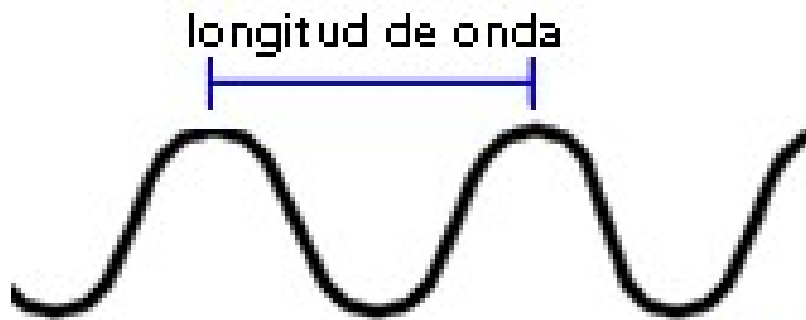
# Parámetros de las ondas

- Amplitud
- Velocidad de propagación
- Longitud de Onda
- Período
- Frecuencia

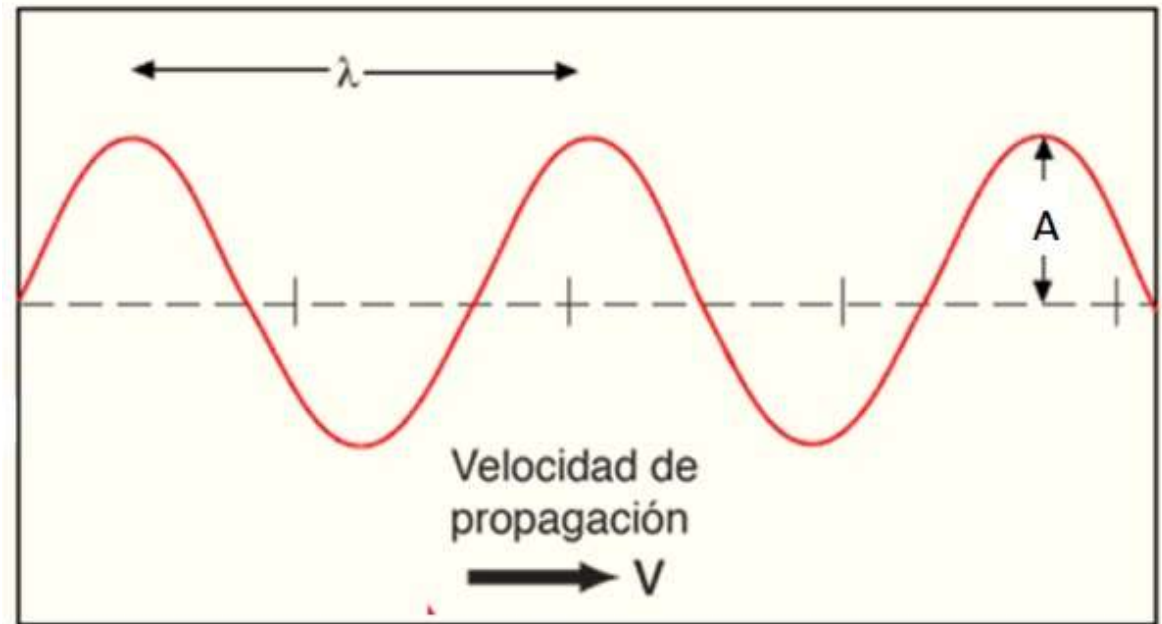


## Longitud de Onda:

- ( $\lambda$ ) es la distancia en el espacio dentro de la cual la función onda se repite a sí misma, en determinado tiempo.



El símbolo para la longitud de onda es  $\lambda$





## Frecuencia:

- (f) Número de ciclos por unidad de tiempo. Se mide en hertz (Hz) que es lo mismo que  $\text{Seg}^{-1}$  ya que es la inversa del período. " $f = 1/T$ "

La frecuencia está íntimamente relacionada con la  $\lambda$ , son inversamente proporcionales, físicamente implica que si una aumenta al doble la otra se reduce a la mitad. Si se multiplican se obtiene un valor constante, esa constante es la velocidad de propagación de la luz.

Donde:

$$c = F \times \lambda$$

F = Frecuencia (medida en Hertz)

c = Velocidad de propagación ( $3 \times 10^8 \text{m/seg.}$ )

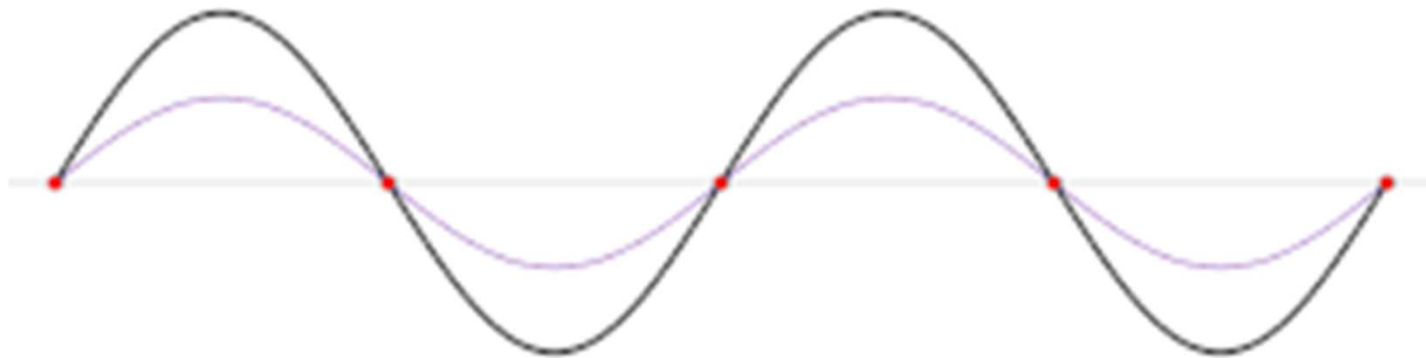
$\lambda$  = Longitud de onda (Mts.)



# Ondas estacionarias

Una onda estacionaria es el resultado de la superposición de dos movimientos ondulatorios armónicos de igual amplitud y frecuencia que se propagan en sentidos opuestos a través de un medio.

