



Redes Inalámbricas

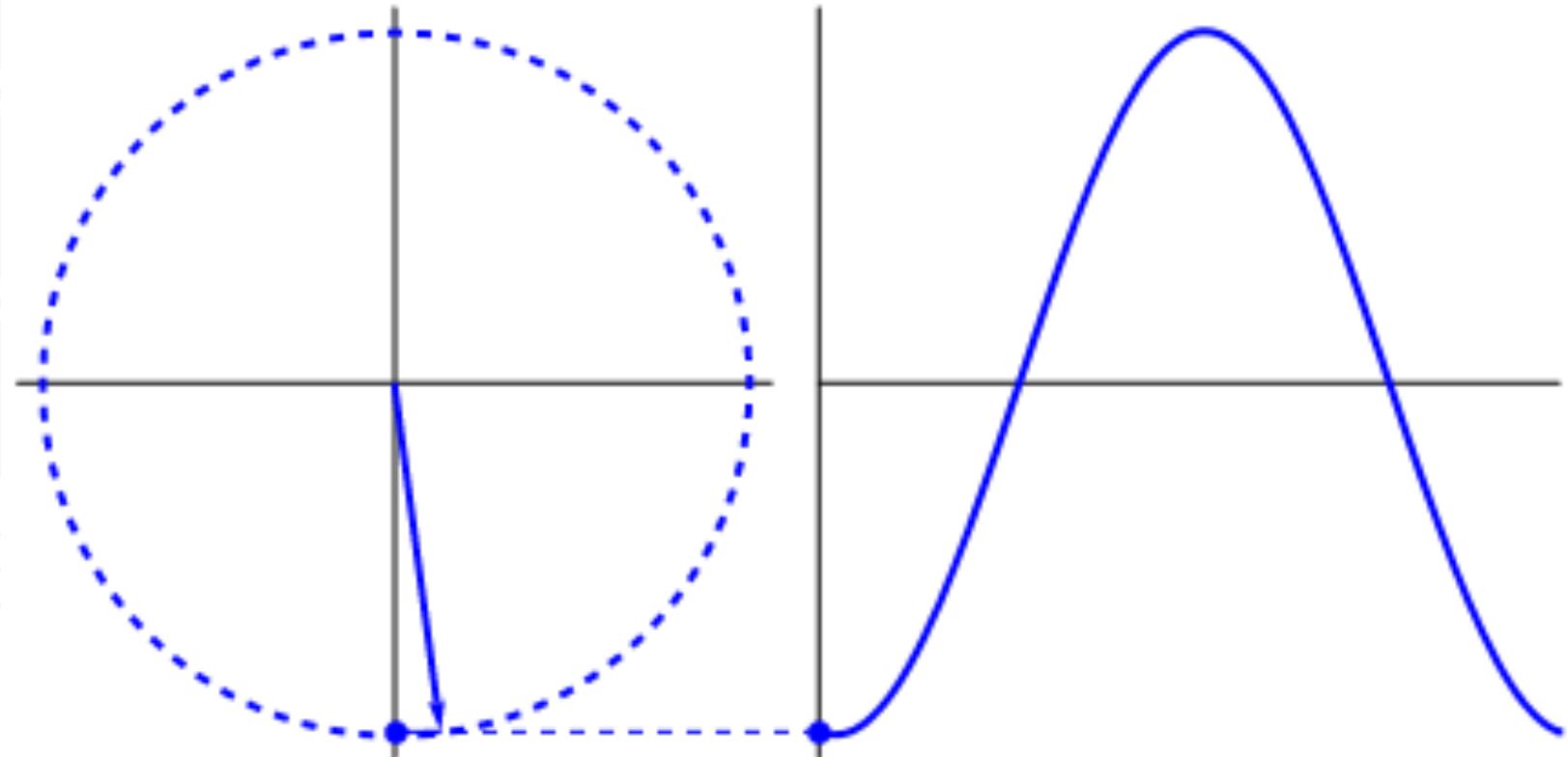
FUNDAMENTOS DE RF

ALEJANDRO CANAVESI

Ondas

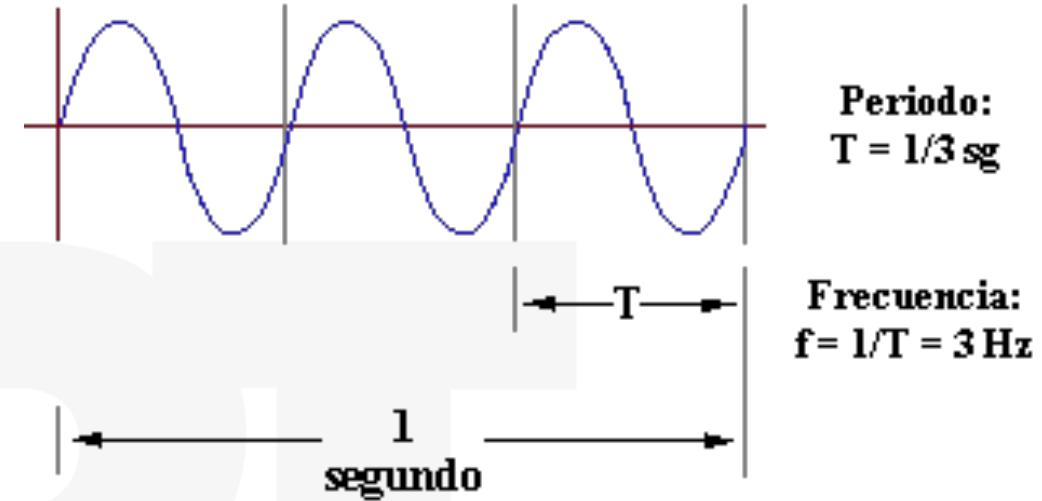
Fundamentos de Radio Frecuencia

Desde el punto de vista matemático es la representación gráfica de la función seno (o coseno).



Ondas

Frecuencia:



(Definicion generica) Número de veces que aparece, sucede o se realiza algo durante un período o un espacio determinados.

Representa el numero de repeticiones por unidad de tiempo (segundos).

$F=1/T$, siendo T el período de la señal, es decir el tiempo requerido para completar un ciclo completo.

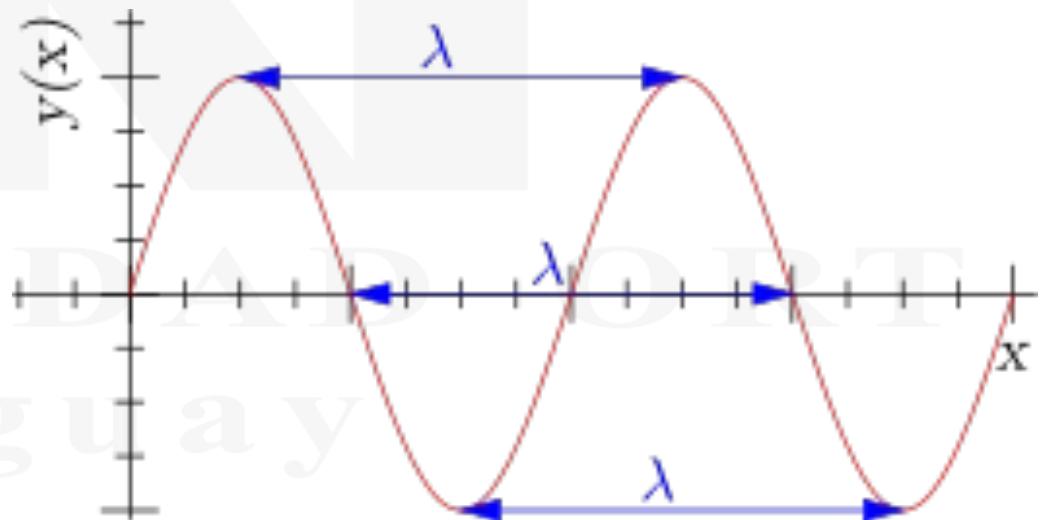
Universidad
Uruguay

Ondas

Longitud de onda:

Es la distancia, medida en metros, de un ciclo completo de la onda.

Se representa con la letra griega LAMBDA.



Ondas

Onda Sinusoidal

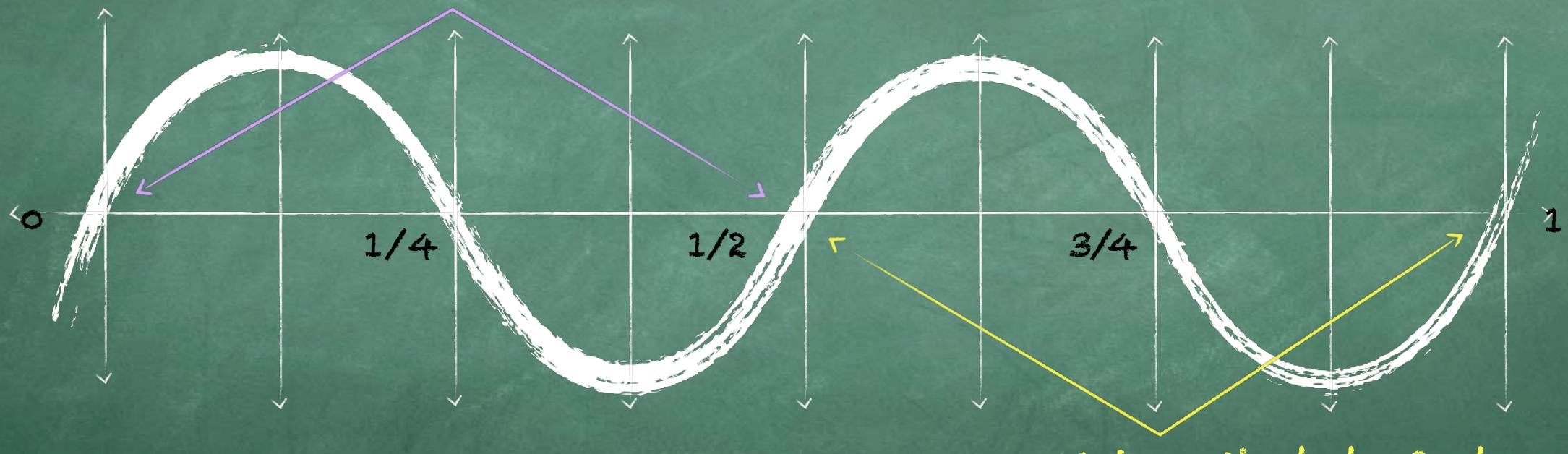
La longitud de onda y la frecuencia se relacionan entre sí :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

C representa la velocidad de la luz en el vacío, que es muy cercana a la velocidad en el aire, aproximadamente $300.000 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Forma de una onda de "2 Hertz"

01 Longitud de Onda



Dominio del tiempo
(segundos)

Tip

A mayor frecuencia, mayor es la información que se puede transportar o transmitir por unidad de tiempo



Espectro Radioelectrico

Fundamentos de Radio Frecuencia

Espectro electromagnético

Es el conjunto de todas las ondas electromagnéticas, caracterizadas por su frecuencia o longitud de onda para un medio constante.

