

TEMA 1: ELECTRÓNICA DAS RADIOCOMUNICACIÓNS.

CONTIDOS:

1.1.	CONCEPTOS PREVIOS	2
1.1.1.	NOTACIÓN CIENTÍFICA	2
1.1.2.	O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	3
1.1.3.	PREFIXOS DO SISTEMA INTERNACIONAL	4
1.1.4.	MEDIDA DE ÁNGULOS	5
1.2.	MAGNITUDES BÁSICAS	8
1.2.1.	DIFERENZA DE POTENCIAL OU TENSIÓN ELÉCTRICA	8
1.2.2.	CARGA ELÉCTRICA E CORRENTE ELÉCTRICA (INTENSIDADE DE CORRENTE)	9
1.2.3.	ENERXÍA ELÉCTRICA	9
1.2.4.	POTENCIA	10
1.3.	Os SINAIS ELÉCTRICOS	11
1.3.1.	CARACTERÍSTICAS COMÚNS	11
1.3.2.	SINAIS DE PROBA	15
1.4.	ELECTRÓNICA DE SINAIS	19
1.5.	ESPECTROS. REPRESENTACIÓN DE SINAIS EN FRECUENCIA	21
1.5.1.	ESPECTROS DE SINAIS PERIÓDICOS	22
1.5.2.	ESPECTROS DE SINAIS NON PERIÓDICOS	23
1.5.3.	ANCHO DE BANDA	24
1.5.4.	MEDIDA DE ESPECTROS	25
1.5.5.	TEOREMA DE SUPERPOSICIÓN E CONSECUENCIAS	25
1.6.	FILTROS	26
1.6.1.	TIPOS DE FILTROS	27
1.7.	Os LOGARITMOS E O SEU USO EN ELECTRÓNICA	28
1.8.	O DECIBELIO (dB)	32
1.8.1.	GANANCIA	32
1.8.2.	DEFINICIÓN DE DECIBELIO	32
1.8.3.	GANANCIA EN POTENCIA EN DECIBELIOS	33
1.8.4.	GANANCIA DE TENSIÓN E INTENSIDADE EN DECIBELIOS	33
1.8.5.	MEDIDAS ABSOLUTAS EN DECIBELIOS	34
1.8.6.	VANTAXES DE EMPREGAR DECIBELIOS	34

1.1. CONCEPTOS PREVIOS

1.1.1. NOTACIÓN CIENTÍFICA

A notación científica é unha maneira rápida de representar un número empregando potencias de base dez. Esta notación emprégase para poder expresar facilmente números moi grandes ou moi pequenos.

Os números escríbense coma un produto:

$$a \cdot 10^n$$

sendo:

a - Un número decimal

n - Un número enteiro, que recibe o nome de expoñente.

$$10^5 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 100.000, \text{ xa que logo, } 56 \cdot 10^5 = 56 \cdot 100.000 = 5.600.000$$

$$\text{do mesmo xeito } 1,3 \cdot 10^3 = 1300$$

A notación decimal á que estamos afeitos non serve cando nos atopamos con números moi grandes ou moi pequenos, exemplos:

A distancia aos confíns observables do universo é $4,6 \times 10^{26} \text{m}$ e a masa do sol é de $1,9891 \times 10^{30} \text{kg}$. Proba a escribir algunha de estas cantidades en notación decimal, xa verás o divertido que é...

$$1,56234 \times 10^{29} = 156.234.000.000.000.000.000.000.000$$

Nos non imos traballar con estas cantidades pero si con outras similares, por exemplo a frecuencia na que traballan as redes WiFi 802.11b/g é de $2,4 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ (Herzios).

Nas cantidades extremadamente pequenas sucede algo similar; a masa do protón, por exemplo, é $1,67 \times 10^{-27} \text{kg}$.

10 elevado a unha potencia enteira negativa ($-n$) é igual a $1/10^n$, así:

$$10^{-1} = 1/10 = 0,1$$

$$10^{-3} = 1/1.000 = 0,001$$

$$10^{-9} = 1/1.000.000.000 = 0,000\ 000\ 001$$

Nota sobre as calculadoras *Casio* sen *Natural display* (por exemplo *fx-82*):

Cando na pantalla aparece  significa $8,97 \cdot 10^{-1}$.