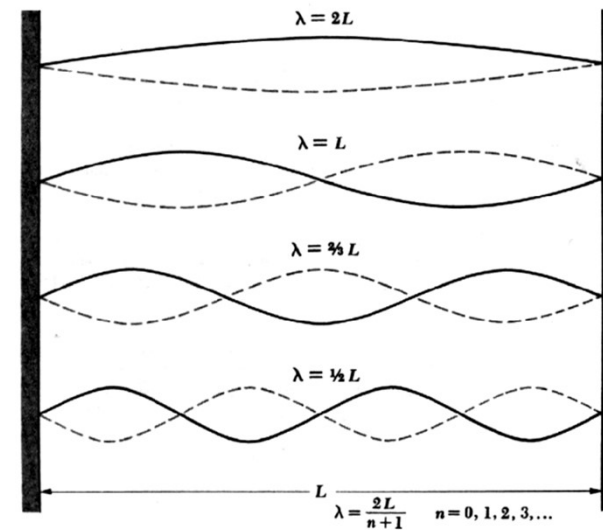
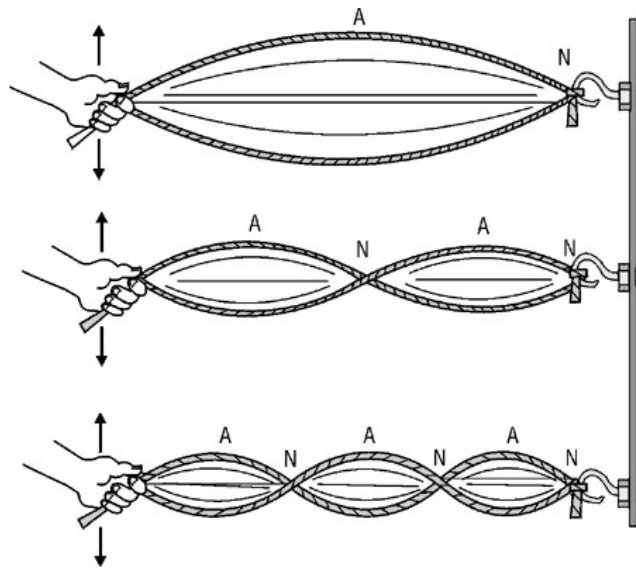
Las ondas estacionarias son aquellas ondas en las cuales ciertos puntos, llamados nodos, permanecen inmóviles. Una onda estacionaria se forma por la interferencia de dos ondas de la misma naturaleza con igual amplitud, longitud de onda (o frecuencia) que avanzan en sentido opuesto a través de un medio.







# Ondas estacionarias



Cuando se tiene una cuerda fija en ambos extremos, se crean ondas con idénticas amplitud y frecuencia, que viajan en sentidos opuestos y se combinan produciendo un fenómeno llamado *interferencia*.

Si las ondas están en fase, las crestas y los valles están alineados y dan como resultado una onda con el doble de amplitud. En ese caso se habla de interferencia constructiva.

Pero si las ondas que interfieren están fuera de fase, las crestas de una se encuentran con los valles de otras y la amplitud que resulta es cero.

Se trata entonces de interferencia destructiva.



# Armónicos

A los distintos valores que toma  $\lambda$  se le llaman *armónicos*. Así tenemos:

- Primer armónico:  $\lambda = 2L$
- Segundo armónico:  $\lambda = L$
- Tercer armónico:  $\lambda = 2 L/3$
- Cuarto armónico:  $\lambda = L/2$

Y así sucesivamente..



# Introducción al electromagnetismo

Si bien algunos efectos magnéticos han sido conocidos desde la antigüedad, como por ejemplo el poder de atracción que sobre el hierro ejerce la magnetita, no fue sino hasta el siglo XIX cuando la relación entre la electricidad y el magnetismo quedó patente, pasando ambos campos de ser diferenciados a formar el cuerpo de lo que se conoce como electromagnetismo.

La ciencia de la electricidad nació con el descubrimiento conocido por Tales de Mileto, en el año 600 a.C, de que un trozo de ámbar frotado atrae pedazos de paja.

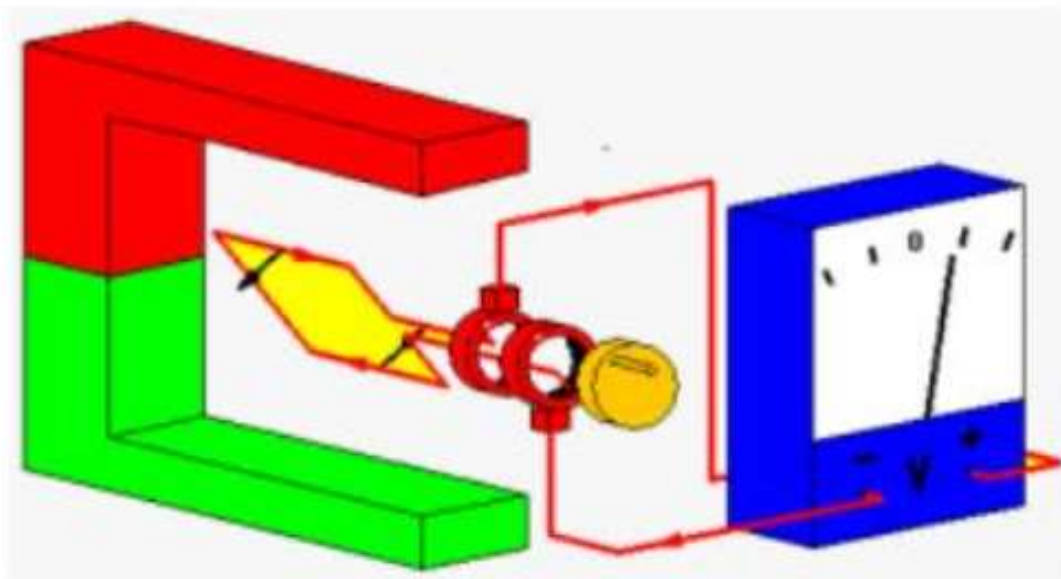
Cuando dos cargas eléctricas se encuentran en reposo, entre ellas existe una fuerza llamada electrostática.

Estas dos ciencias se desarrollaron independientemente una de la otra hasta 1820, cuando un científico llamado Hans Christian Oersted (1777-1851) observó una relación entre ellas, al saber, que la corriente eléctrica de un alambre puede afectar a una aguja magnética de una brújula.