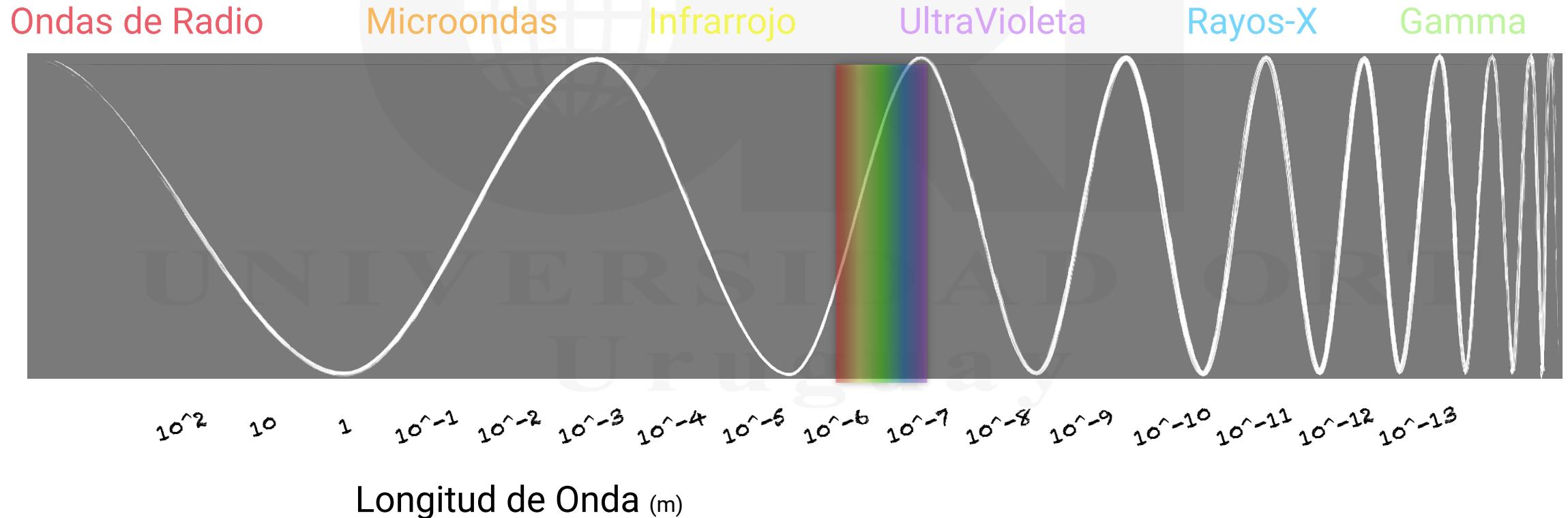
Radio Frecuencia (RF)

Refiere a una porción particular del espectro electromagnético.

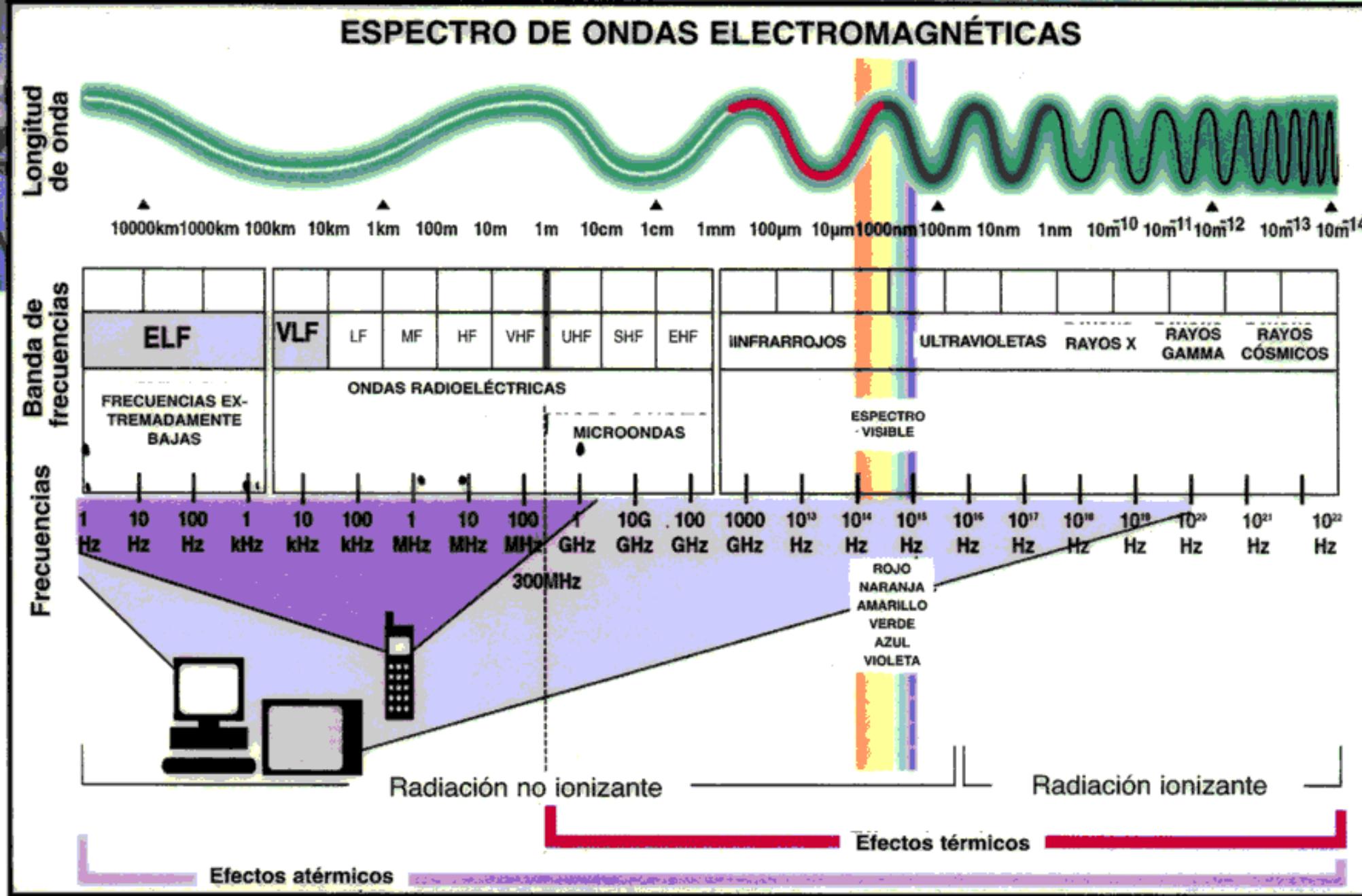
Las ondas con frecuencias de RF pueden ser generadas aplicando corriente alterna a una antena. Ocupa las frecuencias de 3 KHz a 300 GHz.

Espectro Electromagnético

“Gama de frecuencias según longitud de onda, de larga a corta”



ESPECTRO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS





Nosotros en el curso vamos a trabajar
en el espectro de 2.4 Ghz y 5 Ghz

UNIVERSIDAD ORT
Uruguay

Bandas

Fundamentos de Radio Frecuencia

Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones.

Su uso está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU en inglés), aunque puede variar con otras entidades como por ejemplo la IEEE.

Está dividido en sectores.

Banda	Abreviatura	ITU	Frecuencia y longitud de onda (aire)	Ejemplos de uso
Frecuencia tremadamente baja	TLF		< 3 Hz > 100,000 km	Frecuencia en la que trabaja la actividad neuronal
Frecuencia extremadamente baja	ELF	1	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km	Actividad neuronal, Comunicación con submarinos
Super baja frecuencia	SLF	2	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km	Comunicación con submarinos
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz 1000 km – 100 km	Comunicación con submarinos , Comunicaciones en minas a través de la tierra
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km	Radioayuda , señales de tiempo , comunicación submarina, pulsómetros inalámbricos, Geofísica
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km	Radioayuda , señales de tiempo , radiodifusión en AM (onda larga) (Europa y partes de Asia), RFID , Radioafición
Frecuencia media	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m	Radiodifusión en AM (onda media) , Radioafición , Balizamiento de Aludes
Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m	Radiodifusión en Onda corta , Banda ciudadana y radioafición , Comunicaciones de aviación sobre el horizonte, RFID , Radar , Comunicaciones ALE , Comunicación quasi-vertical (NVIS) , Telefonía móvil y marina
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m	FM , Televisión , Comunicaciones con aviones a la vista entre tierra-avión y avión-avión, Telefonía móvil marítima y terrestre, Radioaficionados , Radio meteorológica
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	Televisión , Hornos microondas , Comunicaciones por microondas, Radioastronomía , Telefonía móvil , Redes inalámbricas , Bluetooth , ZigBee , GPS , Comunicaciones uno a uno como FRS y GMRS , Radioafición
Super alta frecuencia	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	Radioastronomía , Comunicaciones por microondas, Redes inalámbricas , radares modernos, Comunicaciones por satélite , Televisión por satélite , DBS , Radioafición
Frecuencia extremadamente alta	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	Radioastronomía , Transmisión por microondas de alta frecuencia, Teledetección , Radioafición , armas de microondas , Escaner de ondas milimétricas

Lista de Bandas de Radio UIT

Número de banda	Símbolo	Rango de frecuencias	Rango de longitud de onda [†]
4	VLF	3 a 30 kHz	10 a 100 km
5	LF	30 a 300 kHz	1 a 10 km
6	MF	300 a 3000 kHz	100 a 1000 m
7	HF	3 a 30 MHz	10 a 100 m
8	VHF	30 a 300 MHz	1 a 10 m
9	UHF	300 a 3000 MHz	10 a 100 cm
10	SHF	3 a 30 GHz	1 a 10 cm
11	EHF	30 a 300 GHz	1 a 10 mm
12	THF	300 a 3000 GHz	0.1 a 1 mm

Tabla de bandas IEEE⁶

Banda	Rango de frecuencias	Origen del nombre
Banda HF	3 to 30 MHz	High (alta) Frecuencia
Banda VHF	30 to 300 MHz	Very (Muy) High (alta) Frecuencia
Banda UHF	300 to 1000 MHz	Ultra High (alta) Frecuencia
Banda L	1 to 2 GHz	Onda Larga
Banda S	2 to 4 GHz	Onda corta (Short en inglés)
Banda C	4 to 8 GHz	C compromiso entre S y X
Banda X	8 to 12 GHz	Utilizada en la segunda guerra mundial para sistemas de apuntamiento militar, la X provendría de la reticula utilizada para apuntar ⁷
K _u band	12 to 18 GHz	Kurz-under (bajo)
Banda K	18 a 27 GHz	Del alemán Kurz (corto)
Banda Ka	27 to 40 GHz	Kurz-above (sobre)
Banda V	40 a 75 GHz	
Banda W	75 a 110 GHz	W sigue a V en el alfabeto

Canales

Fundamentos de Radio Frecuencia

Un canal es el medio de transmisión por el que viajan las señales portadoras de información entre emisor y receptor.

Pero para el caso nuestro podemos hablar de canal a una porción de frecuencias dentro de la banda.

Por ejemplo, el canal 1 en WiFi es la frecuencia 2412 MHz. Esto facilita mucho a la hora de hablar, ya que es mas facil acordarse del “canal” que de la frecuencia.