Cando quero introducir na calculadora a cantidade $2,34 \cdot 10^8$ a secuencia de teclas a empregar é 2 . 3 4 EXP 8 ;xa que a tecla EXP leva implícito o $\cdot 10^x$.

1.1.2. O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

O **Sistema Internacional de unidades**, abreviado como **SI** ou **SIU**, é o nome adoptado pola XI Conferencia Xeral de Pesas e Medidas (celebrada en París en 1960) para un sistema de unidades de medida **universal**, unificado e **coherente**.

Que o sistema internacional é **coherente** quere dicir que se empregamos nunha fórmula unidades do sistema internacional o resultado obtido terá tamén unidades do sistema internacional.

As unidades do sistema internacional que nos empregaremos son:

Magnitude	Nome da unidade	Símbolo
Tensión	Voltio	V
Intensidade de corrente	Amperio	A
Enerxía	Joule (Xulio)	J
Potencia	Vatio	W
Tempo	Segundo	S
Resistencia	Ohmio	Ω
Capacidade	Faradio	F
Coeficiente de autoindución	Henrio	H
Frecuencia	Hertz (Hercio)	Hz
Lonxitude	Metro	m
Superficie	Metro cadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³

1.1.3. PREFIXOS DO SISTEMA INTERNACIONAL

En realidade traballar sempre con potencias de 10 tampouco resulta práctico, por este motivo se empregan os prefixos:

10^n	Prefixo	Símbolo	Escala curta	Escala longa	Equivalente decimal
10^{15}	peta	P	Cuadrillón	Millar de billón	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	Trillón	Billón	1 000 000 000 000
10^9	xiga	G	Billón	Millar de millón	1 000 000 000
10^6	mega	M	Millón	Millón	1 000 000
10^3	quilo	k	Millar	Millar	1 000
10^2	hecto	h	Centena	Centena	100
10^1	deca	da	Decena	Decena	10
10^0	<i>ningún</i>	<i>ningún</i>	Unidade	Unidade	1
10^{-1}	deci	d	Décimo	Décimo	0,1
10^{-2}	centi	c	Centésimo	Centésimo	0,01
10^{-3}	mili	m	Milésimo	Milésimo	0,001
10^{-6}	micro	μ (u) (*)	Millonésimo	Millonésimo	0,000 001
10^{-9}	nano	n	Billonésimo	Milésimo de millonésimo	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	Trillonésimo	Billonésimo	0,000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	Cuadrillonésimo	Milésimo de billonésimo	0,000 000 000 000 001

* Pode ser escrito como 'u' se o 'μ' non estiver dispoñíbel, como en '10uF'

Deste xeito poden expresarse as cantidades dun xeito máis conveniente para nos, por exemplo:

2,4 GHz (GigaHercios) son $2,4 \cdot 10^9$ Hz e, polo tanto, 2.400.000.000 Hercios.

2 μ A (microAmperios) son $2 \cdot 10^{-6}$ A e, polo tanto, 0,000002 Amperios.

1,5 pF (picoFaradios) son $1,5 \cdot 10^{-12}$ F e, polo tanto, 0,0000000000015 Faradios.

1.1.4. MEDIDA DE ÁNGULOS.

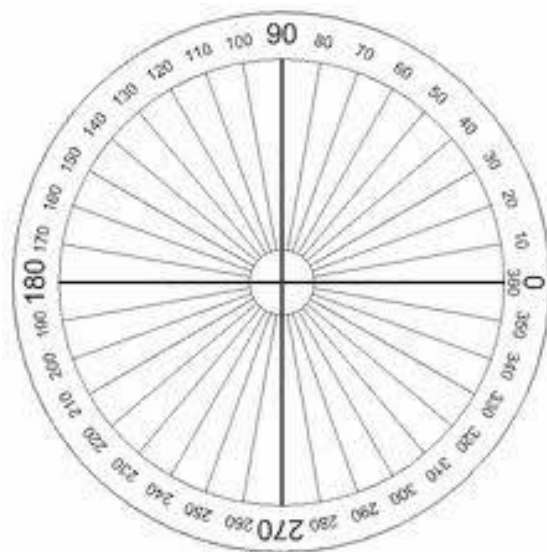
As dúas unidades fundamentais para a medida de ángulos son os graos sexagesimais e os radiáns. Inda que os radiáns son a unidade máis natural para a medida de ángulos empréganse máis frecuentemente os graos sexagesimais.

