

**FUNDAMENTOS
DE
TELECOMUNICACIONES**

TEMA 1

- Sistema de comunicaciones.
- Conceptos de portadora, modulación y ancho de banda.
- Metodología para compartir los medios de comunicación.
- Espectro electromagnético. Distribución y administración del espectro.
- Ganancia, atenuación, definiciones y uso de los decibeles.
- Conceptos básicos de ruido. Orígenes de los ruidos.
- Definiciones de relación señal ruido y cifra de ruido

Sistema de Comunicaciones

El objetivo de un sistema de comunicación es reproducir en el destino una replica aceptable de la información proveniente de la fuente de información

Comunicación: Acción que permite transmitir un mensaje, idea, pensamiento, u otro tipo de **información** desde un punto a otro.



Fuente:
Emite el mensaje

Transmisor:
Se encarga de adecuar la señal de la información a las características propias del canal de transmisión

Canal de Transmisión:
par de hilos, cable coaxial, fibra óptica y el aire.
Atenuación
Ruido

Receptor:
realiza los procesos inversos a los realizados en el transmisor.
Amplifica las señales recuperadas

Sistema de Comunicaciones

Información o Mensaje: representación física de la información producida por una fuente. La señal de información puede ser analógico y los digital.

Clasificación según la señal que trasmite

Sist. comunicación analógico:

Teléfono
Enlace de voz por radio
Conversación.
Video, etc.

Sist. comunicación Digital:

- Proceden de datos generados en equipos o computadoras.
- Se generan partir de señales de audio, video y otros que son digitalizadas con conversores AD.

Modos de Transmisión

La forma como se intercambia información entre emisor y receptor da como resultado cuatro formas generales de transmisión.

Simplex (Sx): la transmisión de información se hace en un solo sentido. Este sistema comprende un transmisor y un receptor sin que se pueda intercambiar estos roles.

Ejemplo: La radio comercial.

Half-duplex (HDX) : se puede transmitir en ambos sentidos pero no simultáneamente.

Ejemplo: Sist radios de comunicac. portátiles. Walking talking

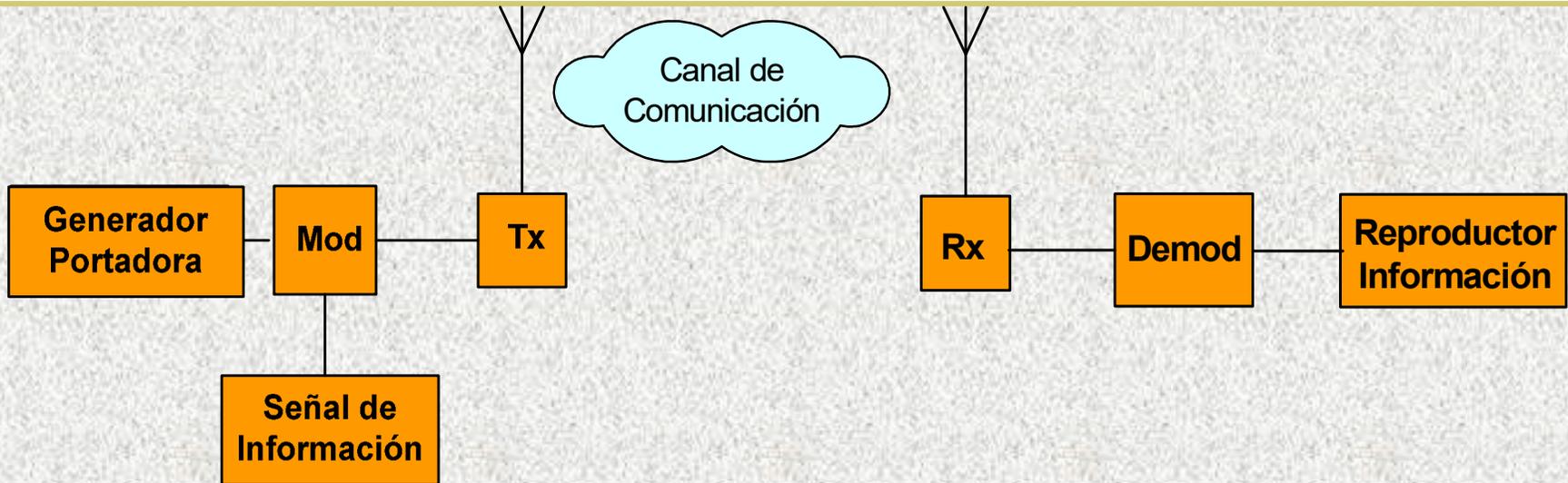
Full-Duplex (FDX) : transmisión simultánea en ambas direcciones y simultáneamente.

Ejemplo: Sistema de comunicación telefónica

Full / Full-Duplex (FFDX): intercambio de información en ambos sentidos y simultáneamente con más de un destino.

Ejemplo: Llamada en conferencia

Esquema Sistema de Comunicación



- ¿Qué es una portadora?
- Necesidad de señal portadora.
- Las Ondas Electromagnéticas no necesitan de un medio material para propagarse. Se propagan en el vacío a la velocidad de la luz (300 000 km/s)

$$F_{OEM}(t) = A \cos[\omega_c t + \theta]$$

- Señal de información = Señal Moduladora = Banda base

$$f_c \gg f_m$$

Limitaciones en las Comunicaciones

Durante el diseño de un sistema:

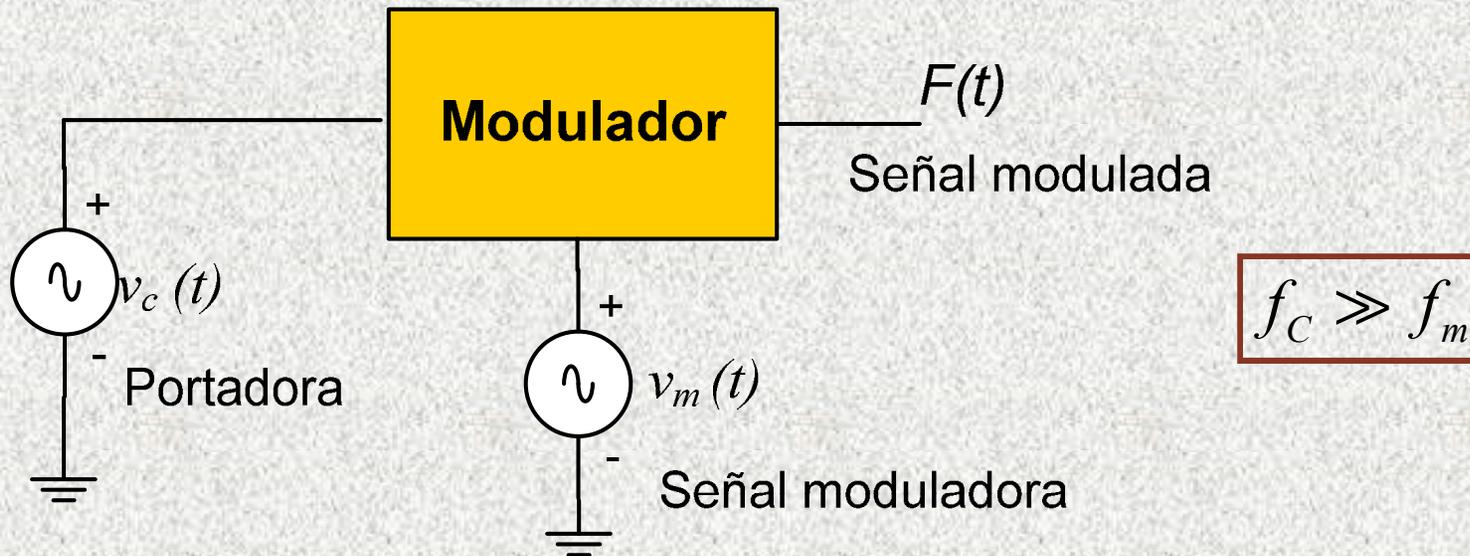
Limitaciones tecnológicas: hardware, la regulación, el factor económico, etc.