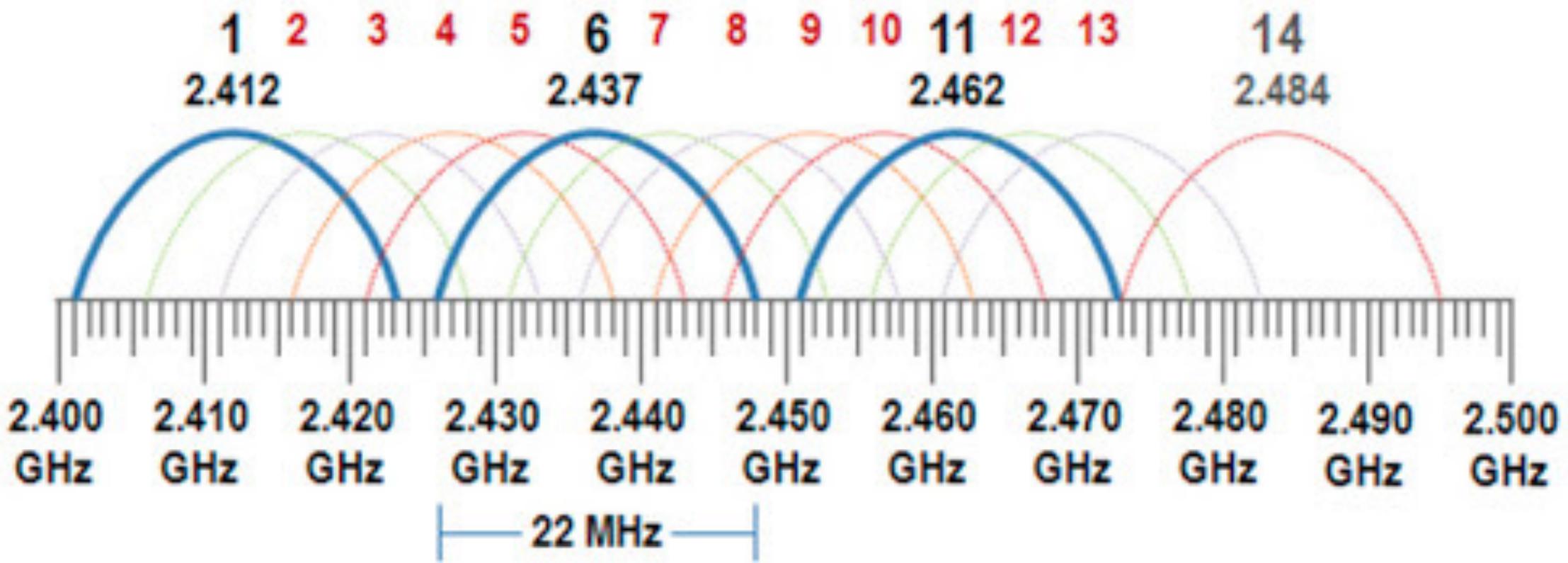
Otro ejemplo es la television .. Nostros sintonizamos el canal 4,5,10 o 12 en Uruguay para ver TV.

Ejemplo de Canales de TV

UNIVERSIDAD
Uruguay

Canal	Video (MHz)	Audio (MHz)
2	55.25	59.75
3	61.25	65.75
4	67.25	71.75
5	77.25	81.75
6	83.25	87.75
7	175.25	179.75
8	181.25	185.75
9	187.25	191.75
10	193.25	197.75
11	199.25	203.75
12	205.25	209.75
13	211.25	215.75

Ejemplo de Canales de WiFi 2.4 Ghz



Carries de una carretera (canales)



ORT

Ancho de Banda

O

Ancho de Canal

Fundamentos de Radio Frecuencia

El ancho de banda de señal es medido en Hertz y se representa en el dominio frecuencial en el intervalo donde una señal tiene su mayor potencia (el eje vertical).

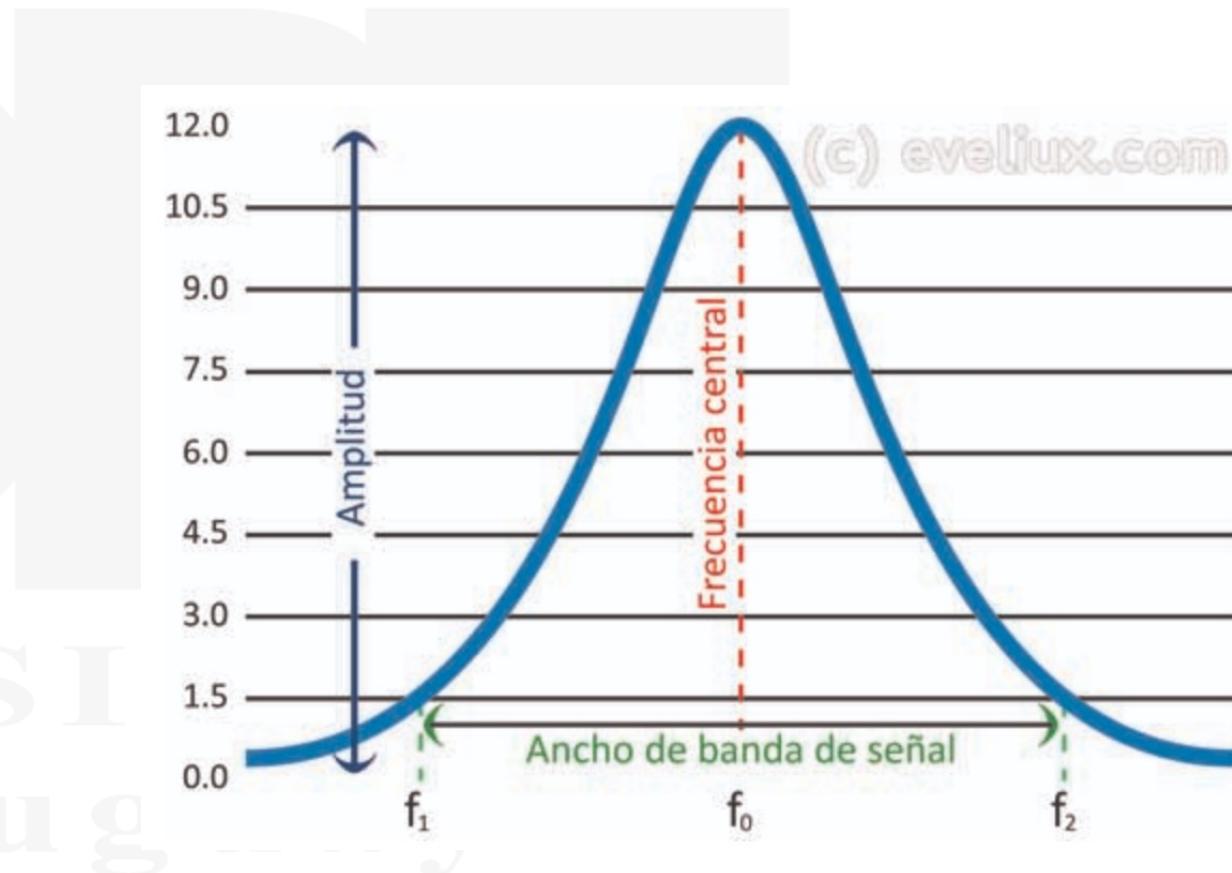
Por ejemplo, el ancho de banda de una señal de FM (Frecuencia Modulada) es de 200 KHz.

Si tomamos por ejemplo una frecuencia portadora de 101.5 MHz (frecuencia media), la frecuencia más alta estará en $f_2=101.6$ MHz y la más baja en $f_1=101.4$ MHz.

La resta de $f_2 - f_1$ nos da precisamente el ancho de banda de señal esperado de 200 KHz.

Ancho de Banda

Tomando como el centro la frecuencia central o portadora, el ancho de banda es el “ancho” que abarca hacia la dercha y hacia la izquierda



Fundamentos de RF – Ancho de Banda

Ancho de banda de canal

Por lo tanto, cuando hablamos de ancho de banda de canal, nos referimos al intervalo de frecuencias que un canal puede soportar o procesar.

Se toma en cuenta la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima.

Por ejemplo el ancho de banda de un canal telefónico es 4 KHz y el de un canal de TV es de 6 MHz.



A mayor ancho de banda, mayor es la cantidad de información que se puede transmitir por unidad de tiempo, pero ocupamos mas “espacio” para usar en otras comunicaciones

Modulación

Fundamentos de Radio Frecuencia

Engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal.

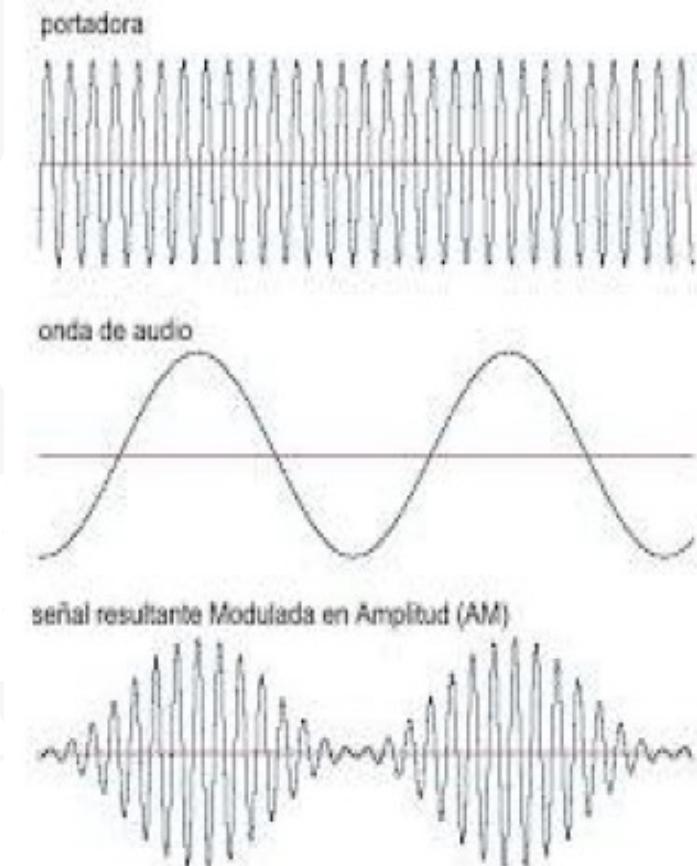
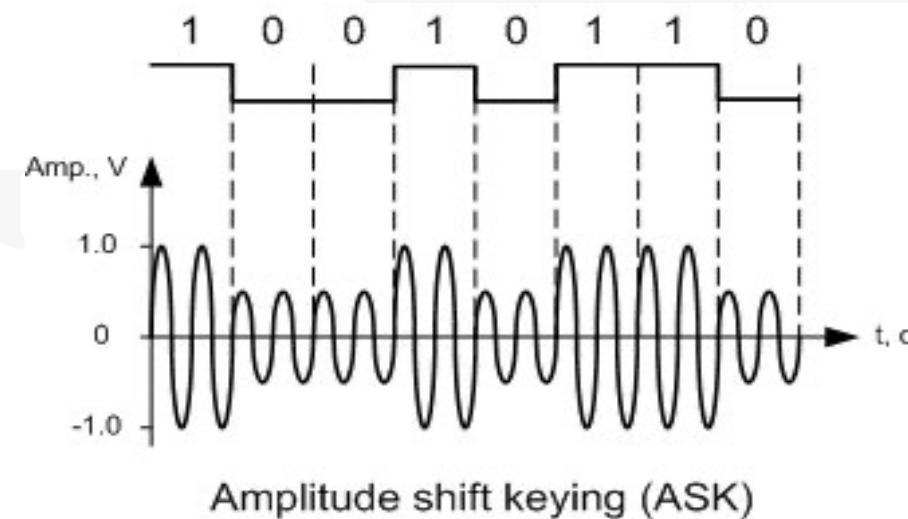
Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir mas información en forma simultanea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

