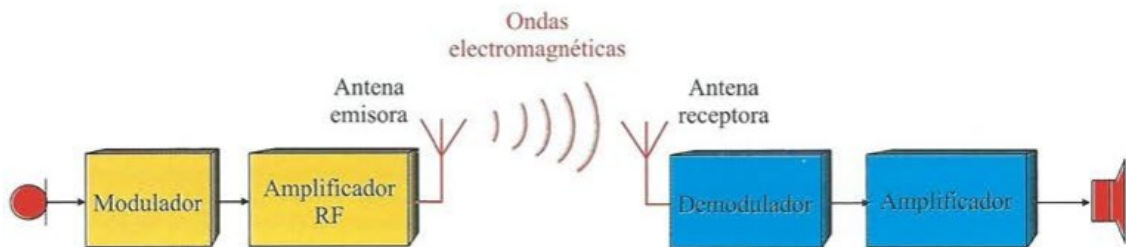


Tema 2: Comunicaciones radioeléctricas y servicios de radiodifusión

El objetivo de un sistema de telecomunicaciones es la transmisión de información entre dos puntos distantes. Un sistema de telecomunicación se suele modelar según el siguiente esquema:

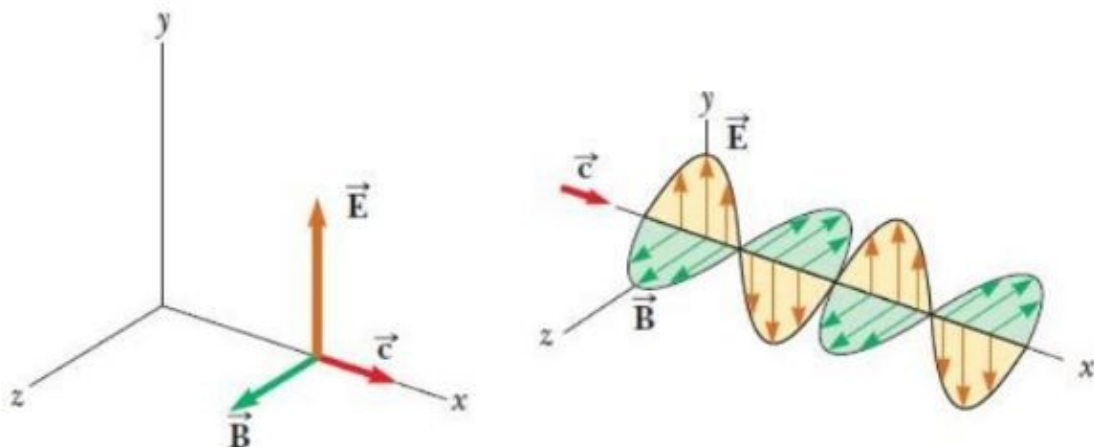


En los sistemas de telecomunicación contamos con el concepto de **señal**. Se va a definir el concepto señal como una onda electromagnética que es capaz de transportar una cierta información generada por un emisor hasta un receptor que será quien la interprete. Las ondas electromagnéticas podrán transportar información de varias naturalezas, ya sea voz, imágenes u otro tipo de datos.

Ondas electromagnéticas

El **canal o medio de transmisión** utilizado en los servicios de radiodifusión es el espacio libre mediante la propagación de **ondas electromagnéticas**.

Las **ondas electromagnéticas** son aquellas que se propagan en el espacio a la velocidad de la luz (c) y se caracteriza por tener siempre una componente de campo eléctrico (E) que se transmite de forma perpendicular a una componente de campo magnético (H o B)