Limitaciones físicas: impuestas por el sistema, que son las que finalmente indican lo que se puede o no alcanzar en el sistema.

Las limitaciones fundamentales para la transmisión de información son:

- **el ancho de banda**
 - **y el ruido.**

Diagrama básico de un Modulador



En la modulación se involucra dos tipos de señales: la señal moduladora, que es la señal de información o mensaje, y la señal portadora.

La modulación es la **alteración sistemática** de uno de los parámetros de la señal portadora de acuerdo a la señal de información

SEÑAL MODULADA

$$F(t) = A(t)\cos[\omega_c t + \theta(t)] = A(t)\cos \phi(t)$$

Cuando existe una señal modulada, la portadora es una función senoidal que varía algunos de sus parámetros en forma directamente proporcional con la información.

Esta función está compuesta por varias senoidales, dependiendo la amplitud, fase y número de las mismas y del tipo de modulación utilizada.

Modulando:

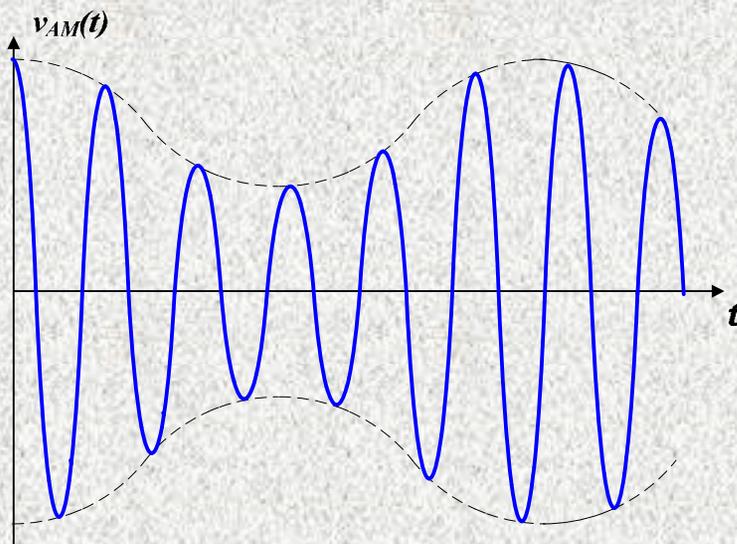
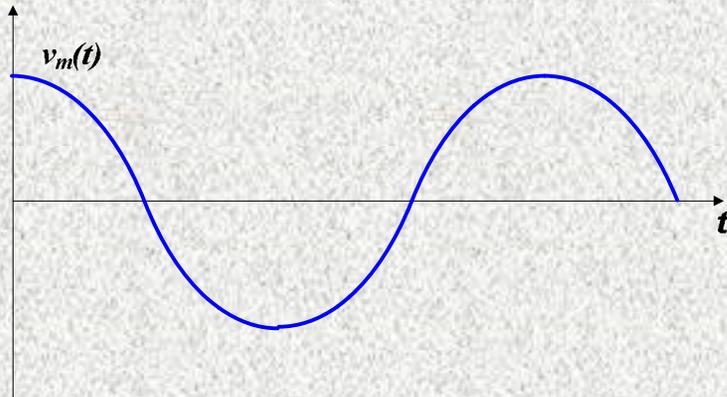
$A(t)$ Modulación en amplitud

$\phi(t)$ Modulación en ángulo

FM

PM

Señal Modulada en Amplitud (AM)



Cuando la portadora se modula con la señal de información a transmitir resulta una señal modulada que está formada por un conjunto de senoidales de distintas frecuencias y amplitudes.

$$v_{AM}(t) = V_c (1 + m_a \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_c t)$$

$$v_{AM}(t) = V_c \cos(\omega_c t) + \frac{V_m}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{V_m}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Ancho de Banda

Ancho de banda de la información:

Es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en la información. Ejemplo: Voz: 300-3300 Hz

Ancho de banda del canal

Es la diferencia entre la máxima y mínima de las frecuencias de las componentes de la señal modulada. O sea es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que pueden pasar por él. Se lo indica como AB
Debe ser lo suficientemente grande para que la información pase sin problemas.. Ejemplo FM: 200KHz

Ancho de banda de la señal \leq Ancho de banda del canal

El AB se relaciona con la velocidad de la transmisión de la información y con cantidad de información que se puede transmitir en un tiempo dado.

Multiplexado

Proceso de transmisión de múltiples señales por un mismo canal, simultáneamente.