Os graos sexagesimais

O grao sexagesimal está definido partindo de que un ángulo recto ten 90° (90 graos sexagesimais), e as súas divisións, o minuto sexagesimal e o segundo sexagesimal, están definidos do seguinte modo:

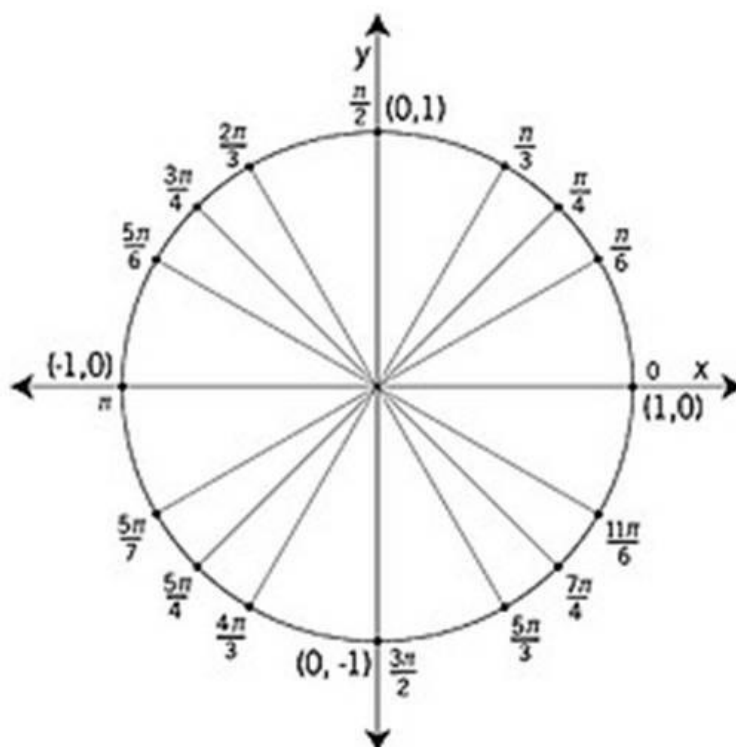
- ✓ 1 grao sexagesimal = $60'$ (minutos sexagesimais).
- ✓ 1 minuto sexagesimal = $60''$ (segundos sexagesimais).

É unha práctica habitual expresar os ángulos empregando un número decimal de graos en lugar de empregar minutos e segundos. ($60^\circ 30' = 60,5^\circ$)



Os radiáns

O **radián** é a unidade de ángulo do Sistema Internacional de Unidades. Sabemos que a lonxitude dunha circunferencia completa é de $2 \cdot \pi \cdot R$. Nunha circunferencia de radio 1 a lonxitude será $2 \cdot \pi$. O valor dun ángulo en radiáns é a lonxitude do arco que delimita o ángulo nunha circunferencia de radio 1 coa orixe no vertixe do ángulo. O seu símbolo é **rad**.



1.1.5. CONVERSIONS ENTRE UNIDADES DE ÁNGULOS

Conversiones de graos, minutos e segundos a graos

Todas as calculadoras científicas teñen un botón similar ou igual a este: . Se introducimos na pantalla unha cifra e logo prememos esta tecla informamos á calculadora que a cifra introducida é un ángulo en graos. Se introducimos unha segunda cifra e volvemos pulsar esta tecla, a calculadora interpretaraa como os minutos do mesmo ángulo. Do mesmo xeito se introducimos unha terceira cifra e novamente prememos a tecla a calculadora interpretará a cifra coma os segundos do mesmo ángulo. Ao final do proceso, dependendo do modelo é posible que haxa que premer o botón '=' seguido do botón da figura unha vez máis, aparecerá na pantalla o ángulo expresado como un número decimal de graos.

Conversiones de graos a graos, minutos e segundos

Cando na pantalla aparece un ángulo expresado como un número decimal de graos bastará con premer a tecla 'SHIFT' seguida da mesma tecla que empregamos para introducir os ángulos en graos minutos e segundos.

Conversión de graos a radiáns.