# Ley de Faraday

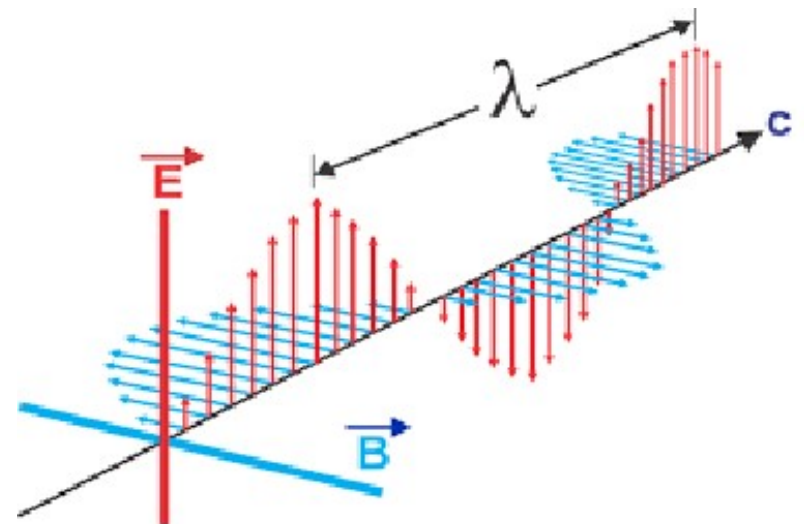
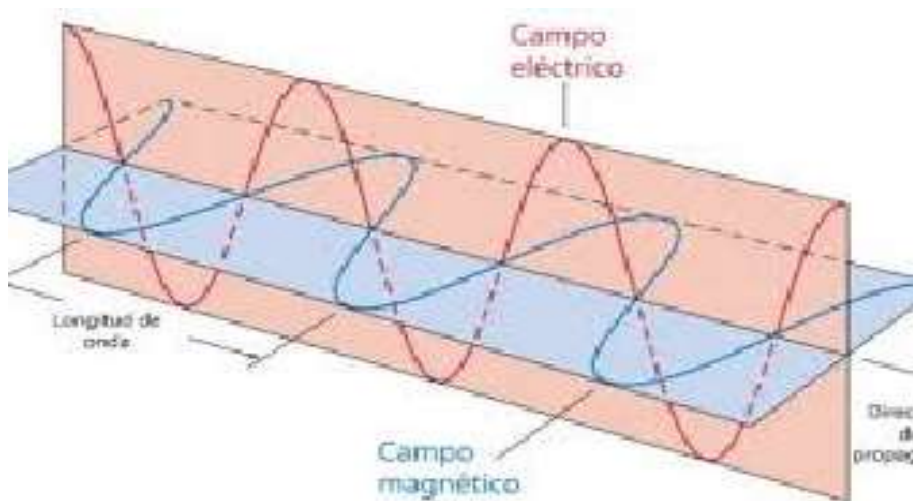
Esta ley refiere a la variación del campo magnético; cuando este cambia produce un campo eléctrico que se representa en Fuerza Electromotriz (FEM), como existe un campo eléctrico aparecerá una corriente, todo gracias al campo magnético.





# Onda Electromagnética

Las ondas electromagnéticas son la combinación de ondas en campos eléctricos y magnéticos producidas por cargas en movimiento. Es decir, lo que ondula en las ondas electromagnéticas son los campos eléctricos y magnéticos.





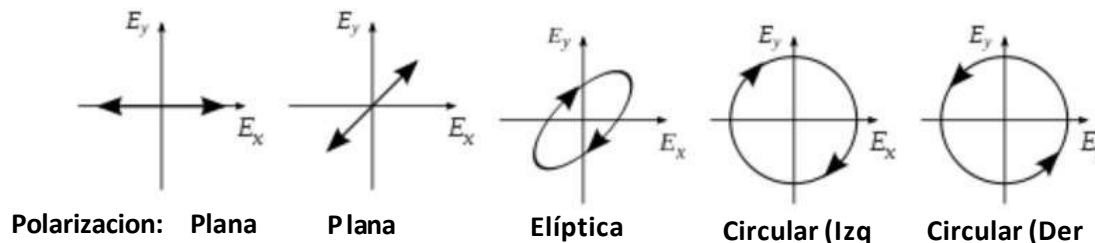
# Polarización de una OE

La polarización es una propiedad que se aplica a las ondas transversales que especifica la orientación geométrica de las oscilaciones. En una onda EM, que es una onda transversal, la dirección de la oscilación es perpendicular a la dirección del movimiento (propagación) de la onda.

Una onda electromagnética como la luz consiste en un campo eléctrico oscilante acoplado a un campo magnético que siempre son perpendiculares. Por convención, la dirección de "polarización" de las ondas electromagnéticas se refiere a la del campo eléctrico.

La luz o cualquier otra radiación electromagnética de fuentes como el sol, lámparas incandescentes, etc., consiste en "porciones" de onda con una mezcla de polarizaciones. Esto se llama luz no polarizada.

La luz o cualquier onda EM puede ser polarizada de forma plana, circular o elíptica (hacia la derecha o la izquierda).

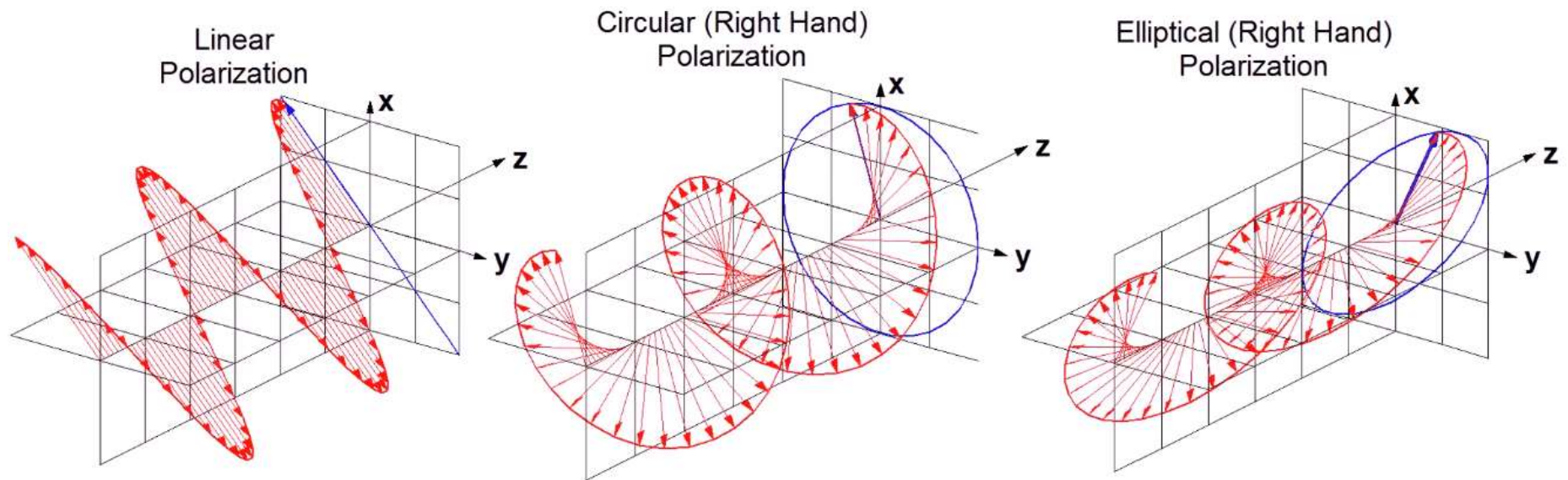




# Polarización de una OE

La polarización es una característica de toda onda transversal, se define como la figura geométrica descrita en el tiempo, trazada por la punta del vector del campo eléctrico.