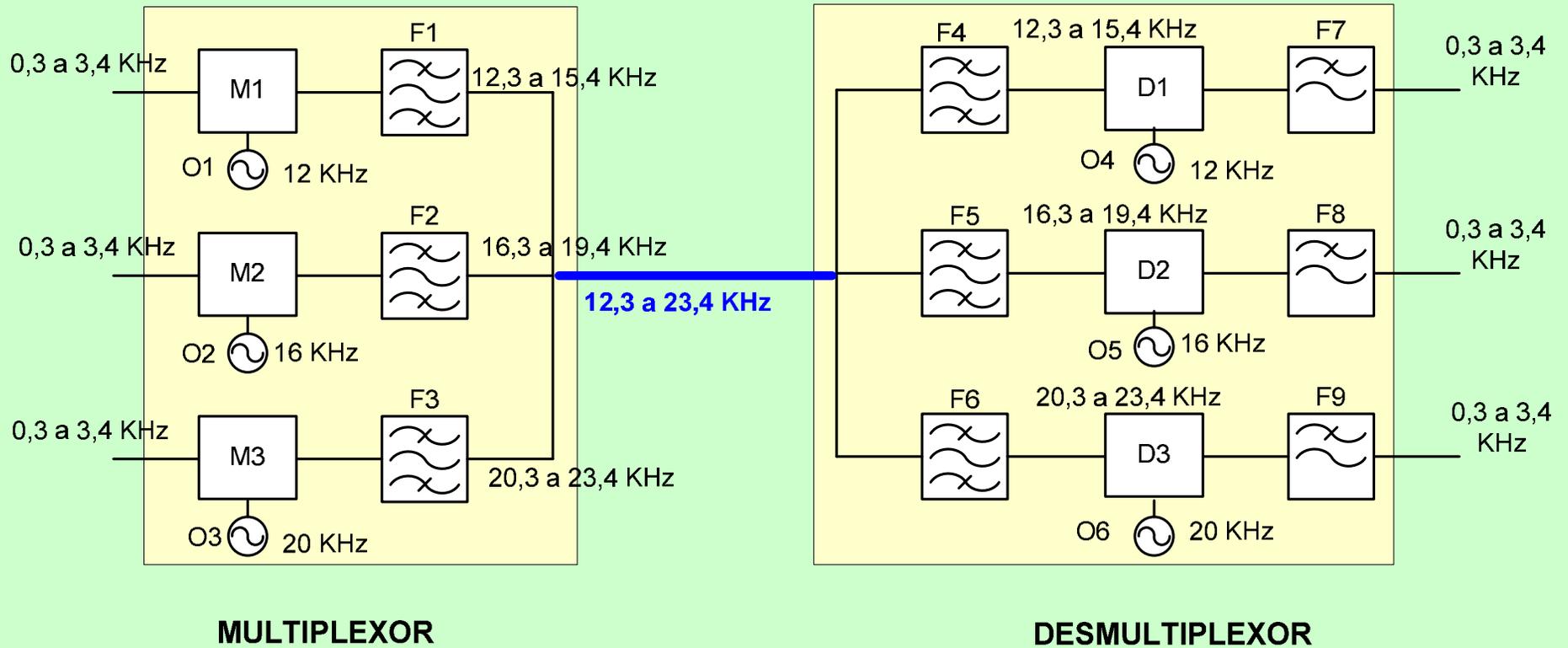
Es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión

FDM: *multiplexado por división de frecuencia*
utiliza modulación de onda continua para ubicar a cada señal en una frecuencia portadora diferente y en el receptor se filtra la señal para recuperar la información.

TDM: *multiplexado por división de tiempo*
utiliza modulación por pulsos para transmitir diferentes señales en instantes de tiempo diferentes.

Otros: WDM, CDM

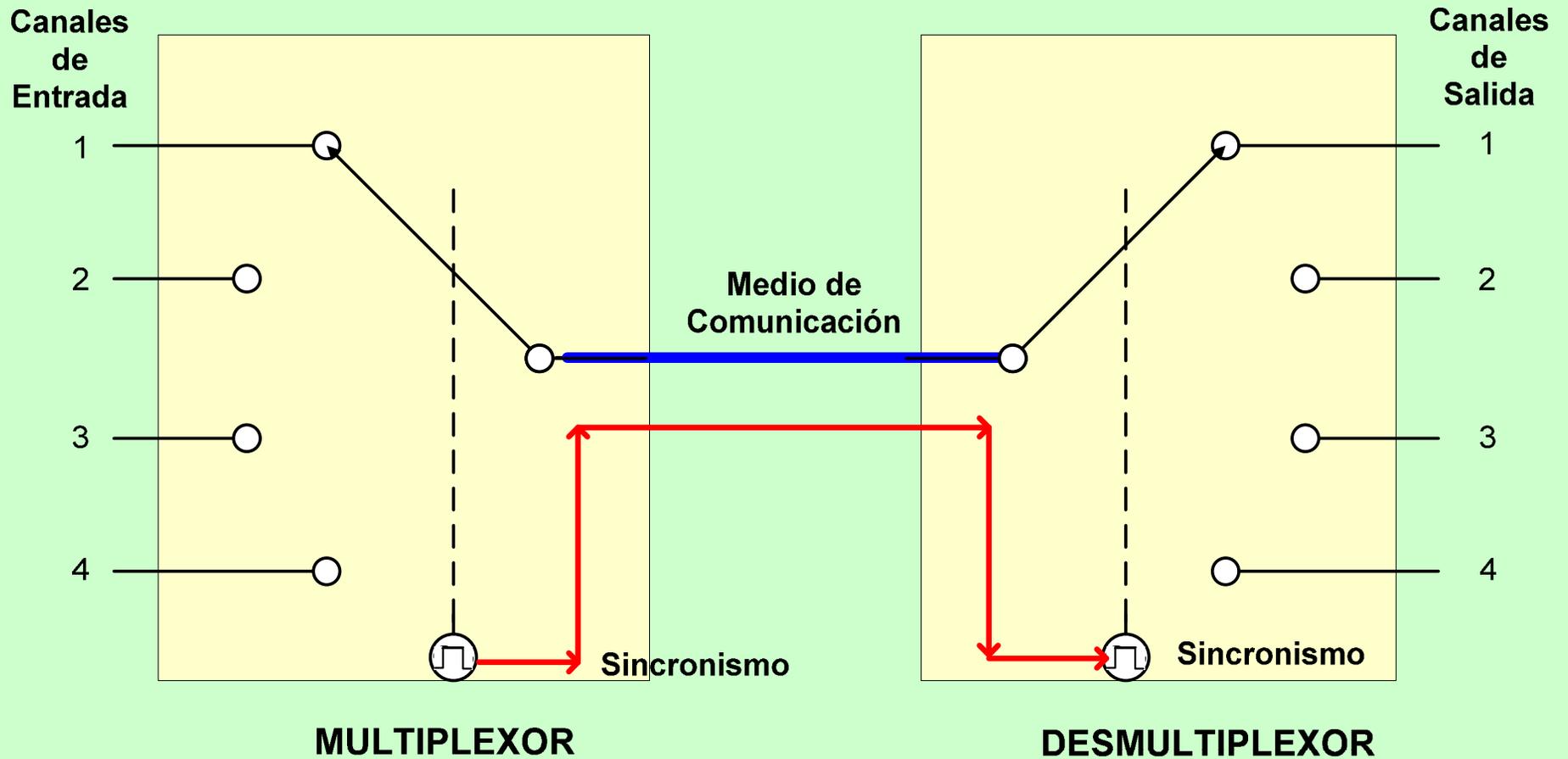
Conjunto Multiplexor FDM



FDM

- La multiplexación por división de frecuencia MDF o FDM (*Frequency Division Multiplexing*), es un tipo de multiplexación utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos.
- En este tipo de multiplexado se *convierte* a cada señal de información, entre varias que originalmente ocupan un determinado espectro de frecuencias, generalmente el mismo, a una banda distinta de frecuencias. Luego se transmiten todas las bandas en forma simultánea, por un solo medio de transmisión. De esta forma se logra transmitir varias señales de ancho de banda relativamente angosto por un único canal de transmisión que dispone de una banda ancha.
- La información que entra a un sistema FDM es analógica y permanece analógica durante toda el proceso de transmisión.