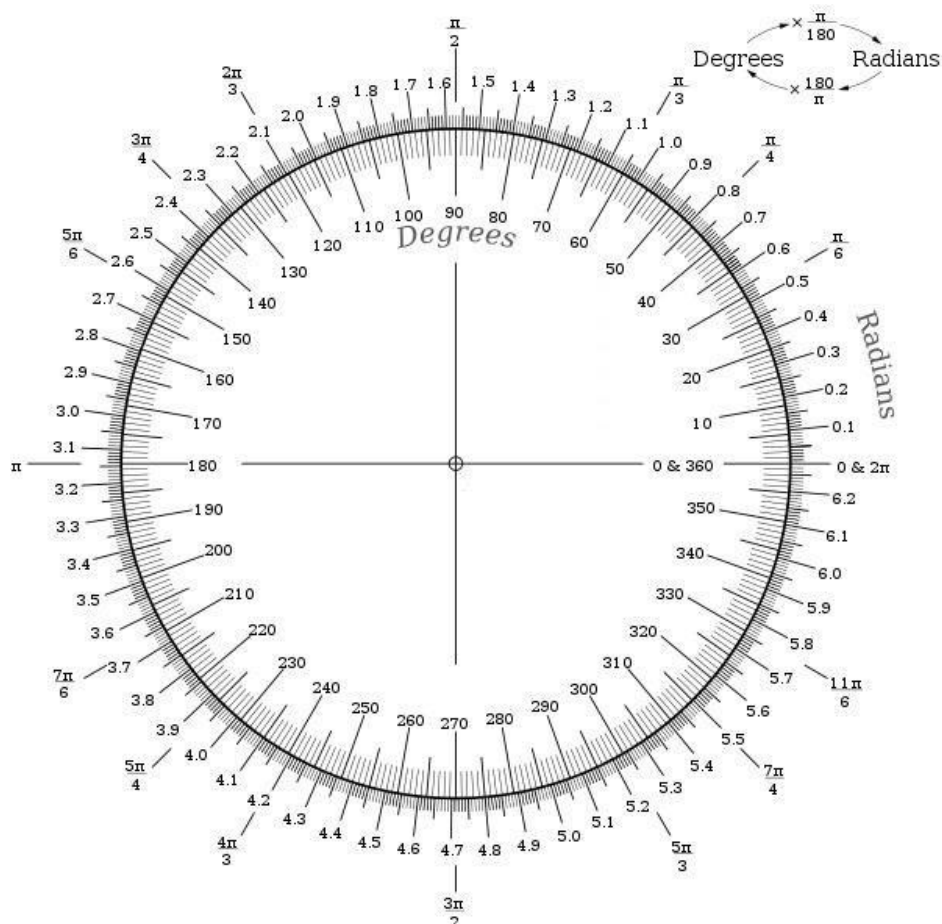
Neste caso bastará con empregar un factor de conversión xa que sabemos que 180° equivalen exactamente a π rad. Así simplemente bastará con multiplicar a cantidade en graos polo factor $\frac{\pi \text{ rad.}}{180^\circ}$.

Así, por exemplo, $230,45^\circ$ serán $230,45^\circ \cdot \frac{\pi \text{ rad.}}{180^\circ} = 1,28 \cdot \pi \text{ rad.} = 4,02 \text{ rad.}$

Conversión de radiáns a graos.

Ao igual que no caso anterior bastará con empregar un factor de conversión, neste caso o inverso ao do apartado anterior. Así simplemente bastará con multiplicar a cantidade en graos polo factor $\frac{180^\circ}{\pi \text{ rad.}}$.

Así, por exemplo, $5,35 \text{ rad.}$ serán $5,35 \text{ rad.} \cdot \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad.}} = 306,53^\circ$.



1.2. MAGNITUDES BÁSICAS

1.2.1. DIFERENZA DE POTENCIAL OU TENSIÓN ELÉCTRICA.

O potencial eléctrico representa a enerxía que posúe unha unidade de carga ao atoparse nun punto. Así, as cargas móvense espontaneamente de uns potenciais a outros de xeito que a súa enerxía diminúa.