Modulación

Modulación

Portadora + señal = señal modulada

Ej: AM – *Amplitude Modulation* – Amplitud Modulada

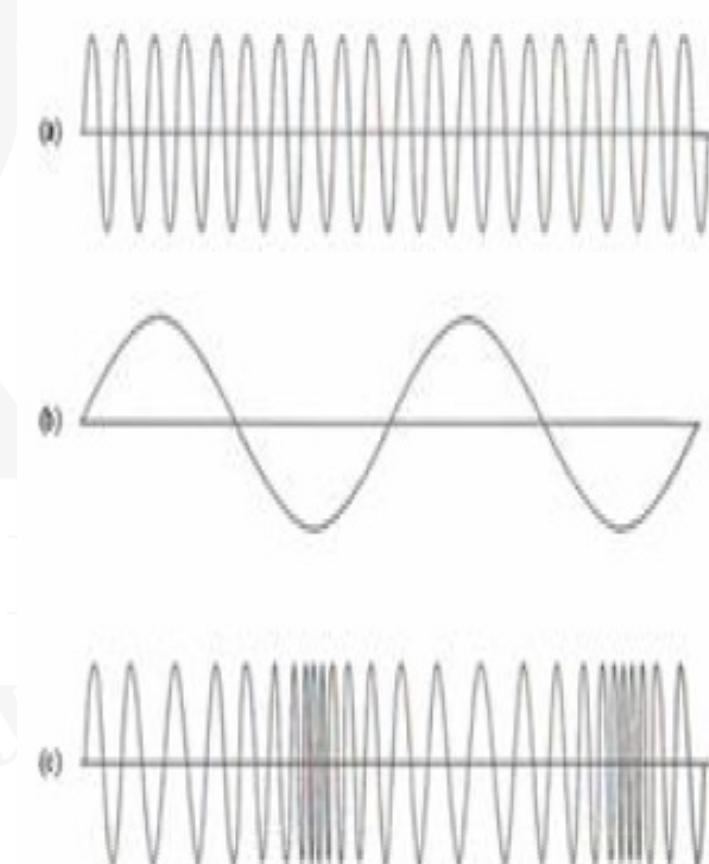
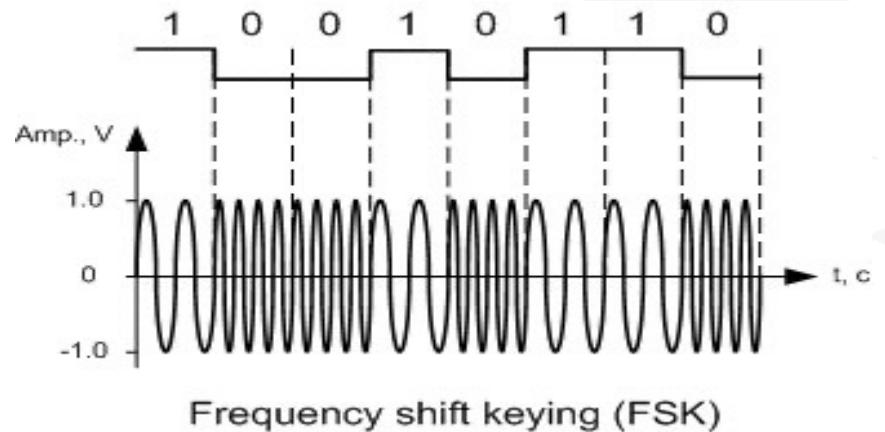


Modulación

Modulación

Portadora + señal = señal modulada

Ej: FM – *Frecuency Modulation* – Frecuencia Modulada

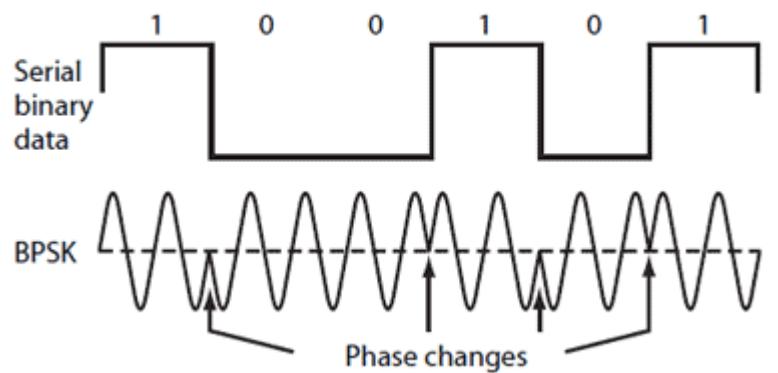


Modulación

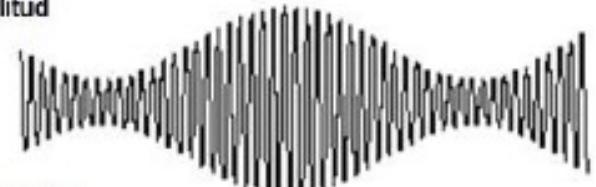
Modulación

Portadora + señal = señal modulada

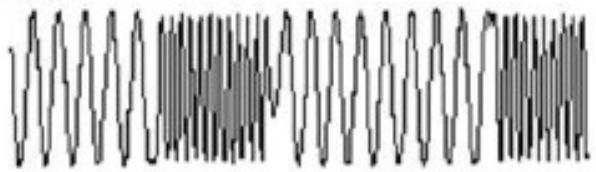
Ej: PM – *Phase Modulation* – Modulación de fase



Modulación por Amplitud



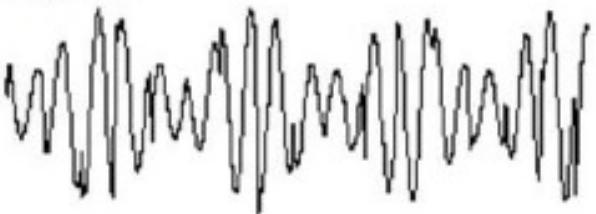
Modulación por Frecuencia



Modulación por Fase



Modulación por Amplitud y Fase



Ganancia

Fundamentos de Radio Frecuencia

Es un término utilizado para describir el incremento de la **amplitud** de una señal en RF.

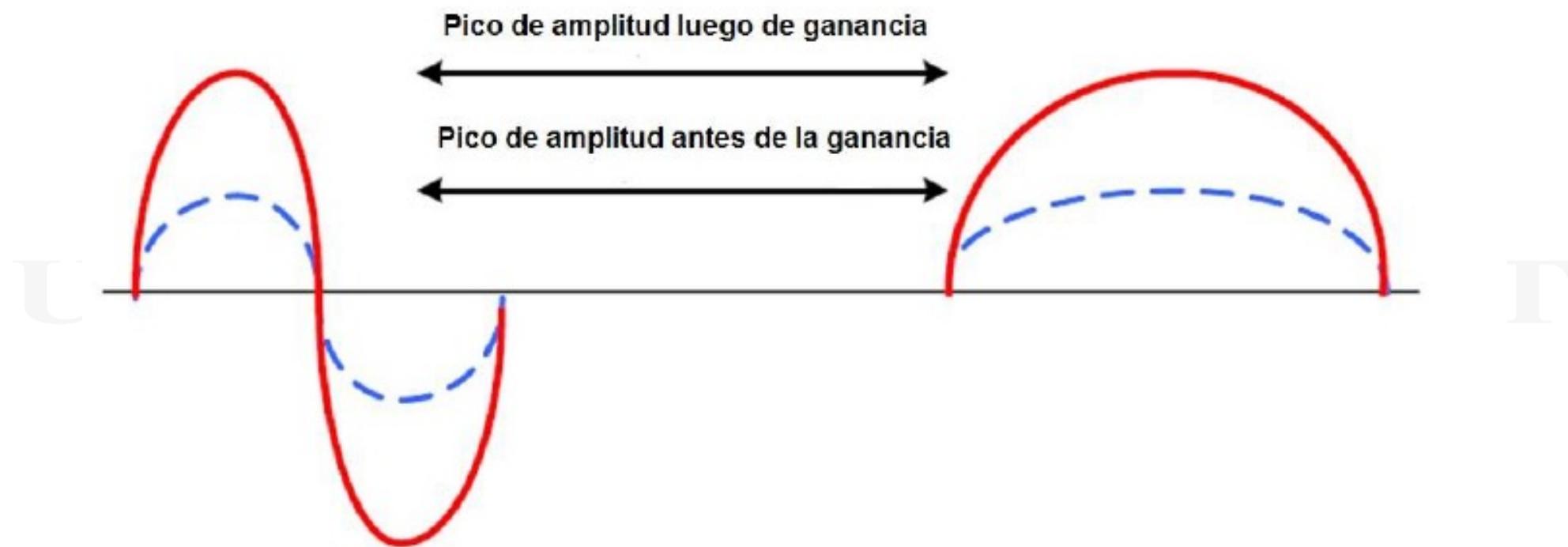
Usualmente la ganancia es parte de un proceso activo producido por una fuente de poder externa utilizada para amplificar la señal, o bien por una antena, aunque procesos pasivos también pueden generar ganancia.

Por ejemplo, una señal reflejada por un objeto, combinada con la señal principal puede incrementar el nivel de señal recibido por el receptor.

Incrementar el nivel de señal puede tener efecto positivo o negativo.

Ganancia

Ganancia



Ganancia



En las radiofrecuencia, la ganancia la obtenemos colocando una Antena

A nivel humano, si hacemos un cono con un papel y hablamos por ahí, notaremos que nuestra voz tiene una “ganancia”

UNIVERSIDAD ORT
Uruguay

Perdida o Atenuación

Fundamentos de Radio Frecuencia

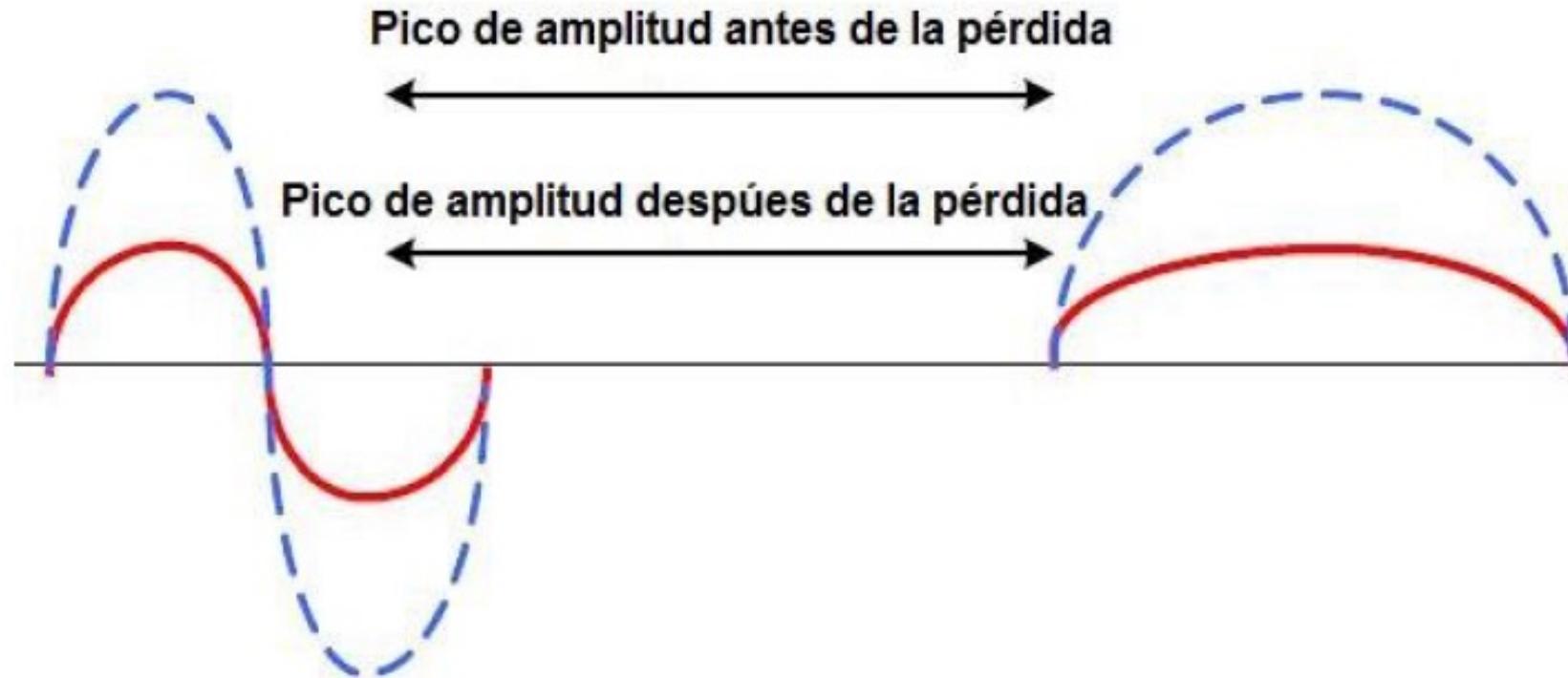
Se define como la caída del nivel de señal.