Conjunto Multiplexor TDM



TDM

- Muy utilizada en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales.
- El ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).
- En este circuito simplificando las entradas de 4 canales llegan a llaves, una por canal, estas se van cerrando en forma secuencial, controladas por una señal de reloj. De esta forma cada canal se conecta al medio de transmisión durante un intervalo de tiempo que fija el reloj.
- En el receptor se realiza el proceso inverso es decir el demultiplexado. Esto implica conectar el medio de transmisión en forma secuencial con la salida de cada uno de los cuatro canales mediante llaves similares a las del transmisor que son controlados por el mismo reloj.
- El reloj del transmisor funciona de forma sincronizada con el reloj del multiplexor del receptor, mediante señales de temporización que son transmitidas a través del propio medio de transmisión o por un camino independiente.

Espectro Electromagnético

El *espectro electromagnético* es el conjunto de frecuencias en que se radian las ondas electromagnéticas, ordenadas según su frecuencia

Estas frecuencias, vinculadas a sus respectivas longitudes de onda , están comprendidas desde las de menor longitud, como son los rayos cósmicos, los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la visible y la rayos infrarroja , hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

En todos los casos son ondas que producen variaciones de campo electromagnético

Las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio y viajan a la velocidad de la luz.

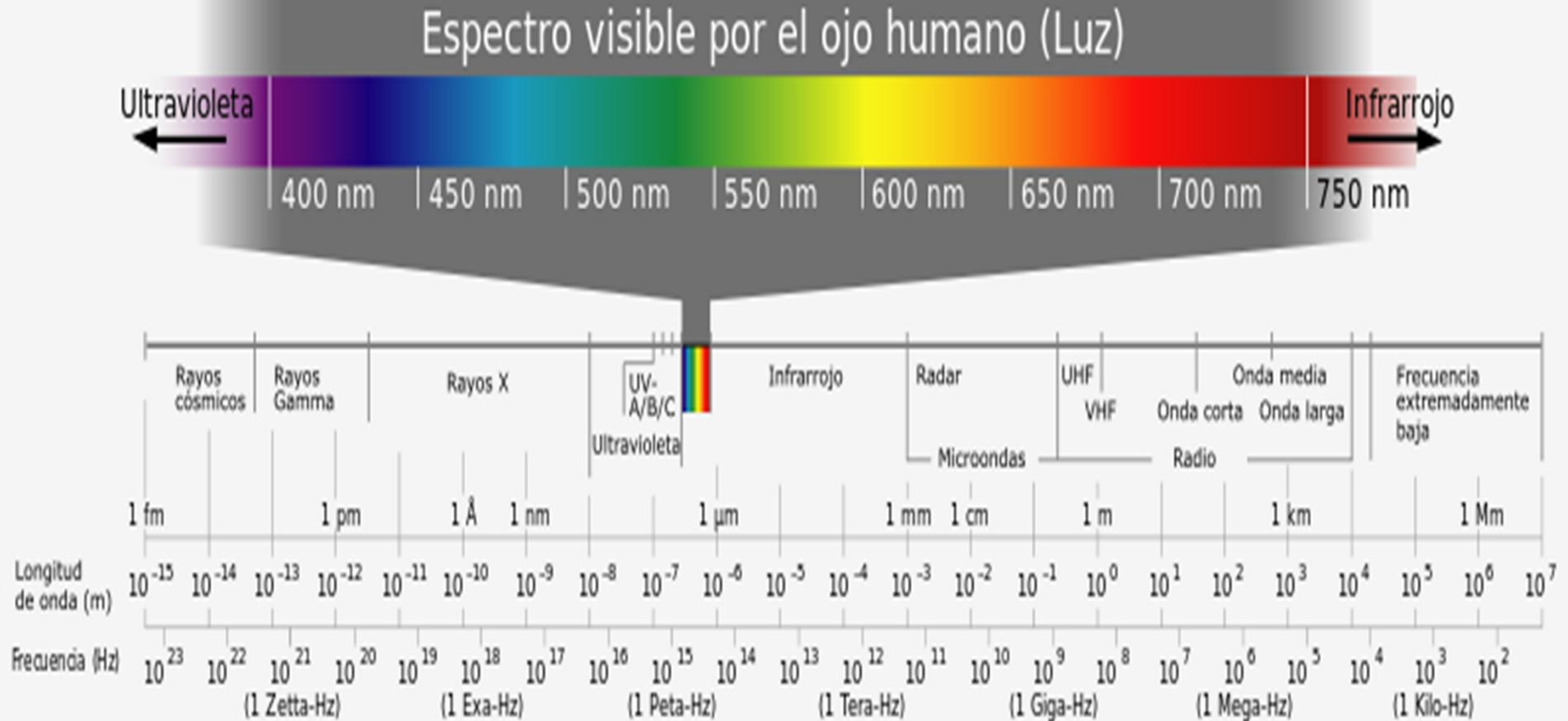
$$\lambda = c/f$$

Espectro Electromagnético

Tipo de Onda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)
Rayos Gamma	< 10 pm	>30.0 EHz
Rayos X	< 10 nm	>30.0 PHz
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz
Luz Visible	< 780 nm	>384 THz
Infrarrojo Cercano	< 2.5 μ m	>120 THz
Infrarrojo Medio	< 50 μ m	>6.00 THz
Infrarrojo Lejano/submilimétrico	< 1 mm	>300 GHz
Microondas	< 30 cm	>1.0 GHz
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz
Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz
Onda Corta Radio	<180 m	>1.7 MHz
Onda Media (AM) Radio	<650 m	>650 KHz
Audio	>10 km	<30 KHz

1 GHz=1 Giga Hertz= 10^9 Hz, 1 THz=1 Tera Hertz= 10^{12} Hz
 1 PHz=1 Peta Hertz= 10^{15} Hz, 1 EHz= 1 Exa Hertz= 10^{18} Hz

Espectro Electromagnético



Espectro Radioeléctrico

El *espectro radioeléctrico* es la parte del espectro electromagnético usado en telecomunicaciones.