El trazado descrito se aprecia desde un plano perpendicular a la dirección de una propagación de la onda. En general, existen 3 formas en que se puede visualizar, mostradas en la figura 1 de izquierda a derecha son: polarización lineal, circular y elíptica





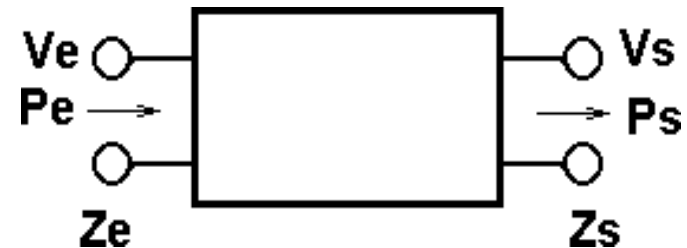


# Concepto Bell y Decibel

El decibel (dB) es una unidad relativa de una señal muy utilizada por la simplicidad al momento de comparar y calcular niveles de señales eléctricas. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles (dB) puede ser fácilmente sumada o restada y también por la razón de que el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica.

$$= \text{BEL} = \log_{10} (P_s / P_e)$$

$P_s$  = Potencia de salida       $P_e$  = Potencia



Más comúnmente usado es el "decibel" (dB). Matemáticamente, el dB es 10 veces el BEL, que se define como 10 veces el logaritmo decimal de la relación entre la potencia de salida a la potencia de entrada de un cuadripolo.

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (P_s / P_e)$$

---





## mW y dBm

dBm es la potencia de radio expresada en dB referida a 1mW.

Para convertir mW a dBm, tenemos que multiplicar por 10 el logaritmo de la potencia expresada en mW. Por ejemplo, si la potencia máxima son 100mW:

$$10 \times \log 100\text{mW} = 20 \text{ dBm}$$

# Espectro Radioeléctrico



SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERÍSTICAS	USO TÍPICO
<b>VLF</b>	<b>VERY LOW FRECUENCIES</b> Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
<b>LF</b>	<b>LOW FRECUENCIES</b> Frecuencias bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
<b>MF</b>	<b>MEDIUM FRECUENCIES</b> Frecuencias medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN
<b>HF</b>	<b>HIGH FRECUENCIES</b> Frecuencias altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
<b>VHF</b>	<b>VERY HIGH FRECUENCIES</b> Frecuencias muy altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
<b>UHF</b>	<b>ULTRA HIGH FRECUENCIES</b> Frecuencias ultra altas	1 m. a 10 cm.	de 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, TELEVISIÓN
<b>SHF</b>	<b>SUPER HIGH FRECUENCIES</b> Frecuencias superaltas	10 cm. a 1 cm.	de 3 GHz a 30 GHz	COMO LA PRECEDENTE	Radar, Enlaces de radio, Satélites
<b>EHF</b>	<b>EXTRA HIGH FRECUENCIES</b> Frecuencias extra-altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO LA PRECEDENTE	Radar, infrarrojo



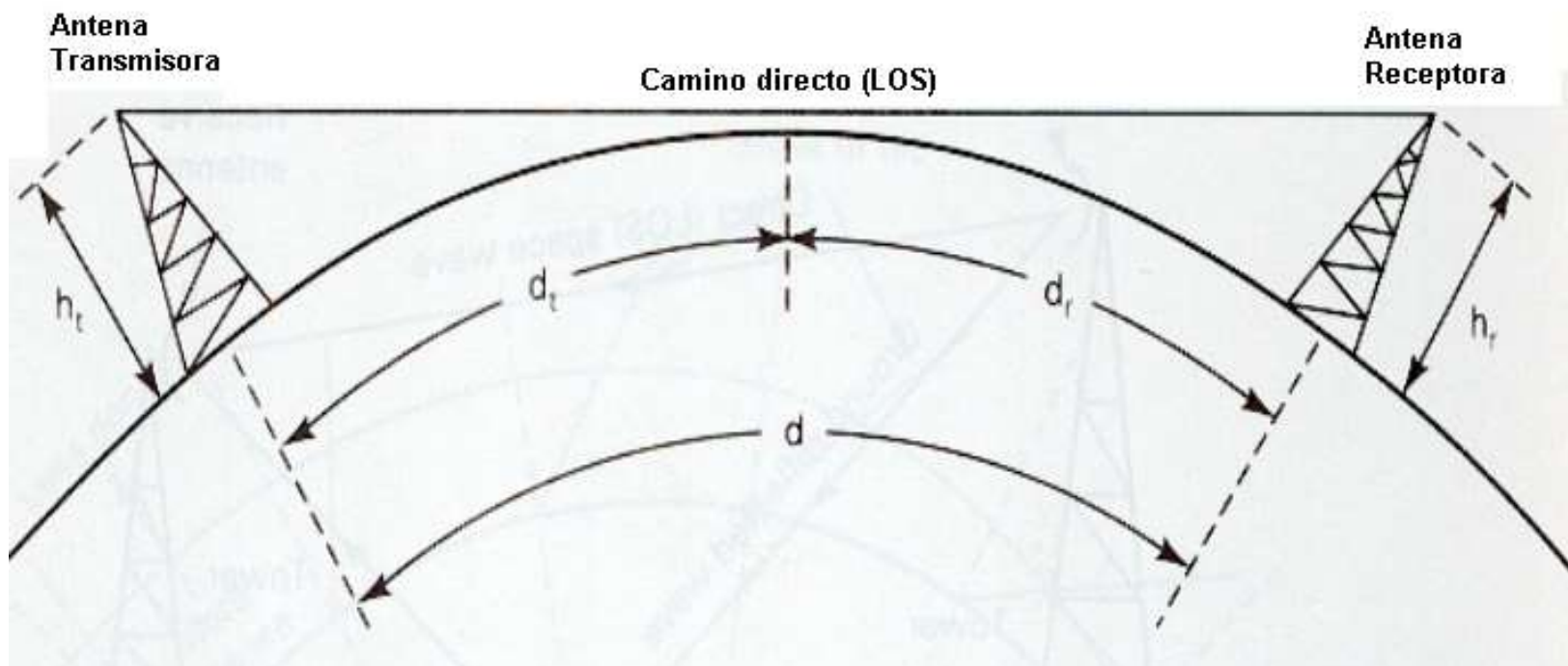
# CARACTERISTICAS DE LA PROPAGACION DE RF

- Refracción
- Reflexión
- Dispersión:
- Difracción



# Principios de Propagación

- Las ondas electro magnéticas (EM) se propagan en línea recta, excepto cuando la Tierra y su atmósfera alteran su trayectoria.



**Donde:**  $h_t$  = Altura de la antena en mts.

$d_t = 3,61 \times \sqrt{h_t}$  (distancia al horizonte en Kms.)