O mellor exemplo é pensar na gravidade na terra: O potencial gravitatorio está relacionado coa altura; así os obxectos con masa caemos espontaneamente dende os puntos máis altos a os máis baixos xa que nos máis baixos temos menos enerxía potencial gravitatoria. Do mesmo xeito as cargas eléctricas positivas vense empurradas a caer dende potenciais altos a potenciais baixos.

A tensión eléctrica ou ddp é a diferenza de potencial eléctrico entre dous puntos. A súa unidade de medida no S.I. é o Voltio, en homenaxe Alessandro Volta.

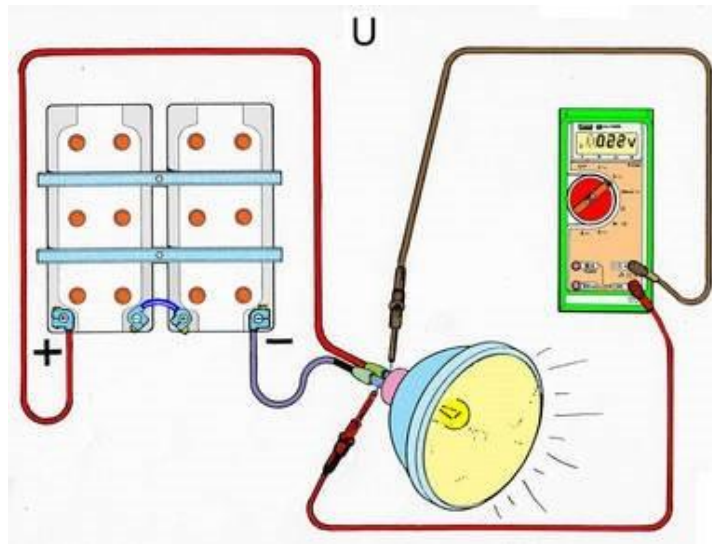
Coidado!! - As tensións eléctricas son sempre medidas relativas, é dicir, sempre falaremos de que un punto está a 10 V respecto de outro do mesmo xeito que cando falamos da altura dunha cidade dámola con respecto ao mar ou respecto a outra cidade e non en termos absolutos.

O convenio positivo, aplicado ao voltaxe, oblíganos a considerar mais alto o voltaxe dun punto onde predominen as cargas positivas e mais baixo o de outro onde predominen as cargas negativas. En xera, temos que:

$$V_{AB} = V_A - V_B = - V_{BA} = - (V_B - V_A)$$

É dicir, unha soa letra maiúscula de subíndice A (V_A) designa o potencial do punto designado por dito subíndice; es dúas letras (V_{AB}) a diferenza de potencial ou voltaxe entre ambos puntos.

Para medir a tensión eléctrica teremos que conectar un aparello **entre os dous puntos** entre os que queremos determinar a tensión. Este aparello é o voltímetro/polímetro. Ou no caso de que desexemos ver como varía a tensión co tempo de xeito gráfico, o osciloscopio.



1.2.2. CARGA ELÉCTRICA E CORRENTE ELÉCTRICA (INTENSIDADE DE CORRENTE)

A **carga eléctrica** (Q) é a magnitude mais elemental na análise de circuitos eléctricos. Pode ser positiva ou negativa e a súa unidade no S.I é o Culombio, que é un múltiplo do electrón, a carga negativa elemental. O seu valor é $e = - 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

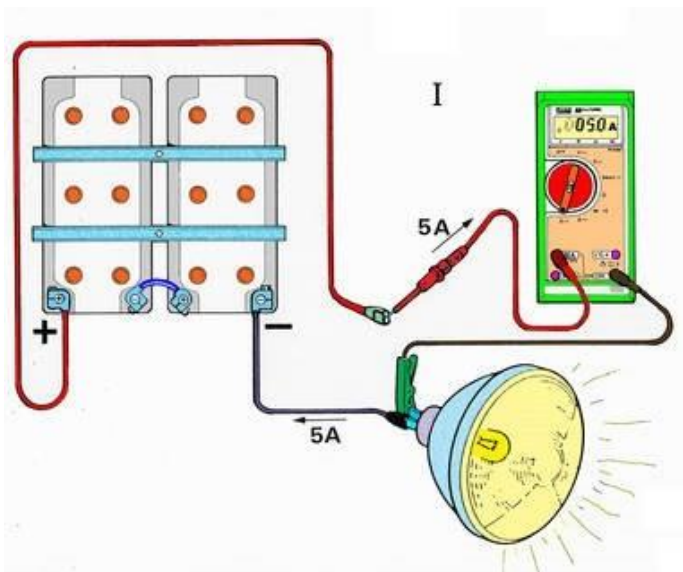
A **corrente eléctrica** é o fluxo de calquera carga eléctrica. Para nós na electrónica a corrente é o fluxo de electróns a través dun condutor eléctrico.