BANDAS DE RADIO CORRESPONDIENTES AL ESPECTRO RADIOELÉCTICO

NOMBRE DE LA BANDA	FRECUENCIAS	LONGITUDES DE ONDA
Banda VLF (<i>Very Low Frequencies – Frecuencias Muy Bajas</i>)	3 – 20 kHz	100 000 – 10 000 m
Banda LF (<i>Low Frequencies – Frecuencias Bajas</i>)- Onda Larga (OL)	30 – 300 kHz	10 000 – 1 000 m
Banda MF (<i>Medium Frequencies – Frecuencias Medias</i>)- Onda Media	300 – 3 000 kHz	1 000 – 100 m
Banda HF (<i>High Frequencies – Frecuencias Altas</i>) – Onda Corta (OC)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Banda VHF (<i>Very High Frequencies – Frecuencias Muy Altas</i>)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Banda UHF (<i>Ultra High Frequencies – Frecuencias Ultra Altas</i>)	300 – 3 000 MHz	1 m – 10 cm
Banda SHF (<i>Super High Frequencies – Frecuencias Super Altas</i>)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
Banda EHF (<i>Extremely High Frequencies – Frecuencias Extremadamente Altas</i>)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

El **espectro radioeléctrico** es la parte del espectro electromagnético usado en telecomunicaciones.

SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERÍSTICAS	USO TÍPICO
VLF	VERY LOW FRECUENCIES 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
	LOW FRECUENCIES 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.
MF	MEDIUM FRECUENCIES 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
HF	HIGH FRECUENCIES 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
VHF	VERY HIGH FRECUENCIES 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, Teléfonos inalámbricos, 40 a 50 MHz Controles remotos por ondas de radiofrecuencia, 40 a 75 MHz Canales de TV (del 2 al 6), 54 a 88 MHz Canales de TV (del 7 al 13), 174 a 220 MHz FM (Frecuencia Modulada), 88 a 108 MHz Banda de radio aeronáutica, 108 a 137 MHz

Espectro Radioeléctrico

UHF (*Ultra High Frequencies* – Frecuencias ultra altas)

- Canales de televisión del 14 al 83 – 470 a 890 MHz
- GPS (Global Positioning System - Sistema de Posicionamiento Global), 1 227 a 1 575 MHz
- GSM (Global System for Mobile Communication – Sistema Global para Telefonía Móvil o Celular), 900 a 1900 MHz
- Wi-Fi (802.11b) (Wireless Fidelity – Fidelidad inalámbrica), 2,4 GHz
- Bluetooth, 2,45 GHz

DECIBELES

Entre las especificaciones fundamentales de un circuito está la relación de las potencias o tensiones de salida respecto a las de entrada.

La Ganancia es un número adimensional y se define como:

$$A_V = \frac{V_{SAL}}{V_{ENT}} \quad A_I = \frac{I_{SAL}}{I_{ENT}} \quad A_P = \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}}$$

En caso de circuitos que producen atenuaciones, estas relaciones son números menores que uno. Ejemplos de atenuadores: filtros pasivos, o los divisores de tensión o de corriente.

Dentro de un mismo sistema de comunicaciones puede aparecer una señal con una potencia del orden de los mW en un determinado punto o momento de medición, y en otro punto o momento puede aparecer una señal del orden de los KW. Para que la escala no resulte tan extensa y evitar estos inconvenientes se recurre al uso de una escala logarítmica.

Decibeles

Decibel relativo: este valor es utilizado para relacionar pérdidas o ganancias de un sistema.

$$\text{Ganancia de potencia en decibeles} = 10 \log |A_p| \text{ dB}$$

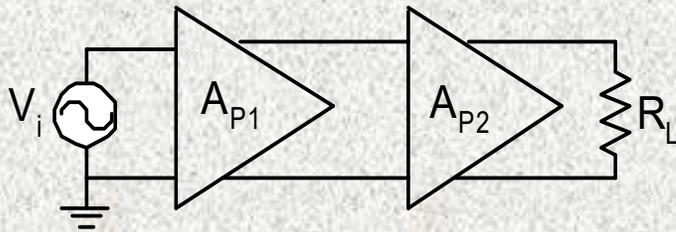
$$\text{Ganancia de corriente en decibeles} = 20 \log |A_i| \text{ dB}$$

$$\text{Ganancia de tensión en decibeles} = 20 \log |A_v| \text{ dB}$$

- Las expresiones en decibelios (dB), son comparaciones logarítmicas (en base 10) entre magnitudes del mismo tipo, \Rightarrow son adimensionales.

Decibeles

- Los dB convierten las multiplicaciones en sumas, y las divisiones en restas, lo que hace mucho más sencillos e intuitivos los cálculos.



$$A_P = A_{P1} \cdot A_{P2}$$

$$A_P [dB] = 10 \cdot \log A_P = 10 \cdot \log (A_{P1} \cdot A_{P2}) = 10 \log A_{P1} + 10 \cdot \log A_{P2}$$

Entonces

$$A_P [dB] = A_{P1} [dB] + A_{P2} [dB]$$

- *+3dB equivale a multiplicar la potencia por 2*
- *-3dB equivale a dividir la potencia por 2*
- Si se usa el dB, se evita manejar números o muy pequeños o excesivamente grandes, llenos de ceros, con lo que la posibilidad de error sería muy grande al hacer cálculos.

dBm

Decibel absoluto: relacionado a un nivel determinado. En sistemas de transmisión los decibeles representan relaciones de potencia, por este motivo la potencia de las señales puede ser expresada en decibeles

Para lo cual se agrega una tercera letra a la notación.