Pueden ser muchos los factores que causen atenuación en RF, como por ejemplo:

- Pérdida de la señal en el cable, especialmente en altas frecuencias.
- Propagación de la señal en el aire y a través de obstáculos.
- Diferencia de impedancia entre cable y conectores.
- Presencia de atenuadores.

Fundamentos de RF

Pérdida o atenuación

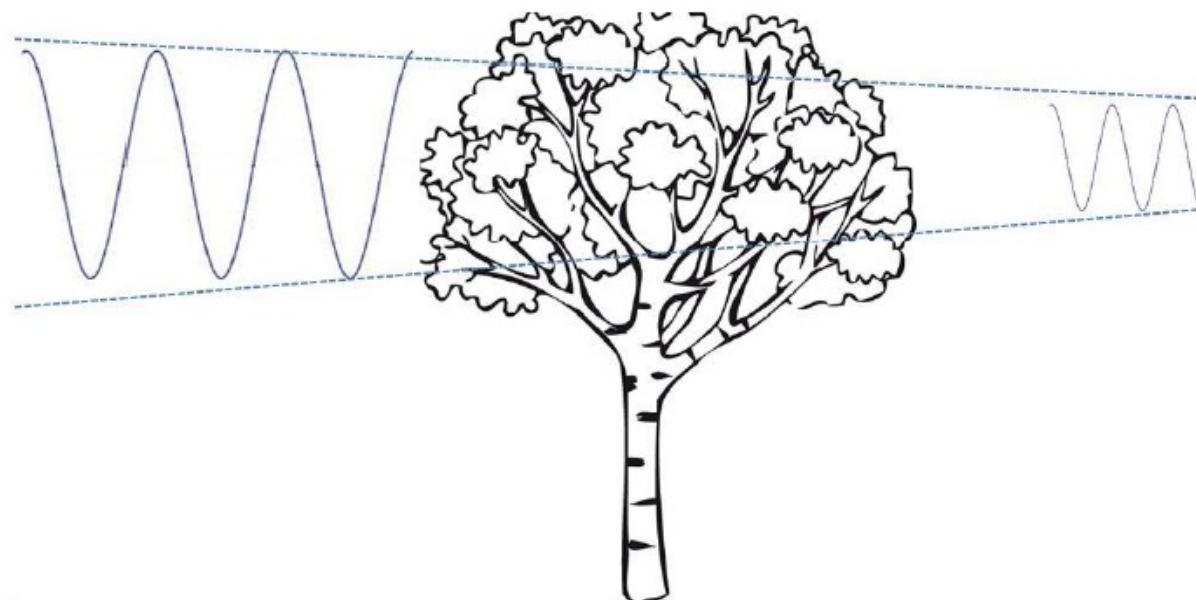


Fundamentos de RF

Pérdida o atenuación

Ejemplo de señal atenuada al atravesar un objeto.

La representación de la señal esta dada en función del tiempo, no como se propaga físicamente.



Propiedades de ondas

Fundamentos de Radio Frecuencia

Reflexión

Refracción

Difracción

Dispersión

UNIVERSIDAD ORT
Uruguay

Propiedades de Ondas

Las transmisiones de RF pueden compararse con la transmisión de un haz de luz a través de humo, vidrio o un espejo, ya que tiene un comportamiento inconsistente y errático bajo ciertas circunstancias.

Cosas simples como un conector mal terminado o una diferencia de impedancia, pueden causar un comportamiento errático resultados no deseados.

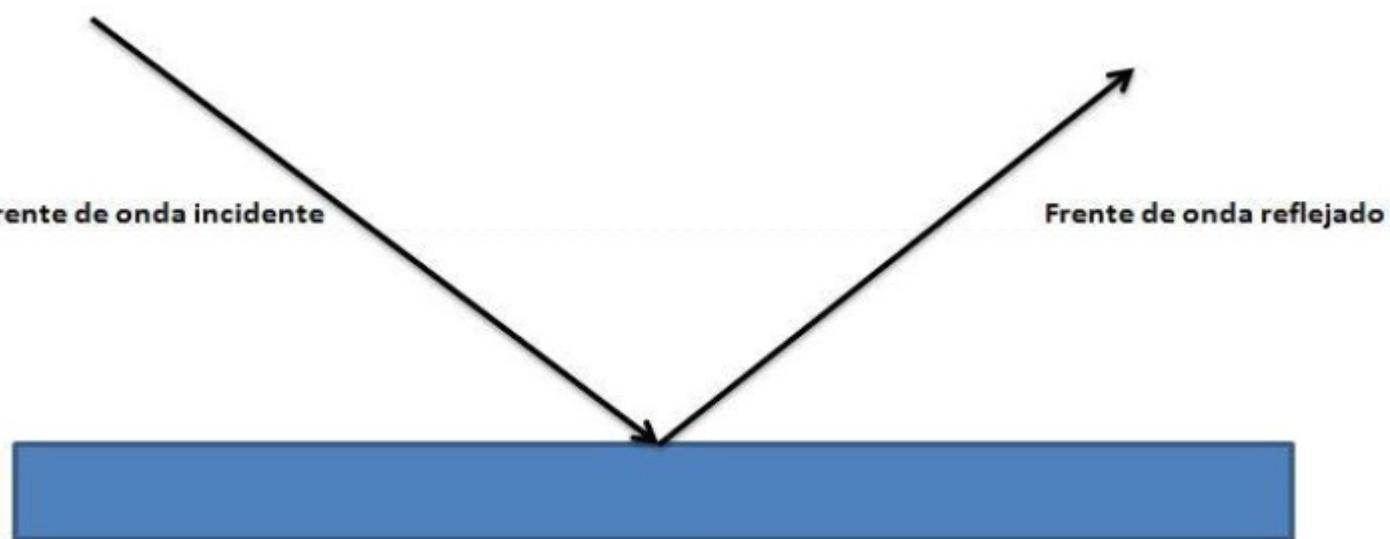
Es importante comprender el comportamiento de las señales y los elementos que componen a un sistema a efectos de poder analizar y resolver posibles anomalías.

UNIVERSIDAD ORT
Uruguay

Propiedades de Ondas

Reflexión

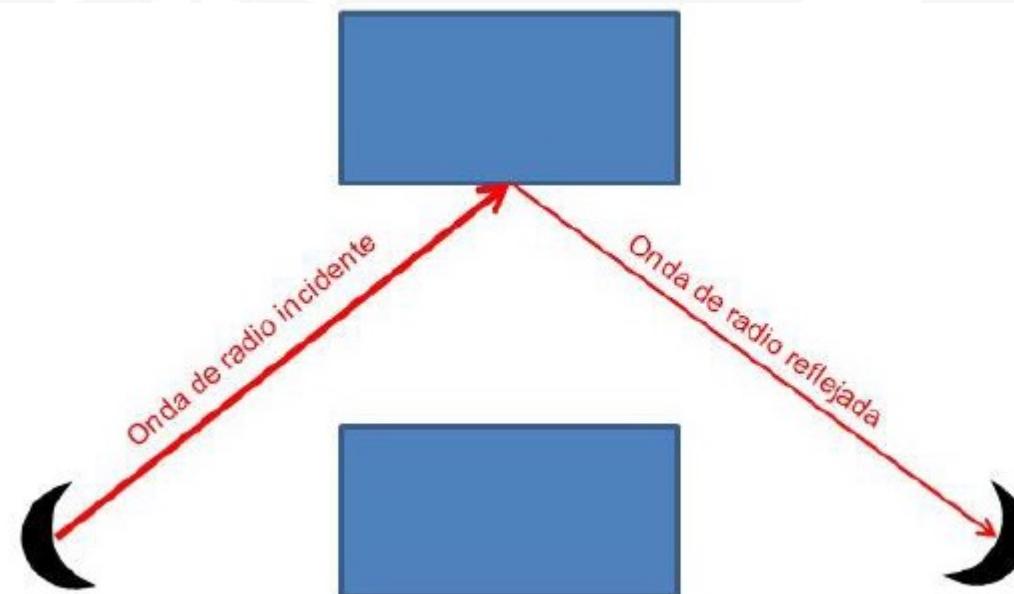
Es un fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética impacta contra un objeto demasiado grande en relación a su longitud de onda y se refleja con el mismo ángulo de incidencia (ley de reflexión). Ejemplo: agua, hormigón, metal.



Propiedades de Ondas

Reflexión

Ejemplo de como se puede utilizar como beneficio la propiedad de reflexión.

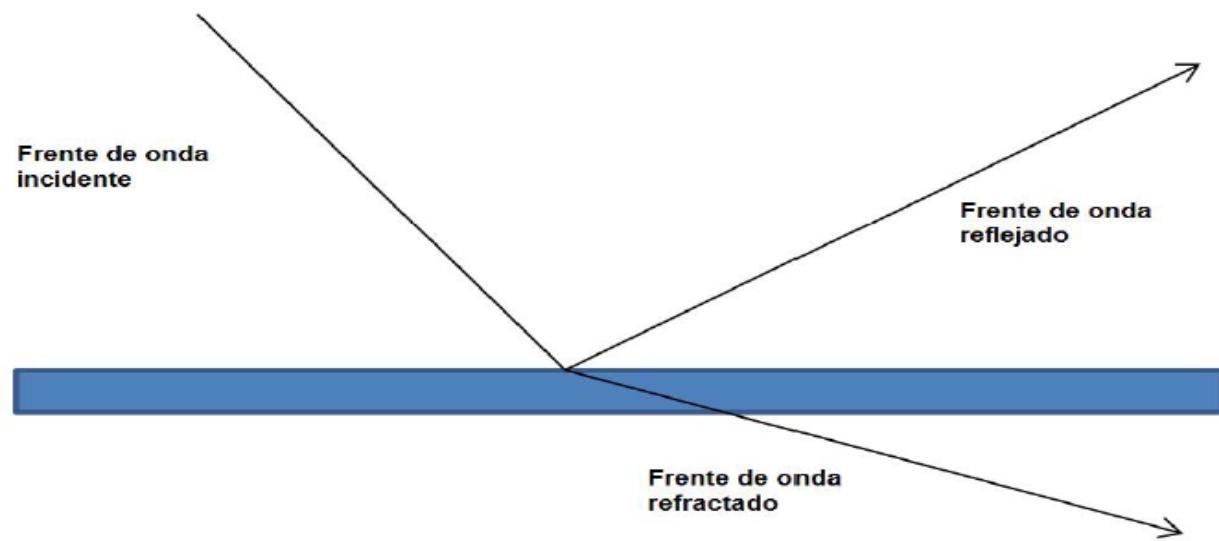


Propiedades de Ondas

Refracción

Describe la desviación de una onda de radio al atravesar un medio de diferente densidad.

Puede causar problemas, sobre todo en enlaces de larga distancia debido a las condiciones atmosféricas cambiantes que producen las desviaciones mencionadas.