$d$  = Distancia entre antenas

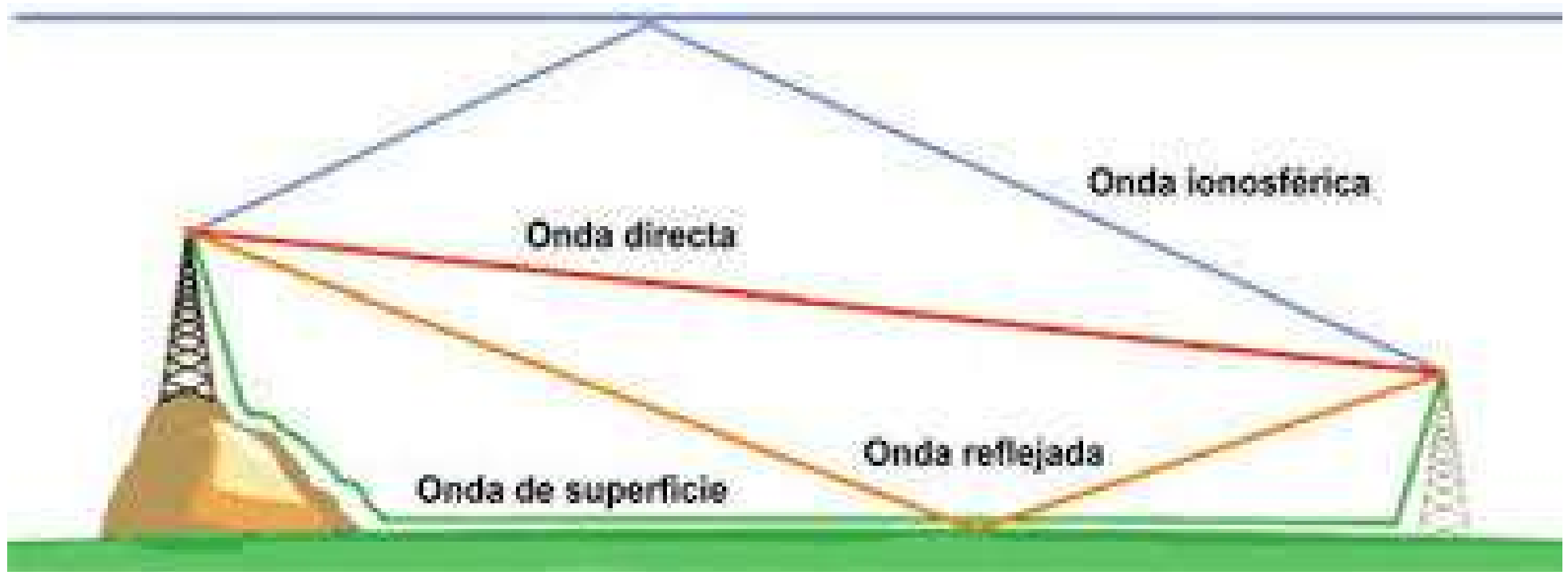


# Principios de Propagación

Existen 2 tipos básicos de propagación:

- Propagación por **Ondas Terrestres o de Superficie**
- Propagación por **Onda Espacial**

# Tipos de Propagación

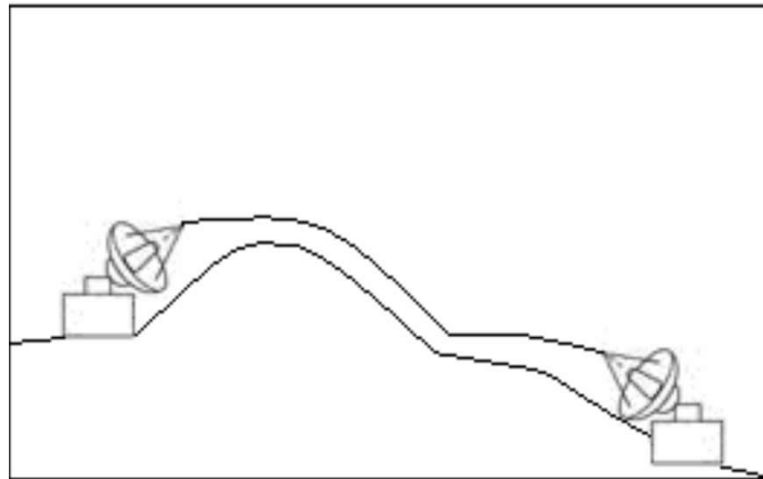




## Ondas terrestres

Una onda terrestre es una onda EM que viaja a lo largo de la superficie de la Tierra. Por lo tanto, las ondas terrestres ó de tierra, se le llaman a veces ondas superficiales.

Son aquellas que se propagan a escasa altura del suelo, es decir, paralelas a la superficie terrestre, afectándole por tanto las características del terreno.





## Ondas terrestres

- Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente, pues el campo eléctrico en una onda polarizada horizontalmente sería paralelo a la superficie de la tierra y estas ondas se corto-circuitarían con la conductividad de la tierra misma.
- Con ondas terrestres, el campo Eléctrico induce voltajes en la superficie de la Tierra, que produce corrientes inducidas. La superficie de la tierra también tiene resistencia y pérdidas dieléctricas, por lo que las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan.
- Buenos conductores para ondas terrestres son por ejemplo, el agua salada de mar. Malos conductores por ejemplo, el desierto.
- Las pérdidas de ondas terrestres se acentúan con la frecuencia, por lo que generalmente se usan para transmisiones de frecuencias menores a 2Mhz (Ej. radio AM).
- La densidad del aire hace que el frente de onda se incline gradualmente. Con suficiente potencia, se puede propagar mas allá del horizonte.





## Utilización, ventajas y desventajas de las ondas terrestres

- Se usan para comunicaciones entre barcos, y entre barcos y la tierra firme, así como en general para comunicaciones móviles marítimas.
- Se pueden usar con frecuencias de 15Khz a 2Mhz.
- Con suficiente potencia, pueden usarse para comunicar dos puntos cualquiera en el mundo.

Son relativamente inmunes a los cambios atmosféricos.

- Requieren potencias relativamente altas
- Como se limitan a frecuencias ultra bajas, bajas y medianas, se necesitan antenas muy grandes para su transmisión y recepción.
- Las pérdidas de las ondas terrestres son muy variables, dependiendo de la superficie y su composición, lo que hace la confiabilidad y repetibilidad de la transmisión dependiente del terreno.