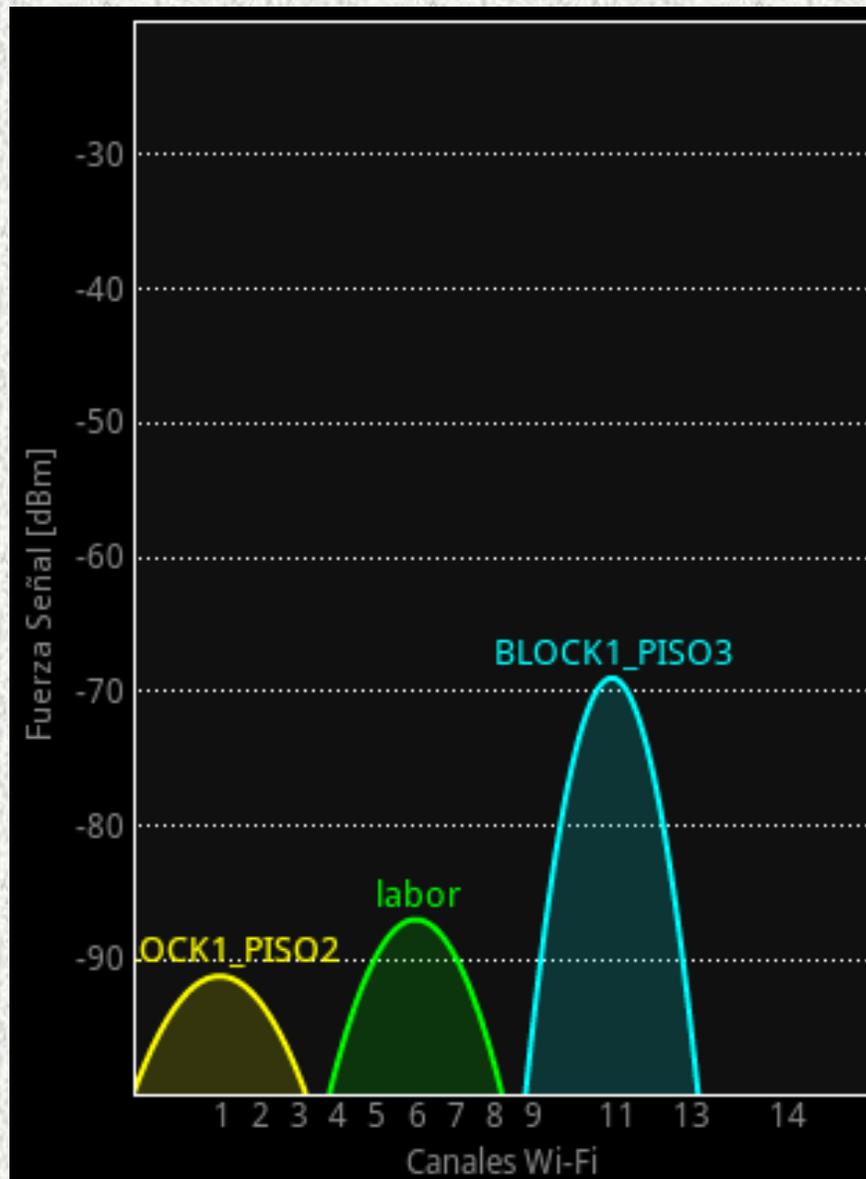
Si la señal de referencia sea de 1 mW, la potencia P se expresa en decibeles por encima de 1 miliwatt y se denota por dBm.

$$1 \text{ dBm} = 10 \log \frac{P_{SAL}}{1mW}$$

Potencias expresadas en dBm

dBm	Potencia	Descripción
60	1 kW	Potencia típica de transmisión de una estación de radio FM. Radiación típica de RF de un horno de microondas.
40	10 W	Potencia entregada a las antenas de telefonía móvil
36	4 W	Salida típica de potencia para una banda de radio ciudadana (27 MHz) en muchos países
30	1 W	Fuga RF típica de un horno de microondas. Máxima salida de potencia para un teléfono celular GSM1800/1900
24	250 mW	Máxima salida de potencia para un teléfono celular UMTS/3G (teléfono de potencia clase 3)
21	125 mW	Máxima salida de potencia para un teléfono celular UMTS/3G (teléfono de potencia clase 4)
20	100 mW	BlueTooth Estándar Clase 1 , cobertura de 100 m. Potencia típica de un router inalámbrico WiFi.

Uso de dBm



AdBm -70

0,0000001 mW

Uso dBm

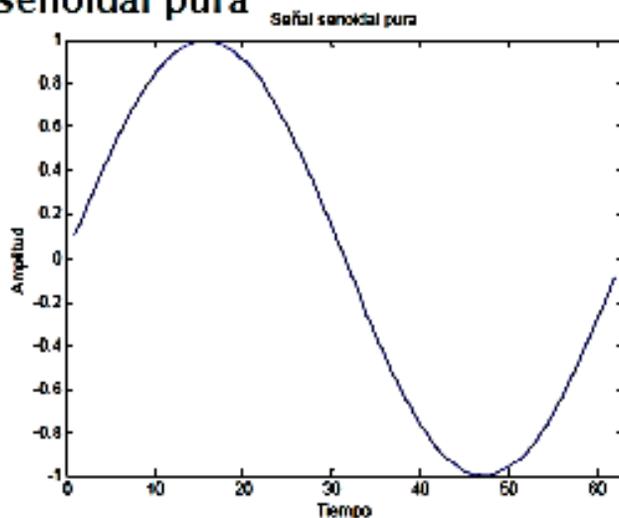
- Tarjetas PCMCIA Orinocco :
 - 11Mbps => **-82 dBm**
 - 5.5Mbps => -87 dBm
 - 2Mbps=> -91 dBm
 - 1Mbps=> -94 dBm.
- Tarjetas CISCO Aironet 350:
 - 11Mbps => **-85 dBm**
 - 5.5 Mbps => -89 dBm
 - 2 Mbps => -91 dBm
 - 1 Mbps => -94 dBm
- Cliente USB Edimax: 11Mbps => **-81 dBm**
- Router/AP Belkin: 11 Mbps => **-78 dBm**

EL RUIDO

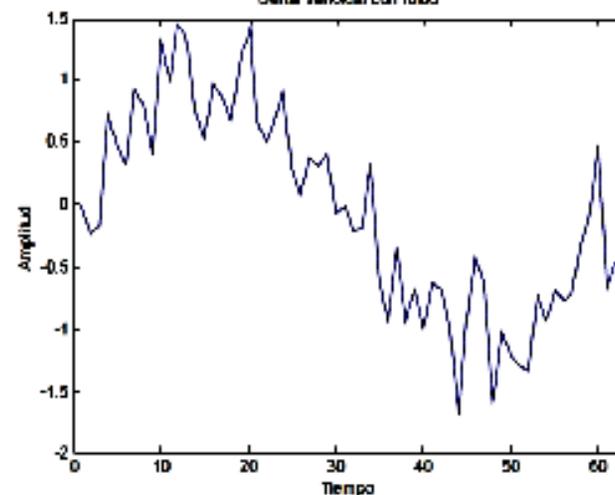
En electrónica y las telecomunicaciones, se denomina ruido a todas las señales eléctricas no deseadas que provienen de diversas fuentes y que interfieren sobre las señales que se transmiten o procesan.