Propiedades de Ondas

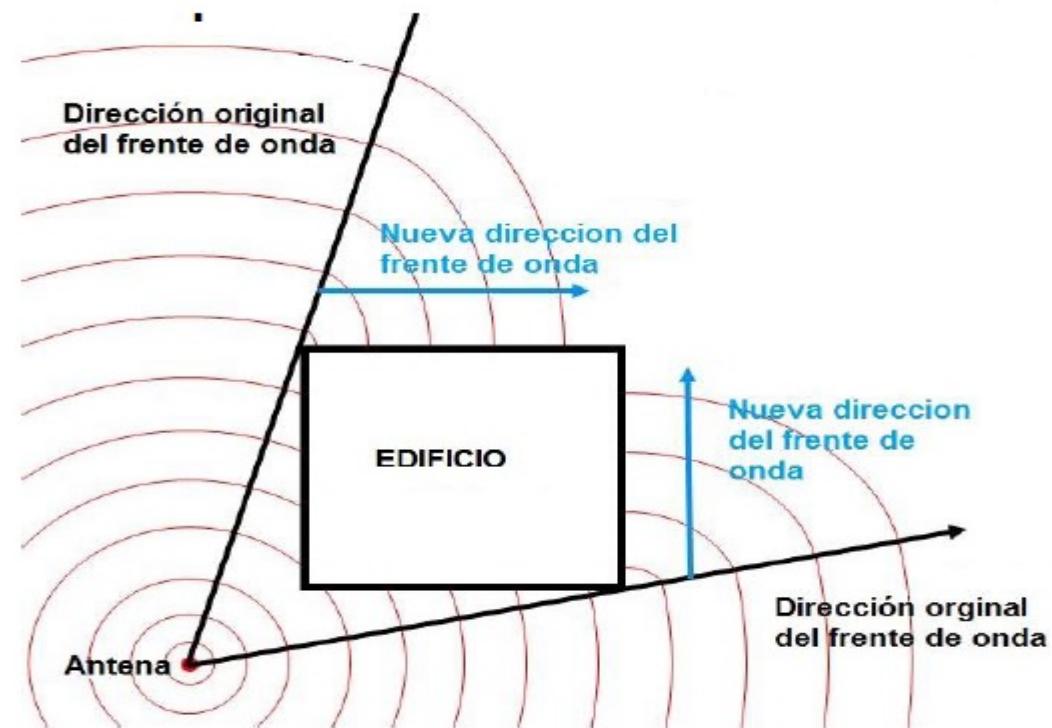
Refracción



Propiedades de Ondas

Difracción

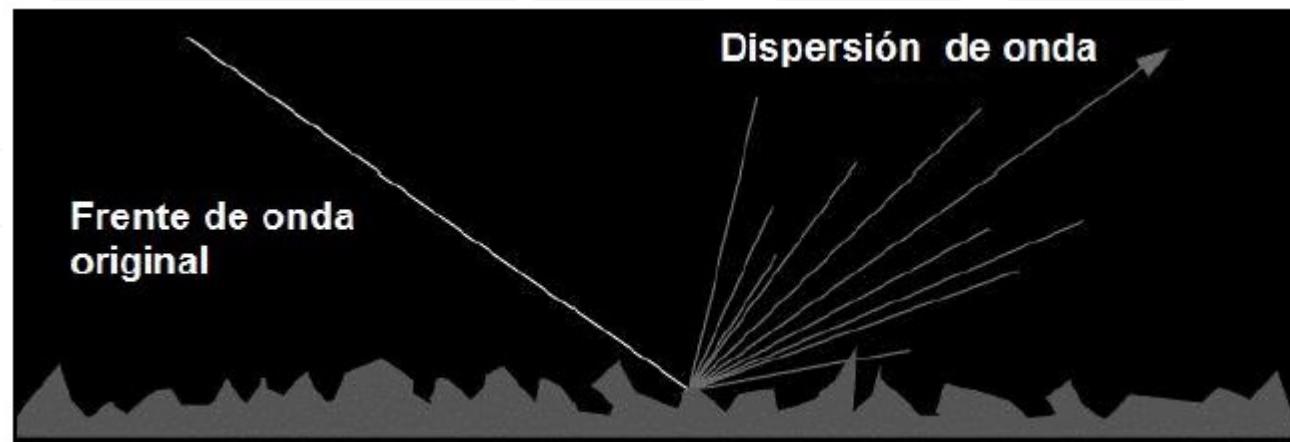
Se produce cuando la trayectoria de radio entre transmisor y receptor es obstruida por un objeto que tiene irregularidades filosas o cuando pasa a través de una rendija.



Propiedades de Ondas

Dispersión

Ocurre cuando una señal se encuentra en su camino con objetos demasiado pequeños en comparación con su longitud de onda, y el número de obstáculos por unidad de volumen es grande. La señal impactará y será dispersada en múltiples caminos.



Frecuencia y propagación

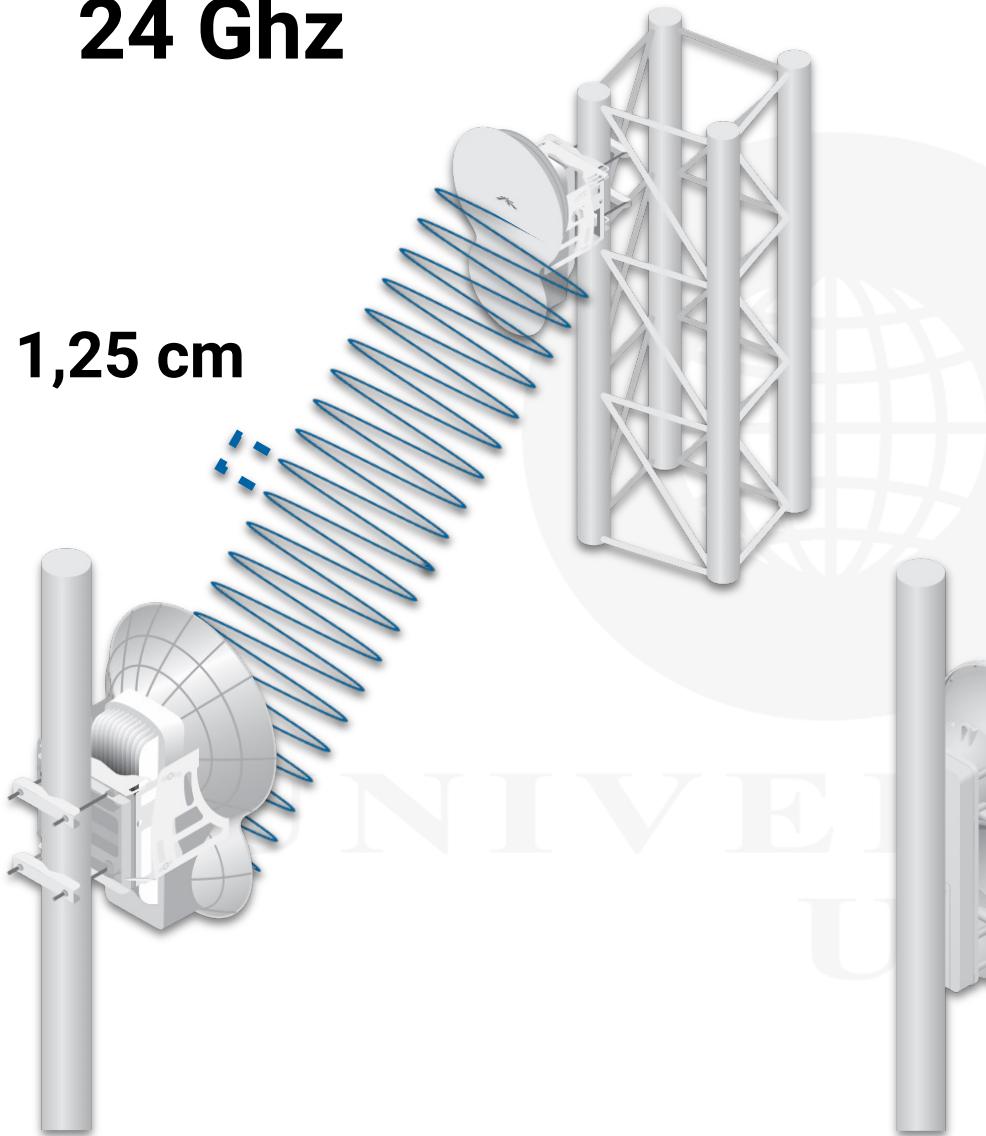
Fundamentos de Radio Frecuencia

Inversamente relacionados

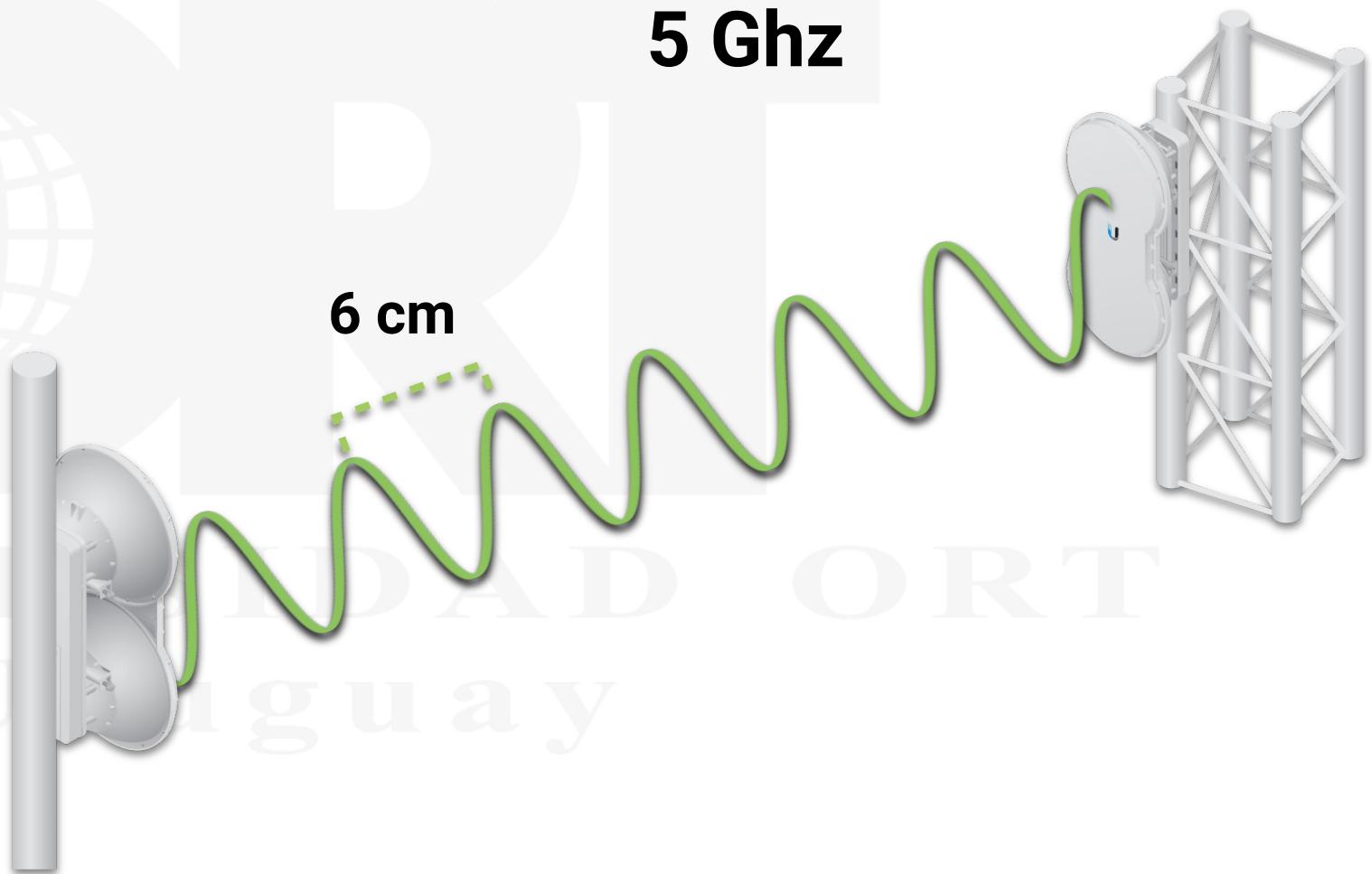
Debido a **mayores longitudes de onda, las señales de las frecuencias más bajas, se propagan mejor en largas distancias**, en comparación con las señales de frecuencia más altas.