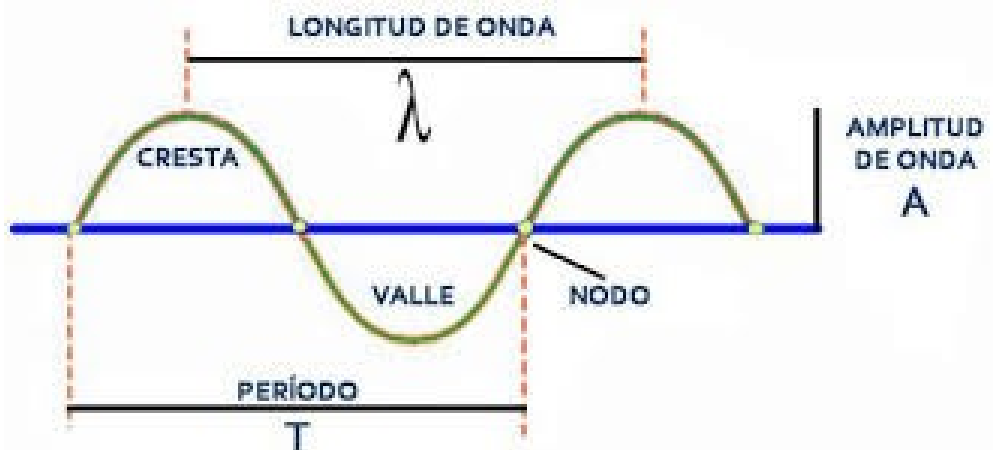


Parámetros de una onda

Las ondas cuentan con los siguientes parámetros:

- **Periodo (T):** se define como el tiempo que tarda una onda en realizar un ciclo.
- **Frecuencia (f):** se define como la inversa del periodo ($1/T$) o también como el número de ciclos que una onda es capaz de realizar en un segundo.

- **Velocidad de propagación (c):** velocidad a la que se propaga una onda electromagnética, a la que se atribuye la velocidad de la luz (300.000.000 m/s)
- **Fase (φ):** instante del ciclo en el que se encuentra una onda en el instante 0 segundos que se toma como referencia
- **Amplitud (A):** la magnitud instantánea de una onda
- **Longitud de onda (λ):** espacio que recorre una onda en un ciclo



Las ondas electromagnéticas quedan, por lo tanto, definidas por su frecuencia (f) y por su longitud de onda (λ), parámetros que están relacionadas a través de la siguiente expresión:

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

Donde c es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, como se ha dicho anteriormente, y que es igual a la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s).

Sistemas de radiodifusión

El modo de transmisión de información en los sistemas de radiodifusión se basa en la propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio libre (medio no guiado).

Sin embargo, las señales que se desean enviar mediante sistemas de radiodifusión deben ser adecuadas para poder ser enviadas, ya que las señales, en su versión original, se dice que están en banda base, es decir, el espacio frecuencial que una señal en banda base ocupa no ha sido alterado, está en la frecuencia original.

Para el envío de señales se debe llevar a cabo un proceso de **modulación**, consistente en situar la señal a enviar en una frecuencia diferente a su frecuencia original, dejando de estar en banda base.

Servicios de radiodifusión

Son aquellos servicios que están orientados a ser recibidos por el público general, y abarcan emisiones de radio y televisión.

La radiodifusión puede llegar al usuario por medio del aire en forma de transmisión terrestre o por sistemas de transmisión vía satélite, si la transmisión se realiza por medios guiados hablaremos de sistemas de transmisión por cable.

Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico está dividido en bandas que a su vez estarán subdivididas en canales, y se estructura según el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (RRUIT) según la siguiente tabla:

Margen de frecuencia	Longitud de onda	Designación
3-30 kHz	100-10 km	VLF (muy baja frecuencia)
30-300 kHz	10-1 km	LF (baja frecuencia)
300-3.000 kHz	1-0,1 km	MF (media frecuencia)
3-30 MHz	100-10 m	HF (alta frecuencia)
30-300 MHz	10-1 m	VHF (muy alta frecuencia)
300-3.000 MHz	100-10 cm	UHF (ultra alta frecuencia)
3-30 GHz	10-1 cm	SHF (super alta frecuencia)
30-300 GHz	10-1 mm	EHF (extra alta frecuencia)

Múltiplos y submúltiplos de unidades:

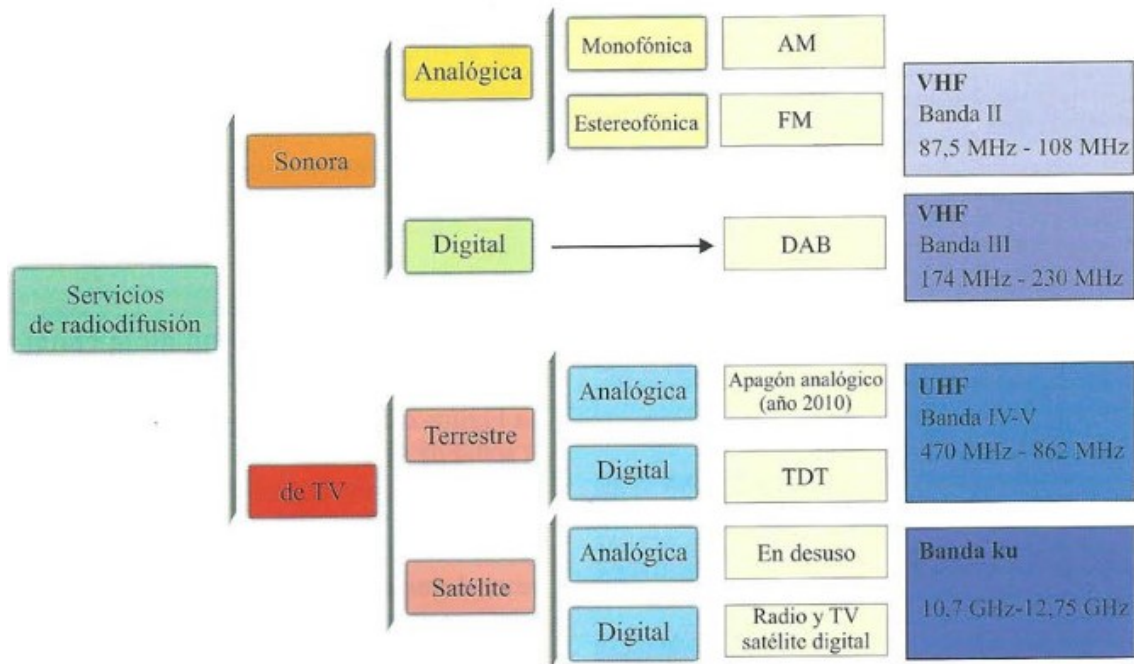
	Prefijo	Símbolo	Factor
Múltiplos	exa	E	10^{18}
	peta	P	10^{15}
	tera	T	10^{12}
	giga	G	10^9
	mega	M	10^6
	kilo	K	10^3
	hecta	H	10^2
	deca	D	10^1
Unidad			$10^0=1$
Submúltiplos	deci	d	10^{-1}
	centi	c	10^{-2}
	mili	m	10^{-3}
	micro	μ	10^{-6}
	nano	n	10^{-9}
	pico	p	10^{-12}
	fento	f	10^{-15}
	atto	a	10^{-18}

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)

Establece la utilización del espectro radioeléctrico conforme al reglamento RRUIT. El uso del espectro electromagnético dependerá de los usos que se hayan definido en cada país para determinadas bandas o márgenes de frecuencias.

Uno de los servicios contemplados por la CNAF es la radiodifusión sonora y de televisión, dirigida al público general, y otro será radiodifusión satélite.

Servicios de radiodifusión



En el esquema se puede apreciar que la TV analógica cesó su emisión, en el llamado **dividendo digital**, con el que se redujo el ancho de banda dedicado a servicios de radiodifusión gratuitos para ampliar la capacidad del ancho de banda de los servicios de pago que ofrecen los operadores móviles.

Canalización

Cada país tiene libertad para asignar bandas a los servicios de radiodifusión, lo que recibe el nombre de **canalización**. En España se utiliza la canalización normalizada denominada **canalización CCIR** (Consultative Comite for International Radio). Esta canalización se muestra a continuación en dos tablas.

Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)
Banda I (VHF)	2	47-54	50,5
	3	54-61	57,5
	4	61-68	64,5
Banda II	FM	87-108	---
Banda III (VHF)	5	174-181	177,5
	6	181-188	184,5
	7	188-195	191,5
	8	195-202	198,5
	9	202-209	205,5
	10	209-216	212,5
	11	216-223	219,5
	12	223-230	226,5