Las distorsiones que produce el ruido afecta tanto a señales analógicas como digitales

Señal senoidal pura



Señal senoidal con ruido

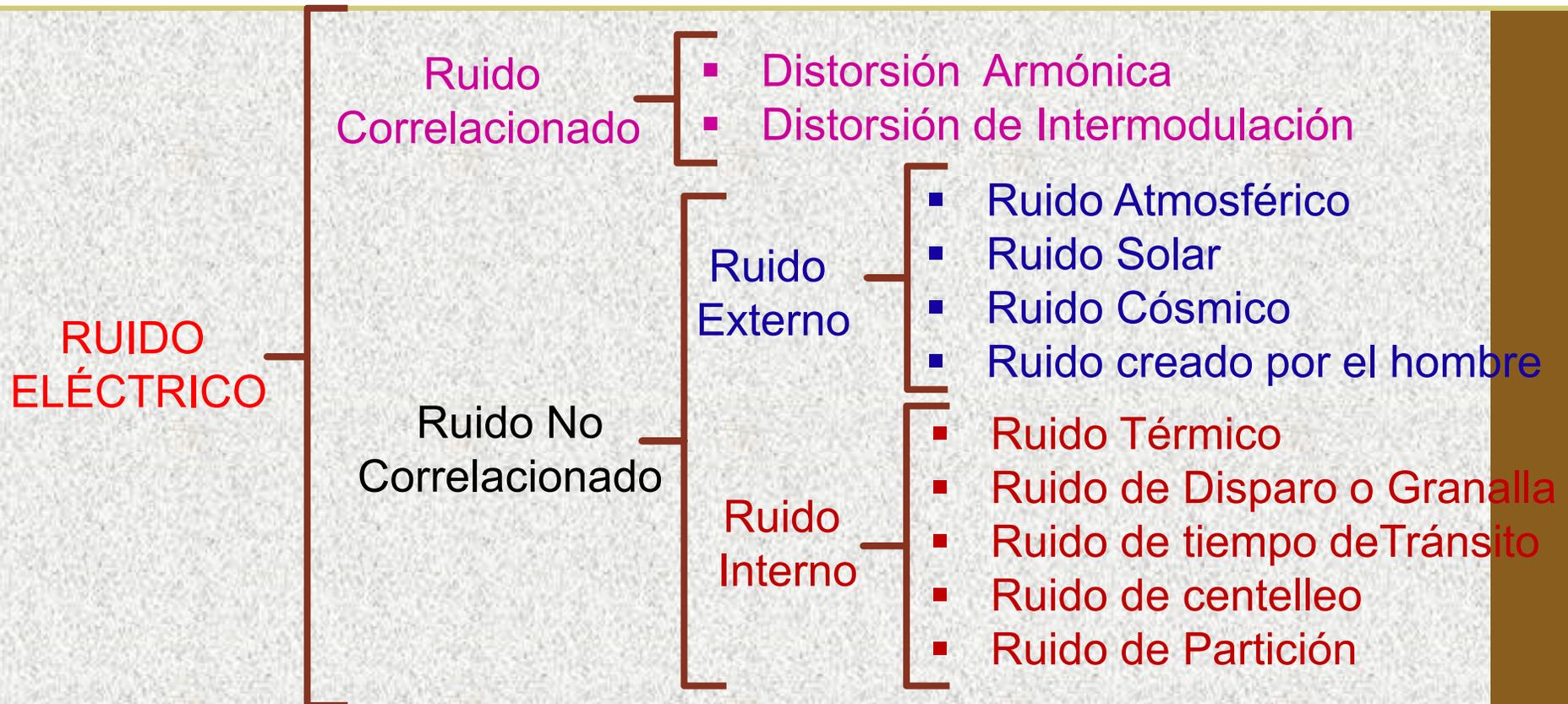


EL RUIDO

- El ruido eléctrico es todo cambio aleatorio de una magnitud eléctrica (corriente, tensión, etc.) que tienda a modificar la una señal de interés.
- En las señales analógicas el ruido distorsiona las señales haciendo a las mismas desagradables y a veces hasta irreconocibles. En las señales digitales y en particular en las comunicaciones incrementa la tasa de errores volviéndolas a las mismas lentas y en algunos casos hasta produciendo su bloqueo.
- Es importante evaluar la relación que existe entre la potencia de la señal comparada con la del ruido, mas que conocer en forma independiente el valor del ruido.
- Los ruidos se originan en los canales de comunicación y en los equipos de comunicación, son aleatorios e interfieren con las señales a comunicar.
- Los ruidos normalmente no pueden ser evitados pero si es posible atenuar sus efectos por ejemplo minimizando el ancho de banda de los canales de comunicación, aumentando la potencia de los transmisores, utilizar amplificadores de bajo ruido en el procesamiento de las señales débiles.

Clasificación del Ruido Eléctrico

32



Ruido correlacionado: tiene relación directa con la señal, es producido por amplificaciones no lineales de la señal. Incluye armónicos y distorsión de intermodulación.

Ruido no correlacionado: está presente sin importar si hay una señal presente o no. Se produce en los medios de transmisión, circuitos, amplificadores, etc.

- Ruidos Internos
- Ruidos Externos

El ruido externo es generado fuera de un sistema de comunicación y se introduce en él.

Se considera ruido externo, sólo si sus frecuencias caen dentro de la banda útil del sistema de comunicación.

El ruido interno es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo.

Todo equipo electrónico genera ruido. Tanto los componentes pasivos (resistores y cables) como los dispositivos activos (diodos, transistores) y pueden ser fuentes de ruido.

RUIDO INTERNO

- **Ruido térmico**
- **Ruido de impulso o granalla**
- **Ruido de partición**
- **Ruido de centelleo**
- **Ruido de tiempo de tránsito**

RUIDO TERMICO

Se produce por el movimiento aleatorio de los electrones en un conductor debido al calor.

Al aumentar la T° se incrementa el movimiento de los electrones y produce un flujo de corriente.

El flujo de corriente es resistido: los átomos están agitados y los electrones chocan unos con otros.

Esta resistencia aparente del conductor produce una tensión aleatoria que técnicamente se llama ruido (tensión de ruido).

RUIDO TÉRMICO

El ruido térmico se considera como una *variable aleatoria* de **valor medio cero**, pero su valor instantáneo no es cero

Matemáticamente la potencia del ruido térmico se calcula con la ecuación:

$$P_N = kTB$$

La densidad espectral del ruido térmico es uniforme en el espectro de frecuencias, es decir que sus componentes espectrales abarcan desde 0 Hz, hasta frecuencias PHz.

$$N_o = \frac{P_N}{B} = kT$$

Es decir, el ruido térmico se manifiesta por igual en todas las frecuencias por lo que se lo denomina ruido blanco.