## Ondas Espacial

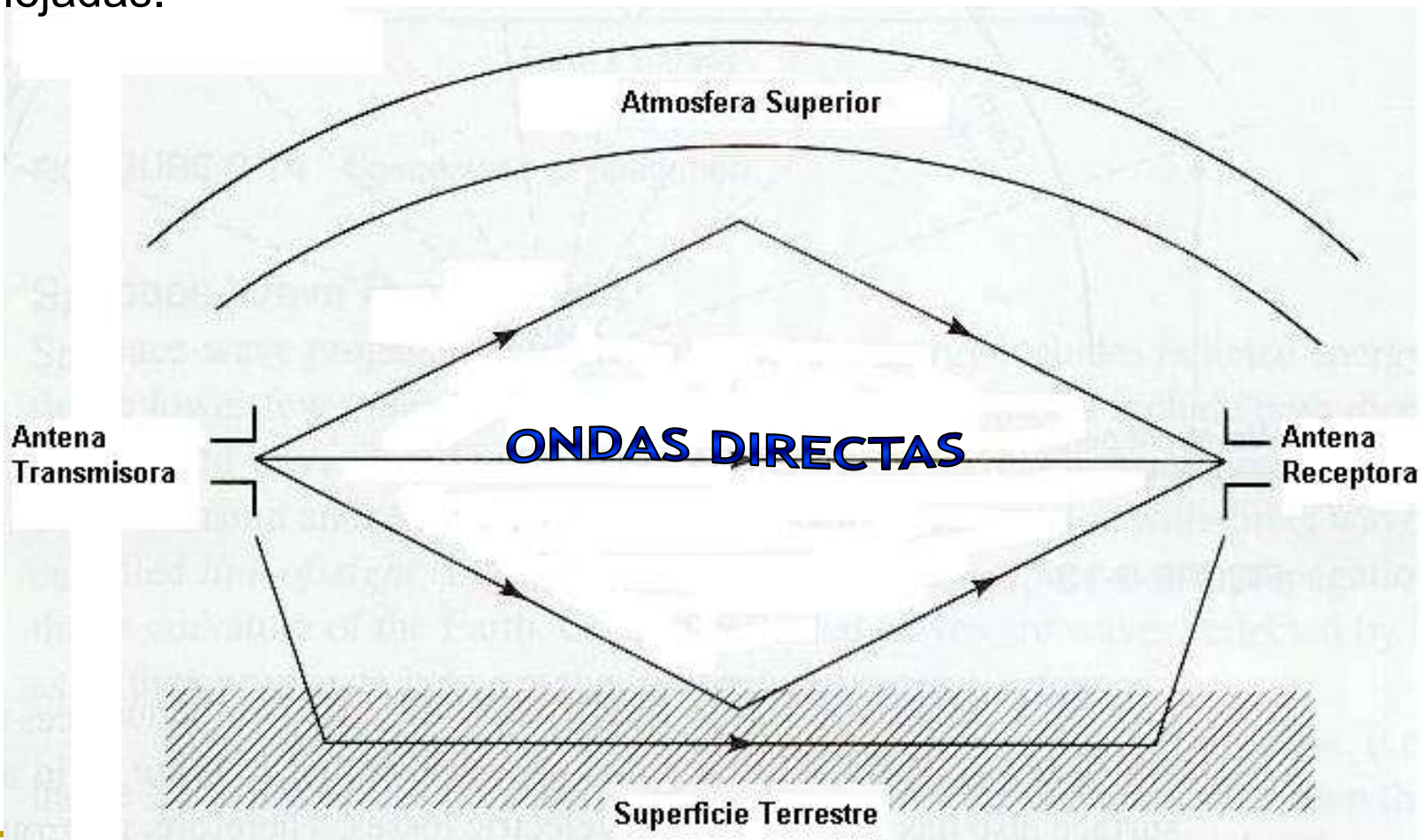
Las ondas espaciales son las que se propagan por el espacio. Dentro de las ondas espaciales podemos distinguir los siguientes tipos:

- Ondas troposféricas: Que son las que se propagan por la troposfera (capa baja de la atmósfera que llega hasta los 10 kilómetros de altura).-
- Ondas estratosféricas que son las que se propagan por la estratosfera (capa media de la atmósfera que va de los 10 kilómetros a los 50 kilómetros).-
- Ondas ionosféricas, que son las que se propagan por la ionosfera (capa superior de la atmósfera que va de los 50 a los 500 kilómetros).-



## Propagación en línea recta

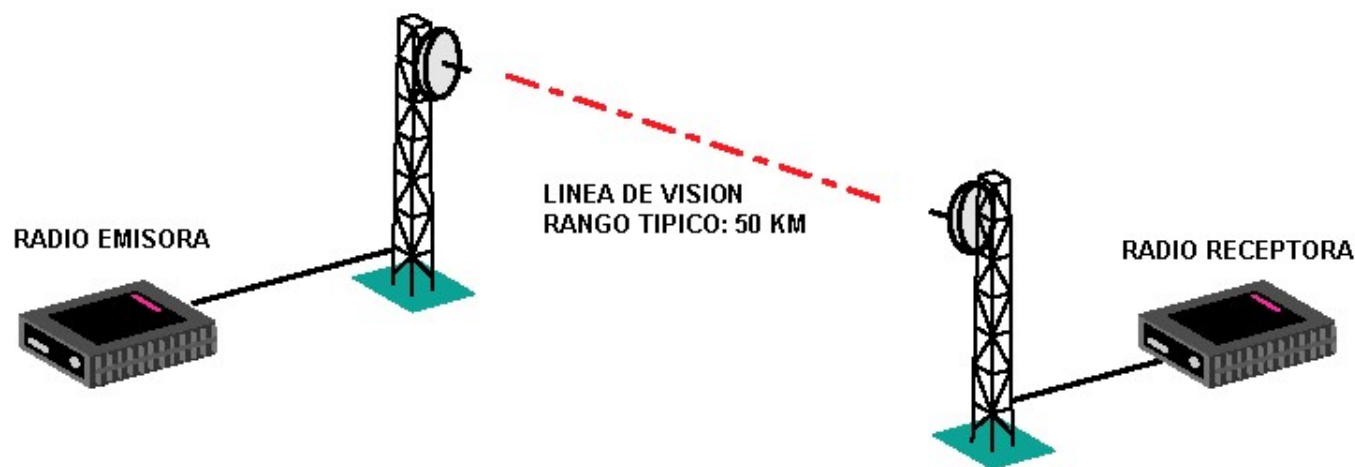
Esta propagación se refiere a la energía EM que viaja en las capas inferiores de la atmósfera terrestre. Las ondas directas incluyen tanto las ondas directamente transmitidas, como las indirectamente reflejadas.