DAB: Radio digital

Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)	
Banda IV (UHF)	21	470-478	474	Banda V (UHF)	46	670-678	674	
	22	478-486	482		47	678-686	682	
	23	486-494	490		48	686-694	690	
	24	494-502	498		49	694-702	698	
	25	502-510	506		50	702-710	706	
	26	510-518	514		51	710-718	714	
	27	518-526	522		52	718-726	722	
	28	526-534	530		53	726-734	730	
	29	534-542	538		54	734-742	738	
	30	542-550	546		55	742-750	746	
	31	550-558	554		56	750-758	754	
	32	558-566	562		57	758-766	762	
	33	566-574	570		58	766-774	770	
	34	574-582	578		59	774-782	778	
	35	582-590	586		60	782-790	786	
	Banda V (UHF)	36	590-598		594	61	790-798	794
		37	598-606		602	62	798-806	802
38		606-614	610	63	806-814	810		
39		614-622	618	64	814-822	818		
40		622-630	626	65	822-830	826		
41		630-638	634	66	830-838	834		
42		638-646	642	67	838-846	842		
43		646-654	650	68	846-854	850		
44		654-662	658	69	854-862	858		
45		662-670	666	---	---	---		

Canales no utilizados por TDT tras el segundo dividendo digital de 2020

Estándares Digital Video Broadcasting (DVB)

Define las técnicas de detección y corrección de errores para señales de vídeo, y en función del medio de transmisión se diferencian:

- **DVB-T:** Televisión terrestre
- **DVB-S:** Televisión Satélite
- **DVB-C:** Televisión por cable

Estándar	DVB-S	DVB-T	DVB-C
Codificación de vídeo	MPEG-2		
Codificación de audio	MPEG-1 (Capa 2)/ MPEG-2 audio		
Codificador de errores externo	Reed – Solomon		
Entrelazado	Sí	Sí	Sí
Codificador de errores interno	Codificación convolucional		---
Modulación	QPSK	COFDM	QAM-16 a QAM-64
BW Canal	27-36 MHz	8 MHz	8 MHz

Unidades utilizadas en sistemas de telecomunicación

Los sistemas de telecomunicaciones usan una serie de unidades y magnitudes para la realización de medidas a lo largo del sistema de comunicación, para cuantificar la calidad de la señal.

Ganancia

La **ganancia** es un concepto fundamental en telecomunicaciones, que en función de la unidad en la que nos estemos manejando, se puede hablar de ganancia de tensión, de potencia o de corriente.

- **Ganancia de potencia (G_p):** se define como la relación entre la potencia a la salida de un sistema (P_o) y la potencia a la entrada del sistema (P_i).
- **Ganancia de tensión (G_v):** relación entre la tensión a la salida de un sistema (V_o) y la tensión a la entrada del sistema (V_i).
- **Ganancia de corriente (G_i):** relación entre la corriente a la salida de un sistema (I_o) y la corriente a la entrada del sistema (I_i).

Atenuación

La atenuación (L) indica una ganancia menor que la unidad. En el caso de que una señal se atenúe, significa que la señal de salida de un sistema es menor (en potencia, corriente o tensión) que la de la entrada.

Se define como la inversa de la ganancia CUANDO SE HABLA EN MAGNITUDES LINEALES.

$$L = \frac{1}{G}$$

NOTA: tanto la ganancia como la atenuación, hablando en magnitudes lineales, son adimensionales, es decir, no tienen unidad.

El decibelio (dB)

El decibelio es una unidad logarítmica que se utiliza en telecomunicaciones en lugar de otras magnitudes lineales. Las ventajas del uso del decibelio son:

- Manejo de cantidades numéricas más sencillas. En telecomunicaciones, a veces, se utilizan en un mismo sistema rangos de amplitudes grandes, con el uso del dB ese rango se minimiza.
- La respuesta de los dispositivos se convierte en algo lineal cuando se opera con dB.

El dB se usa como una relación de potencias, tensiones o corrientes. Para expresar ganancias en la unidad logarítmica dB habrá que aplicar una expresión matemática.

Ganancia en potencia:

$$G(dB) = 10 \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right)$$

Ganancia en tensión:

$$G(dB) = 20 \log \left(\frac{V_o}{V_i} \right)$$

El decibelio también puede referenciar un nivel de potencia o un nivel de tensión, para lo que se necesitará un **nivel de referencia**, es decir, una unidad de potencia o tensión que hará de unidad de referencia.