Suponiendo que todas las demás variables se mantienen constantes(ejm. ganancia, potencia TX), una señal de 2.4 GHz se propagará más lejos que una señal de 5.8 GHz

24 Ghz



5 Ghz



Cuanto mas larga la longitud de onda, mas lejos llegará la señal.

Suponiendo iguales niveles de potencia, las ondas con longitud de onda mas larga tienden a viajar mas lejos de las que tienen longitudes de onda mas pequeñas.



Cuanto mas larga la longitud de onda, mejor viaja a través y alrededor de los obstáculos.

La distancia que una onda puede viajar depende de la relación.

Cuanto mas corta la longitud de onda, puede transportar mas datos.

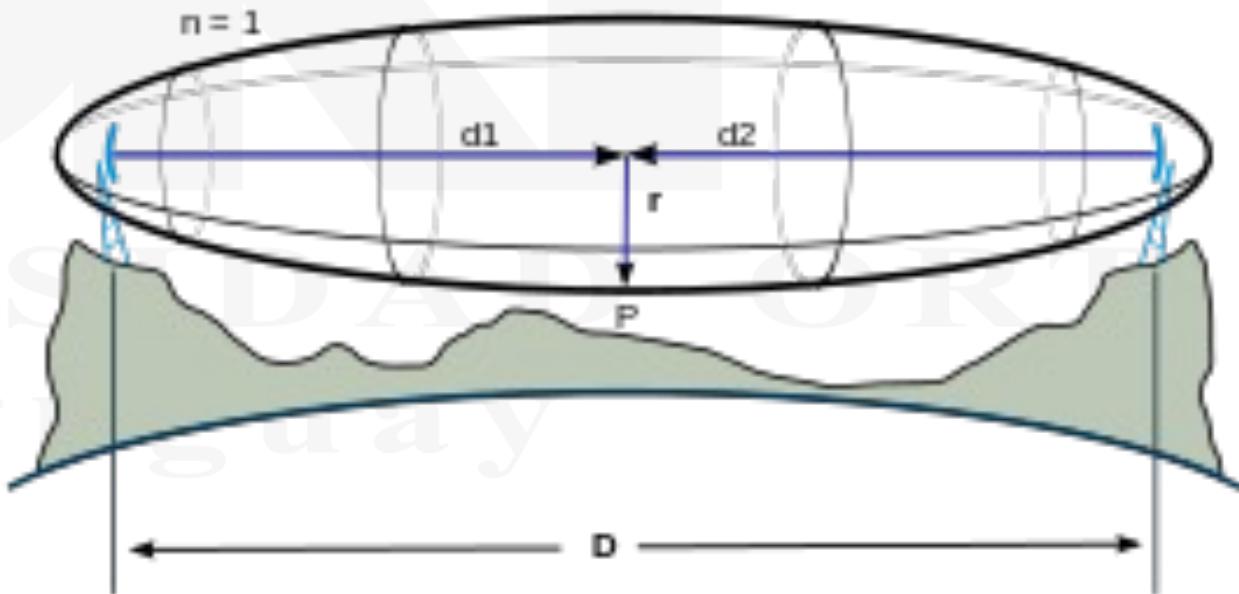
Cuanto mas rápida sea la oscilación o ciclo de la onda, mayor es la información que se podrá transportar.

Zona de Fresnel

Fundamentos de Radio Frecuencia

Se denomina Zona de Fresnel (por el físico francés Augustin-Jean Fresnel) al volumen de energía finito entre un emisor y un receptor.

Las zonas de Fresnel se encuentran sobre la superficie de un elipsoide en dónde sus focos son el transmisor y el receptor



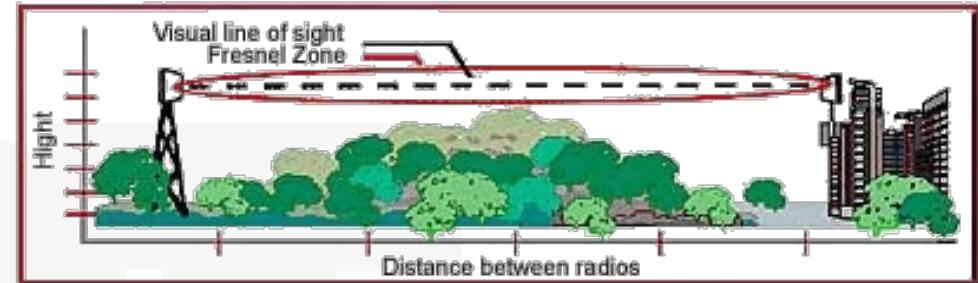
Fresnel

Línea de vista – *Line of Sight LoS*

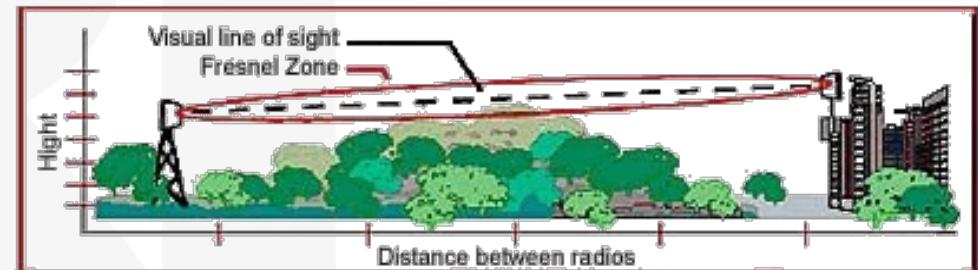
Se define como la línea recta aparente entre el transmisor y receptor.

Zona de Fresnel

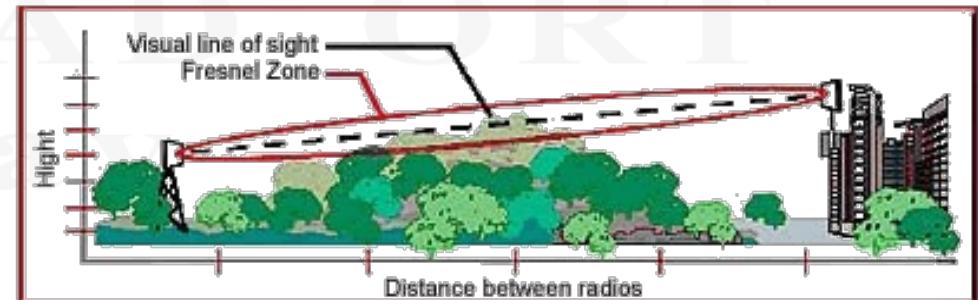
Es sumamente importante al momento de planificar un enlace de RF porque la presencia de obstáculos dentro las áreas alrededor de la línea de vista puede causar interferencias destructivas.



Line Of Sight (LoS)



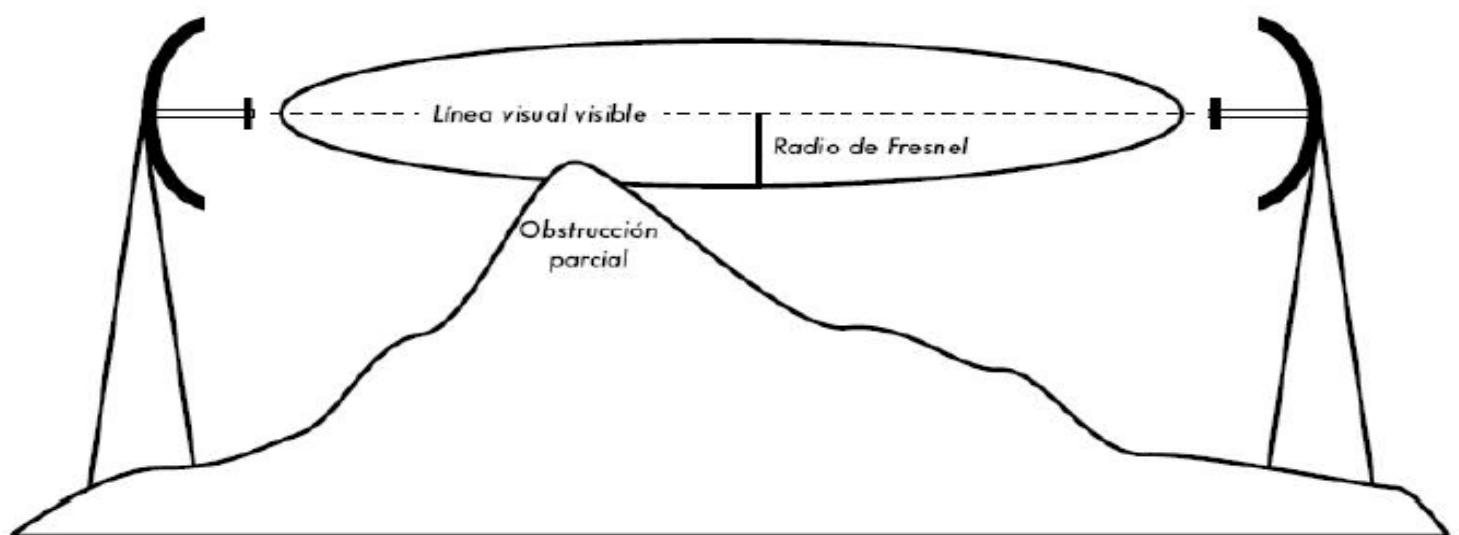
Near Line Of Sight (nLoS)



Non Line Of Sight (NLoS)

Fresnel

Objetos como árboles, edificios, etcétera, pueden generar difracción o reflexión a la señal principal emitida, desviándola, de la línea de vista hacia el receptor. Estos objetos también pueden absorber o generar dispersión en la señal principal, causando degradación o la pérdida completa de la misma.