## Utilización, ventajas y desventajas de la propagación en línea recta:

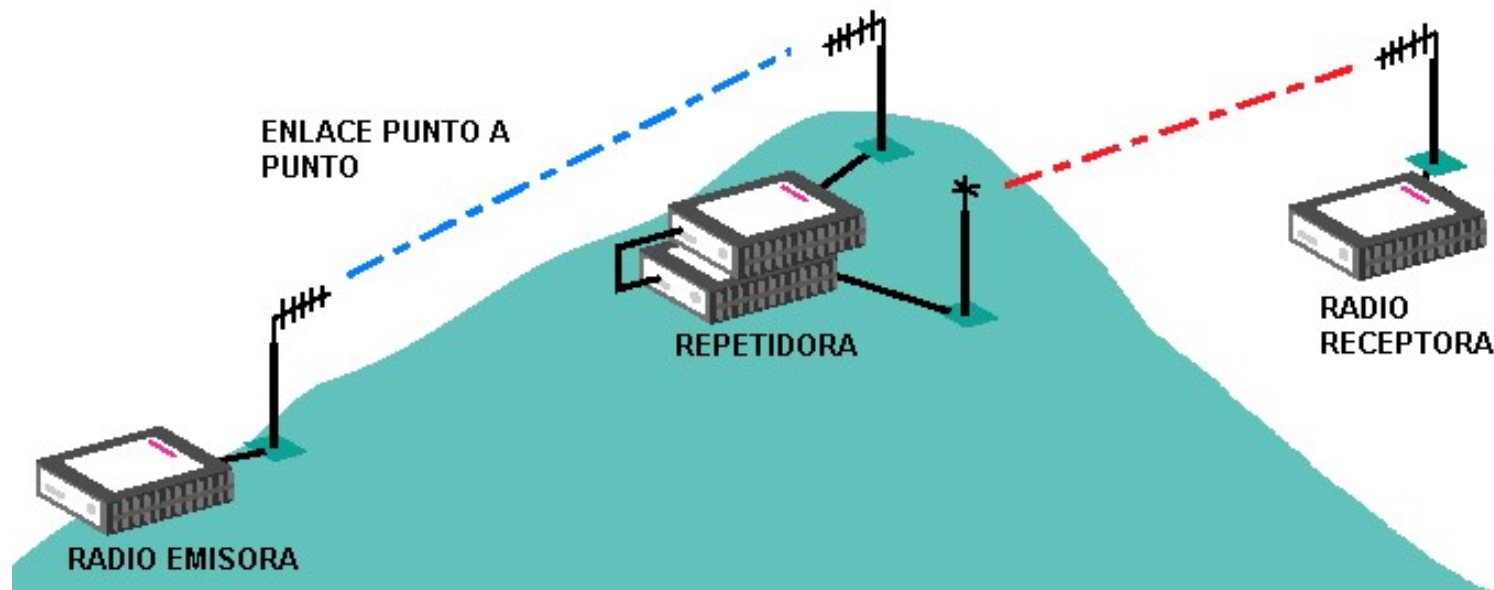
- Las ondas directas incluyen tanto las ondas directamente transmitidas, como las indirectamente reflejadas.
- La intensidad del campo eléctrico depende de la distancia entre las dos antenas, por el efecto de atenuación y absorción, y de la interferencia que pueda haber entre las ondas directas y las ondas reflejadas.
- Para que este tipo de propagación sea efectivo se necesita que entre las antenas exista una línea de visión, es decir puedan verse una a la otra





## Utilización, ventajas y desventajas de la propagación en línea recta:

- En el caso de que se presente un obstáculo entre las 2 antenas, es necesario colocar una estación repetidora, la cual cuenta con 2 radios conectadas “back to back” la cual se encarga de recibir la señal de la radio emisora, y transmitirla de forma “transparente” a la radio receptora, salteando así el obstáculo y recreando una “línea de visión virtual” entre las radios emisora y receptora





## Utilización, ventajas y desventajas de las ondas troposféricas:

- Las ondas troposféricas se irradian hacia el cielo, donde la ionosfera (parte superior de la atmósfera) refleja ó refracta las ondas de cielo hacia la tierra nuevamente. Por ello, a este tipo de propagación se le conoce también como propagación ionosférica, y se localiza de 50 a 400km arriba de la superficie terrestre.
- La ionosfera absorbe gran cantidad de radiación solar, lo que ioniza las moléculas de aire, creando electrones libres.
- La ionosfera tiene 3 capas D, E y F, que varían según su altura y la densidad de ionización, de menor a mayor, y con el horario del día. Cuando una onda RF pasa a través de la ionosfera, su campo E ejerce una fuerza sobre estos electrones libres haciéndolos vibrar. Esto produce una reducción en la corriente, que es equivalente a reducir la constante dieléctrica del aire, lo cual causa que la velocidad de propagación aumente, y cause la desviación de las ondas EM hacia las regiones de baja densidad electrónica



## Utilización, ventajas y desventajas de las ondas troposféricas:

- Las ondas troposféricas se irradian hacia el cielo, a medida que las ondas se apartan más de la tierra, la ionización aumenta, pero hay menos moléculas para ser ionizadas. A mayor densidad de iones, mayor refracción.

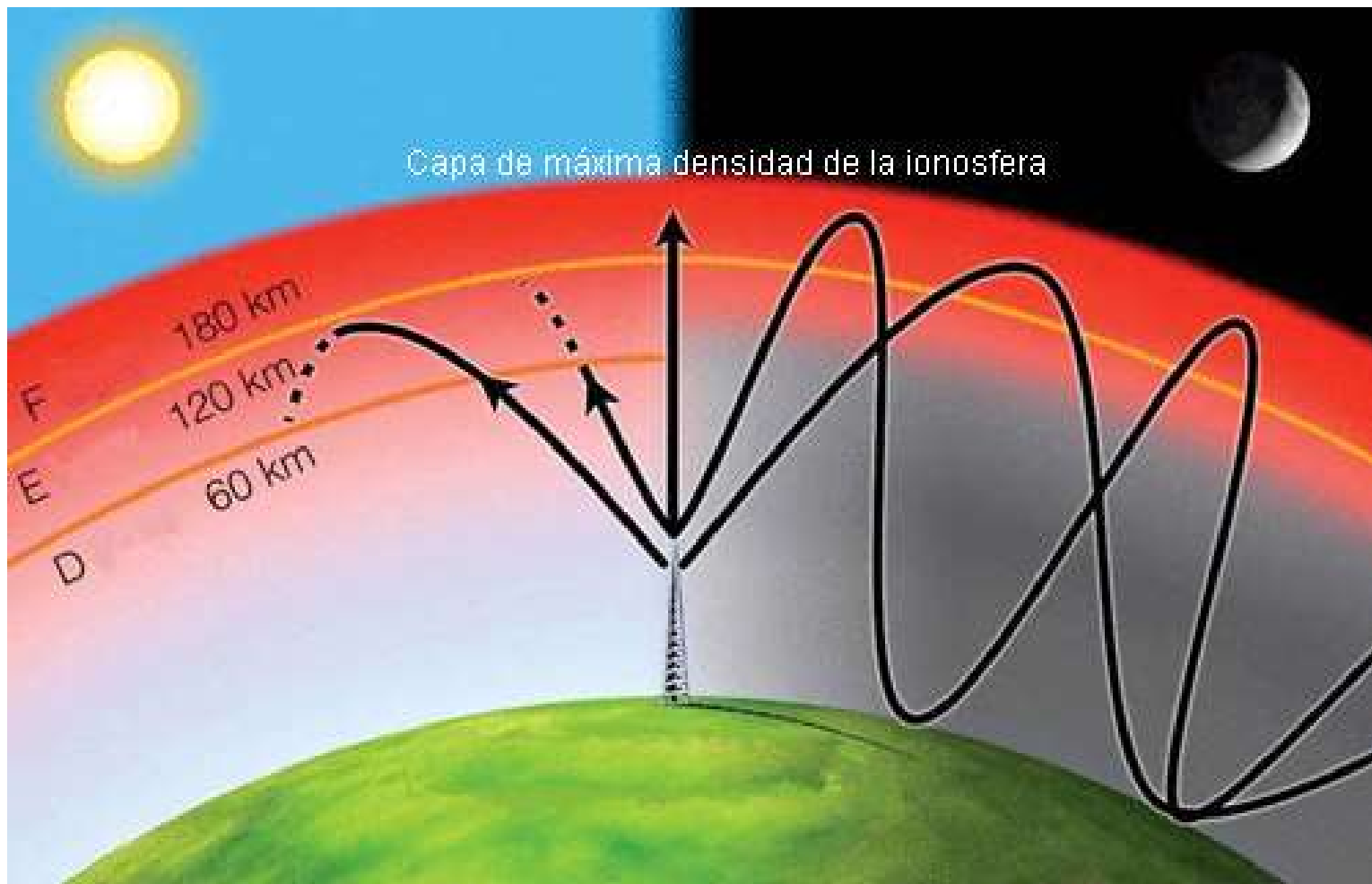
La capa D es la más cercana a la tierra y tiene poco efecto en la dirección de propagación de las ondas RF. La ionización de la capa D desaparece de noche. Esta capa refleja ondas VLF y LF y absorbe las ondas MF y HF. La capa E está entre 100 y 140 Km. arriba de la tierra y su punto de máxima densidad es alrededor del mediodía en 70km. Casi desaparece en la noche también, y refleja las ondas de HF durante el día. Arriba de UHF, las frecuencias no están afectadas por la ionosfera debido a su pequeña longitud de onda, por lo que debe haber una frecuencia máxima de transmisión de ondas de cielo que se puedan refractar de vuelta a la tierra sin perderse. A esta frecuencia se le llama *Frecuencia crítica*.