P_N : Potencia de ruido en Watt

k : Constante Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-23}$ Joules/°Kelvin [J/K]

T : Temperatura en grados Kelvin

B : Ancho de banda de la potencia de ruido en Hertz

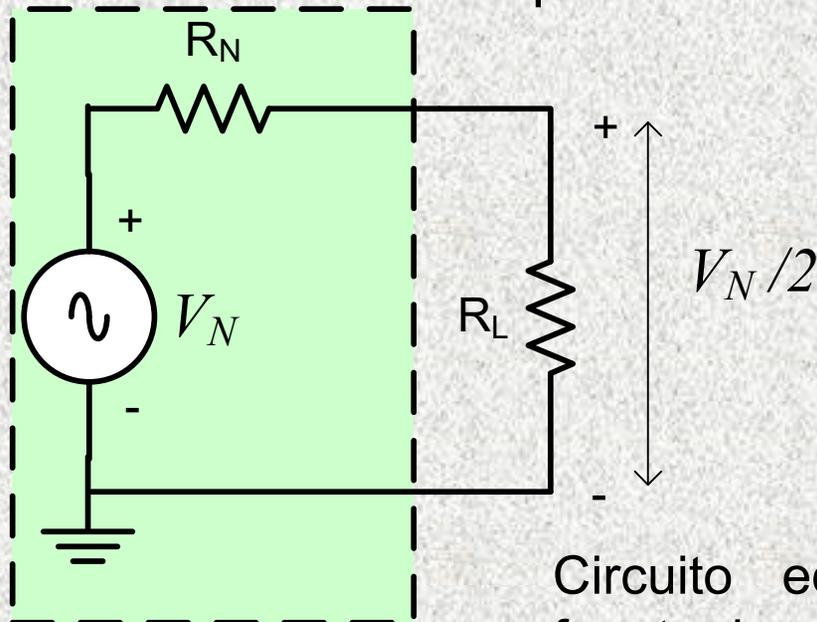
N_o : Densidad espectral de ruido, en W/Hz

TENSIÓN DE RUIDO

En ausencia de tensiones externas, el movimiento aleatorio de los electrones da lugar a una corriente que cambia de magnitud y dirección continuamente que, en los extremos del conductor o del elemento de circuito particular, produce una tensión fluctuante: la tensión de ruido.

Para el peor de los casos $R_L = R_N$, donde R_L es la resistencia de carga.

La tensión de Ruido se puede calcular, según la ecuación:



$$V_N = \sqrt{4RKT B}$$

Circuito equivalente de una fuente de ruido.

RUIDOS DE IMPULSO O GRANALLA

El *shot noise* es causado por las variaciones aleatorias en los tiempos de llegada de los portadores de carga (electrones o huecos) a los electrodos de salida en todos los dispositivos activos.

Aparece como una corriente variable de ruido, superpuesta a la corriente de señal de salida. se manifiesta por igual en todas las frecuencias por lo que se lo denomina ruido blanco.

Se representa mediante una fuente de corriente de:

$$I_N = \sqrt{2qI_0B}$$

I_N = Valor RMS de la corriente ruido en A

q = Valor de la carga de un electrón ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb)

I_0 = Corriente de polarización de continua en el dispositivo en A

B = Ancho de banda en donde se observa el ruido en Hz

RUIDOS DE PARTICIÓN

- Tiene características similares al de granalla en espectro y forma de generación.
- Se presenta en dispositivos donde una sola corriente se separa en dos o mas trayectorias.
- Ejemplo: La corriente de emisor de un transistor que está formada por las corrientes, de base y colector

RUIDOS EXTERNOS

Proviene de las siguientes fuentes:

- Equipos y máquinas
- Atmosféricos
- Espaciales

RUIDO TOTAL

Para combinar los efectos de dos o más fuentes de ruido se deben sumar sus valores rms:

$$I_N = \sqrt{I_{N1}^2 + I_{N2}^2 + I_{N3}^2 + \dots + I_{Nn}^2}$$

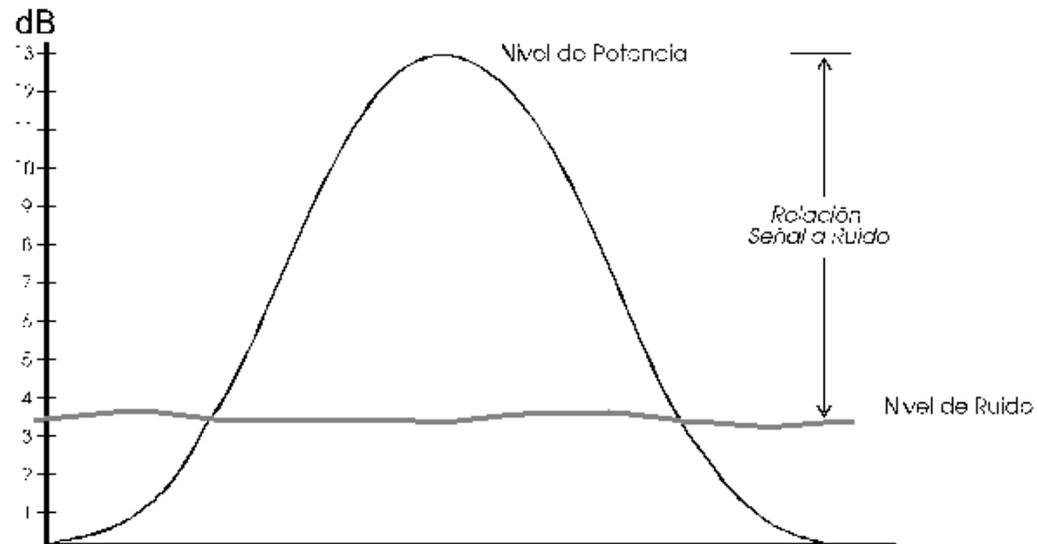
$$V_N = \sqrt{V_{N1}^2 + V_{N2}^2 + V_{N3}^2 + \dots + V_{Nn}^2}$$

RELACIÓN SEÑAL RUIDO

- La relación señal ruido se denota como S/R e indica la cantidad de ruido que contiene una señal en cuestión.
- Está expresado en decibelios (dB).
- Mientras más alto sea este valor, menor será la cantidad de ruido presente en la señal.

$$S / N (dB) = 10 \log \frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido}} = 10 \log \frac{P_S}{P_N}$$

$$S / N (dB) = 20 \log \frac{V_S}{V_N}$$



CIFRA DE RUIDO O INDICE DE RUIDO

Todos los conductores producen ruido y los dispositivos activos también añaden su propio ruido, entonces, cualquier etapa en un sistema de comunicación agrega ruido

La cifra de ruido es la **relación entre de S/N de entrada y la relación S/N de salida.**

Índice que indica la degradación de la relación señal /ruido conforme la señal se propaga por un amplificador, una serie de amplificadores o un sistema de comunicaciones.

$$NF = \frac{(S / N)_i}{(S / N)_o}$$

$$NF(dB) = 10 \log \left[\frac{(S / N)_i}{(S / N)_o} \right]$$

- **ANEXO 1: ANALISIS DE SEÑALES**
- **ANEXO 2: RESONANCIA. CIRCUITOS RESONANTES SERIE Y PARALELO**