Fresnel

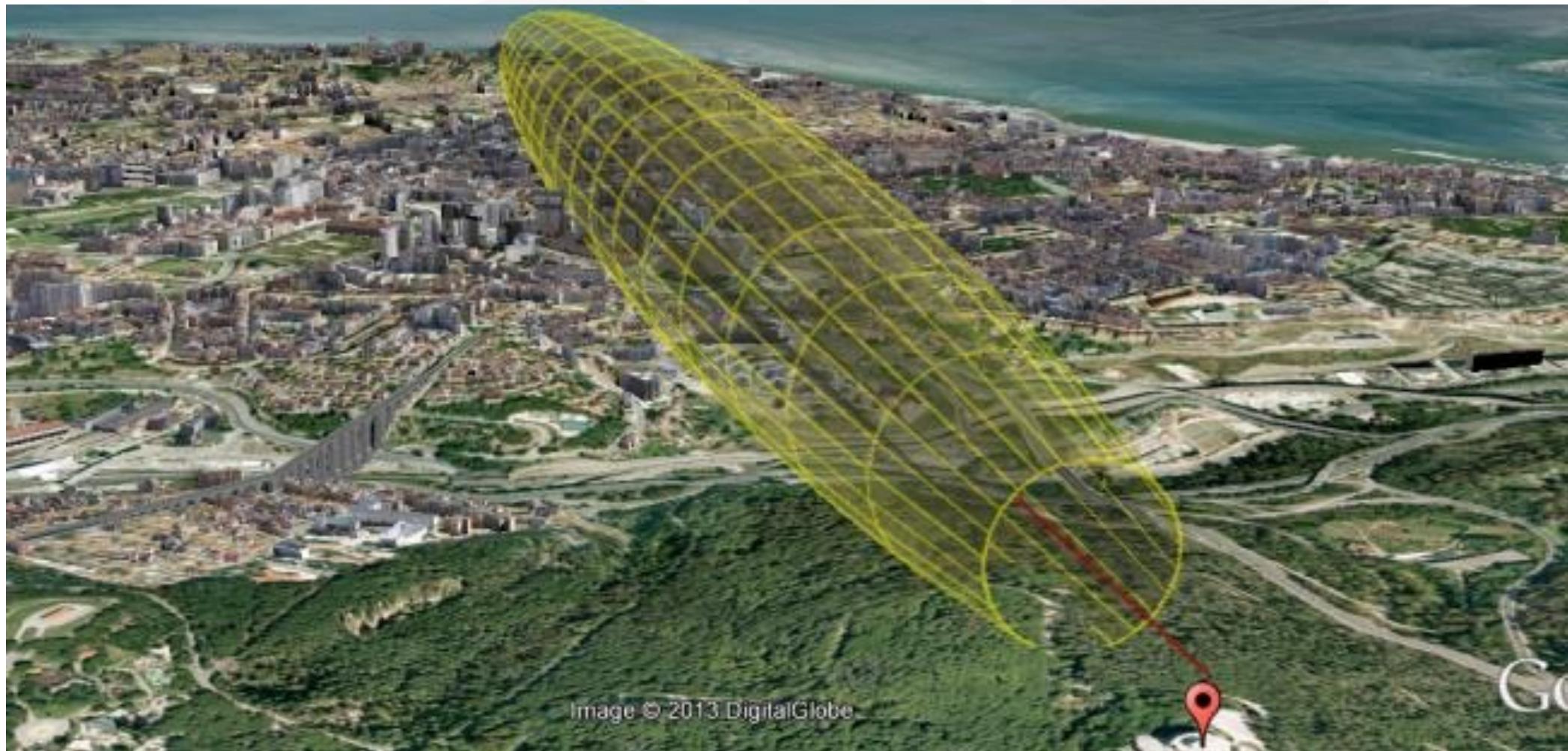


Image © 2013 DigitalGlobe.

Fresnel

Es muy importante preservar libre de obstáculos la **primer** zona de Fresnel para evitar inconvenientes de transmisión o recepción.

Se recomienda no tener mas de un 20% de obstrucciones dentro de la primer zona de Fresnel. Entre un 20% y un 40% de bloqueo se presenta poca interferencia en el enlace.

A nivel de diseño – se busca mantener el 100% de la primer zona de Fresnel despejada.

Fresnel

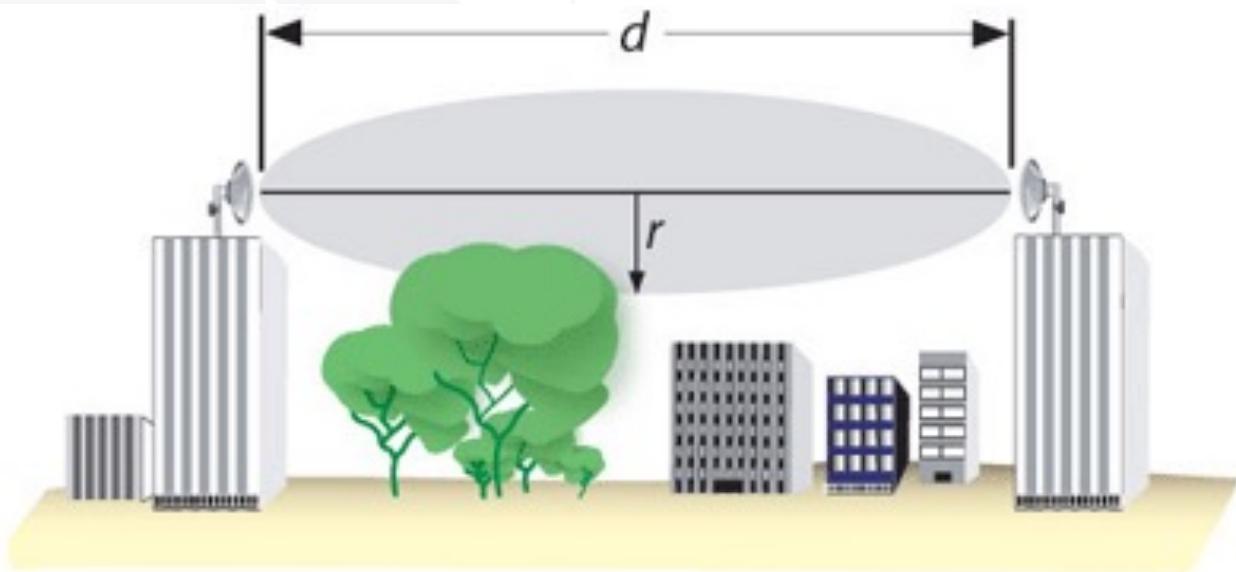
Cálculo del **radio** del elipsoide de la primer zona de Fresnel:

r: (radio en el punto medio m)

d: distancia entre los extremos (m)

f: frecuencia (MHz)

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{d}{4 \times f}}$$



Fresnel

Cálculo del **radio** del elipsoide de la primer zona de Fresnel:

r: radio a distancia d₁ del extremo 1 (m)

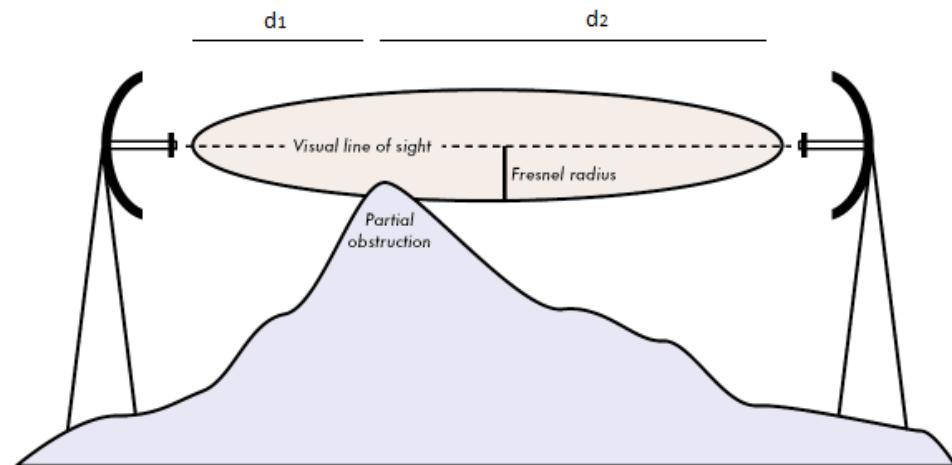
d₁: distancia entre extremo 1 y obstáculo (m)

d₂: distancia entre extremo 2 y obstáculo (m)

d: distancia total (m)

f: frecuencia (MHz)

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{d \times f}}$$



EJERCICIOS

Fresnel

Fundamentos de Radio Frecuencia

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{d}{4 \times f}}$$

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{d \times f}}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 1.

Calcular el radio de la primer zona de Fresnel para un enlace entre dos puntos que distan entre si 7,5 km y utilizan una frecuencia de 2.437 GHz.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

$$R = 17,32 * \sqrt{7500 / (4 * 2437)} = 15,2 \text{ m}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 2.

Calcular el radio de la primer zona de Fresnel para un enlace entre dos puntos que distan entre si 12,5 km y utilizan una frecuencia de 2.437 GHz.

Indicar si una obstrucción situada a 3 km del emisor que tiene una altura de 7,5 metros estará invadiendo la zona de Fresnel calculada, considerando que el transmisor y receptor se encuentran a una altura de 25 metros.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

$$R = 17,32 * \sqrt{[12500 / (4 * 2437)]} = 19,6 \text{ m}$$

$$R_1 = 17,32 * \sqrt{[(3000 * 9500) / (12500 * 2437)]} = \\ 16,7 \text{ m } \Rightarrow 7,5 + 16,7 = 24,1 \text{ m}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 3.

Calcular el radio de la primer zona de Fresnel para un enlace entre dos puntos que distan entre si 12,5 km y utilizan una frecuencia de 2.437 GHz.

Indicar si una obstrucción situada a 9 km del emisor que tiene una altura de 7,5 metros estará invadiendo la zona de Fresnel calculada, considerando que el transmisor y receptor se encuentran a una altura de 25 metros.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

$$R = 17,32 * \sqrt{[12500 / (4 * 2437)]} = 19,6\text{m}$$

$$R_1 = 17,32 * \sqrt{[(9000 * 3500) / (12500 * 2437)]} = 17,6\text{ m} \Rightarrow 7,5 + 17,6 = 25,1\text{m por arriba de los 20m}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 4.

Un enlace WLAN utiliza la frecuencia de 2412 MHz a una distancia de 1,4 Km, con los equipos situados a 10 metros de altura.

Calcule la altura máxima que puede alcanzar el árbol en el diagrama, de modo de obstruir el 40% de la primer zona de Fresnel. La distancia entre el primer equipo y el obstáculo es de 400 metros.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

$$R_1 = 17,32 * \sqrt{[(400*1000) / (1400*2437)]} = 5,9 \text{ m}$$

$$60\% = 3,5 \text{ m}$$

$$10 - 3,5 = 6,5 \text{ m}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 5.

Se busca establecer un enlace de 2 km donde en el punto medio se encuentra una obstrucción de 8 metros de altura. La altura máxima para los equipos es de 11,9 metros. La obstrucción máxima admitida para la primer zona de Fresnel es de 30%. Realice los cálculos para 2,4 GHz y 5,8 GHz.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

$$R = 17,32 * \sqrt{[2000 / (4*2400)]} = 7,9 \text{ m} \mid 7,9 \text{ m} * 0,7 = 5,5 \text{ m} \mid 5,5 \text{ m} + 8 \text{ m} = 13,5 \text{ m}$$

$$R = 17,32 * \sqrt{[2000 / (4*5800)]} = 5,1 \text{ m} \mid 5,1 \text{ m} * 0,7 = 3,6 \text{ m} \mid 3,6 \text{ m} + 8 \text{ m} = 11,6 \text{ m}$$

Ejercicios - Fresnel

Ejercicio 6.

Una empresa desea establecer un enlace de 5,8 GHz entre dos sitios que distan entre si unos 7 km.

- a) Considerando que hipotéticamente no hay obstrucciones edilicias entre los mismos. A qué altura mínima debería instalarse los enlaces para no tener ninguna obstrucción en la primer zona de Fresnel?
- b) Se le ha informado a la empresa que en los próximos meses se construirán un edificio A de 5 pisos a 1.3 km de uno de los transmisores y un edificio B de 4 pisos a unos 3,2 km de distancia del edificio A, ambos en línea con el enlace. Determinar la nueva altura del enlace de modo de no superar el 20% de obstrucción de la primer zona de Fresnel. Considerar 3m de altura por piso.

Ejercicios - Fresnel

Respuesta

a) $R = 17,32 * \sqrt{[7000 / (4*5800)]} = 7,9 \text{ m} \mid 9,5 \text{ m}$

b) $R_1 = 17,32 * \sqrt{[(1300*5700) / (7000*5800)]} = 7,4 \text{ m} \mid$
 $7,4\text{m}*0,8 = 5,9\text{m} \mid 5,9\text{m} + 15\text{m} = 21\text{m}$

$R_2 = 17,32 * \sqrt{[(4500*2500) / (7000*5800)]} = 9,1 \text{ m}$
 $\mid 9,1\text{m}*0,8 = 7,3\text{m} \mid 7,3\text{m} + 12\text{m} = 19,3\text{m}$

FIN

Fundamentos de Radio Frecuencia

Preguntas?



E R S I D A D O R T
U r u g u a y