Aplicando esto anterior, se tienen algunas unidades habituales en telecomunicaciones:

- **dBw**: Nivel de potencia que tiene como referencia 1 wattio (w)

$$P(dBw) = 10 \log \left(\frac{P(w)}{1 w} \right)$$

- **dBm**: Nivel de potencia que tiene como referencia 1 miliwattio (mw)

$$P(dBm) = 10 \log \left(\frac{P(mw)}{1 mw} \right) = 10 \log \left(\frac{P(w)}{0'001 w} \right)$$

- **dBμV**: Nivel de tensión que tiene como referencia 1 microvoltio (μw). Esta unidad es la utilizada a la hora de medir niveles de señal en instalaciones de televisión.

$$V(dBμV) = 20 \log \left(\frac{V(μw)}{1 μw} \right) = 20 \log \left(\frac{V(v)}{1 \cdot 10^{-6} v} \right)$$

IMPORTANTE: La diferencia principal entre las unidades logarítmicas (dB) y las lineales es que a los dB tienen una relación sumatoria, mientras que las magnitudes lineales tienen relación multiplicativa. De esta manera, se puede definir la ganancia entre dos puntos de una instalación en dB como:

$$G(dB) = V_o(dBμV) - V_i(dBμV)$$

Ruido

Se define **ruido** como toda señal no deseada que se mezcla con la señal que transporta la información de valor.

Todos los dispositivos que intervienen en un sistema de comunicaciones introducen ruido en mayor o menor medida

Relación portadora-ruido

Es una magnitud que sirve para evaluar la calidad de una comunicación. La relación portadora-ruido se nombra como C/N, se expresa por lo general en dB y es la relación entre el nivel de potencia/tensión de la señal útil y la potencia/tensión de ruido. Muchas veces se utiliza indistintamente esta magnitud y la relación señal-ruido (S/N).

En función de si estamos hallando las magnitudes en lineal o en logarítmico los cálculos se harán de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N} = \frac{S}{N}$$

$$S/N(dB) = 20 \log\left(\frac{S}{N}\right) = S(dB\mu V) - N(dB\mu V)$$

$$S/N(dB) = 10 \log\left(\frac{S}{N}\right) = S(dBw) - N(dBw)$$

Figura de ruido (F)

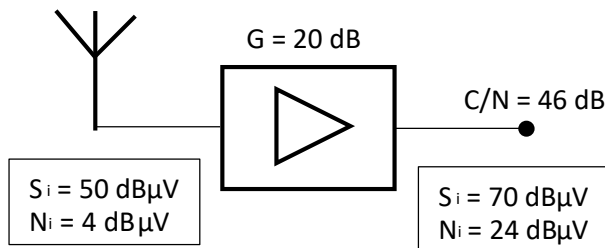
Todo dispositivo electrónico introduce ruido en un sistema, disminuyendo la relación señal a ruido, es decir, empeorando la calidad.

En un amplificador la ganancia amplifica tanto la señal de información como la señal de ruido, pero la figura de ruido solo aumenta la potencia de ruido.

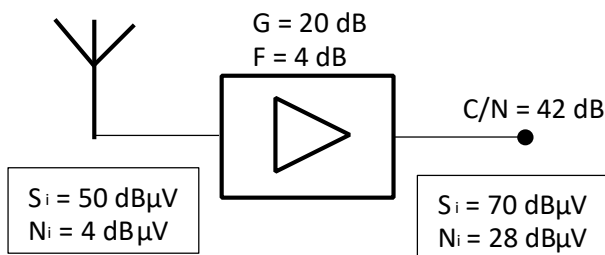
Para la evaluación del ruido que introduce un dispositivo se define la **figura de ruido (F)**, que indica el nivel de ruido adicional que va a añadir el dispositivo.

Por lo general, la figura de ruido se expresa en dB, aunque tiene su término equivalente en unidades lineales, denominado **factor de ruido**.

Amplificador ideal



Amplificador real:



Otras medidas de calidad

Tipo de señal	TV analógica	TV digital
Cantidad	Nivel (dB μ V) Análisis de espectro	Nivel (dB μ V) Análisis del espectro
Calidad	<i>C/N</i> (dB) <i>A/V</i> (dB) Imagen (subjetivo)	<i>C/N</i> (dB) BER, VBER MER (dB) Constelación (subjetivo)