De forma similar, el máximo ángulo vertical de una onda tal que sea refractada de vuelta a la tierra es el Ángulo crítico





# Propagacion en la Ionósfera





# Radiaciones ionizantes y no ionizantes



- **Radiaciones ionizantes.**

Las radiaciones ionizantes son aquellas que al interactuar con la materia la ionizan, es decir, producen átomos y/o restos de moléculas con carga eléctrica (iones). Corresponden a las radiaciones de mayor energía (menor longitud de onda) dentro del espectro electromagnético. Tienen energía suficiente como para arrancar electrones de los átomos con los que interaccionan, es decir, para producir ionizaciones.

La radiación ionizante puede transferir su energía a las moléculas que constituyen el cuerpo humano, esto puede traducirse en un daño significativo si la interacción es con las moléculas de ADN. Los daños pueden ser agudos e inmediatos como quemaduras, hemorragias, diarreas, infecciones o hasta la muerte; también existen efectos tardíos como el cáncer o efectos hereditarios

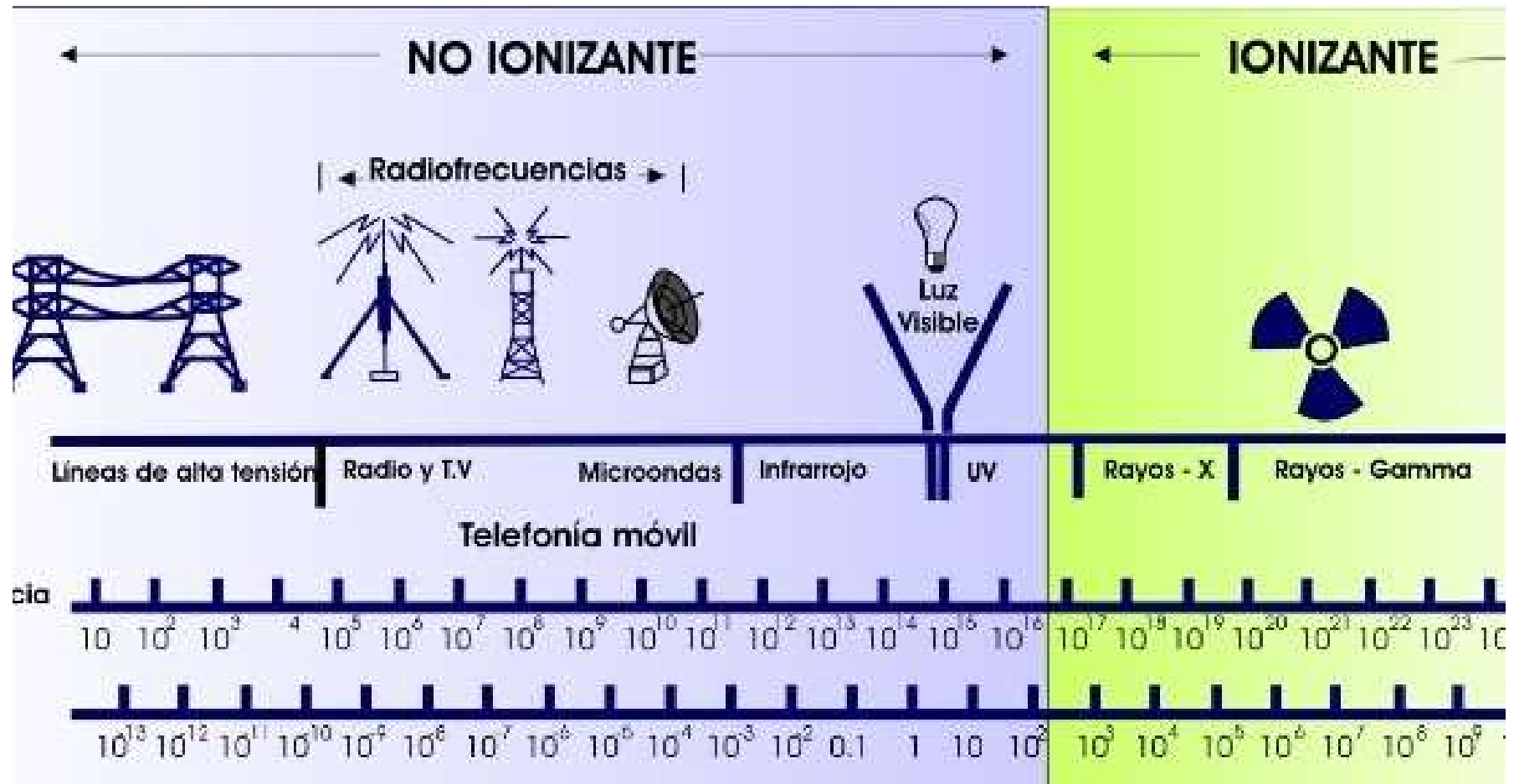
- **Radiaciones no ionizantes.**

Son aquellas que no poseen suficiente energía para arrancar un electrón del átomo, es decir, no son capaces de producir ionizaciones.



# Espectro Radioeléctrico

## Banda Ionizante y No Ionizantes





# FIN