A intensidade de **corrente (I)** é a cantidade de carga que atravesa unha sección recta do devandito condutor por unidade de tempo. A unidade de medida de intensidade de corrente no S.I. é o Amperio (A) en homenaxe a André Marie Ampère.

$$I = Q/T$$

$$1\text{A} = 1 \text{ C/S}$$

Para medir a corrente eléctrica teremos que conectar un aparello **intercalado no punto no que queremos** determinar a intensidade de corrente.



1.2.3. ENERXÍA ELÉCTRICA

Toda a materia coñecida contén cargas negativas e cargas positivas, normalmente nun estado de equilibrio eléctrico; o que supón que haxa igual número de cargas dun signo que do outro (electróns e protóns; ions negativos e positivos) que se neutralizan mutuamente.

É sabido que as cargas de igual signo repélense e as de distinto signo atraénsen. Os xeradores eléctricos ou “fontes” empregan enerxía “non eléctrica” para separar as cargas da súa posición de equilibrio inicial, forzando a acumulación de cargas positivas nun terminal do xerador e de cargas negativas no outro. A situación provocada é inestable e tende a recuperar o seu estado inicial. Cando o fai a través dun circuito, prodúcese unha corrente eléctrica e as cargas devolven a enerxía non eléctrica que se empregou para alteralas. Esa enerxía que devolven é a “enerxía eléctrica”.

A unidade de medida de enerxía no S.I. é o Joule, de símbolo J, en homenaxe a James Prescott Joule. Outras unidade de enerxía importantes en electricidade/electrónica son a caloría (cal), a frigoría(fg) e o kilovatio hora(kW·h).

$$1 \text{ cal.} = 4,18 \text{ J.}$$

$$1 \text{ fg.} = 4.180 \text{ J.} = 4,18 \text{ kJ.}$$

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3.600.000 \text{ J.} = 3,6 \text{ MJ.}$$

1.2.4. POTENCIA

A **potencia** é a enerxía intercambiada por unidade de tempo. Matematicamente, exprésase:

$$P = \frac{E}{t}$$

A potencia danos unha idea da rapidez coa que se producen os cambios de enerxía. Non é aplicable cando non hay intercambio de enerxía. Por outra parte, unha mesma cantidade de enerxía pode dar lugar a procesos de moi diferente potencia. Por exemplo, consumimos a mesma enerxía eléctrica da batería dun automóbil nuns segundos intentando arrancar o motor que en varias semanas usando tan so a radio.

A unidade de medida de potencia no S.I é o Vatio. Se un dispositivo intercambia 1 xulio cada segundo, está actuando cunha potencia de 1 W.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / 1 \text{ S}$$

Nos circuitos eléctricos podemos calcular a potencia consumida ou cedida por un elemento se coñecemos o voltaxe entre os seus terminales e a intensidade que circula polo mesmo:

$$P = V \cdot I$$

De maneira que tamén é certo que $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$.

1.3. OS SINAIS ELÉCTRICOS

Entenderemos por sinal eléctrico unha magnitude eléctrica cuxo valor depende do tempo. Así, $v(t)$ é unha tensión cuxa amplitude depende do tempo e $i(t)$ é unha corrente cunha intensidade que depende do tempo. Polo xeral désígnase a palabra sinal para referirse a magnitudes que varían dalgunha forma no tempo. Interpretaremos ás magnitudes constantes como casos particulares de sinais.

1.3.1. CARACTERÍSTICAS COMÚNS

Sinais constantes e variantes

Como o seu nome indica, os sinais constantes son aquelas que non varían no tempo. Tal é o caso da voltaxe en bornes dunha batería. A súa representación gráfica é por tanto unha liña recta horizontal.

Os sinais variantes son aquelas que cambian o seu valor dalgunha maneira no tempo.

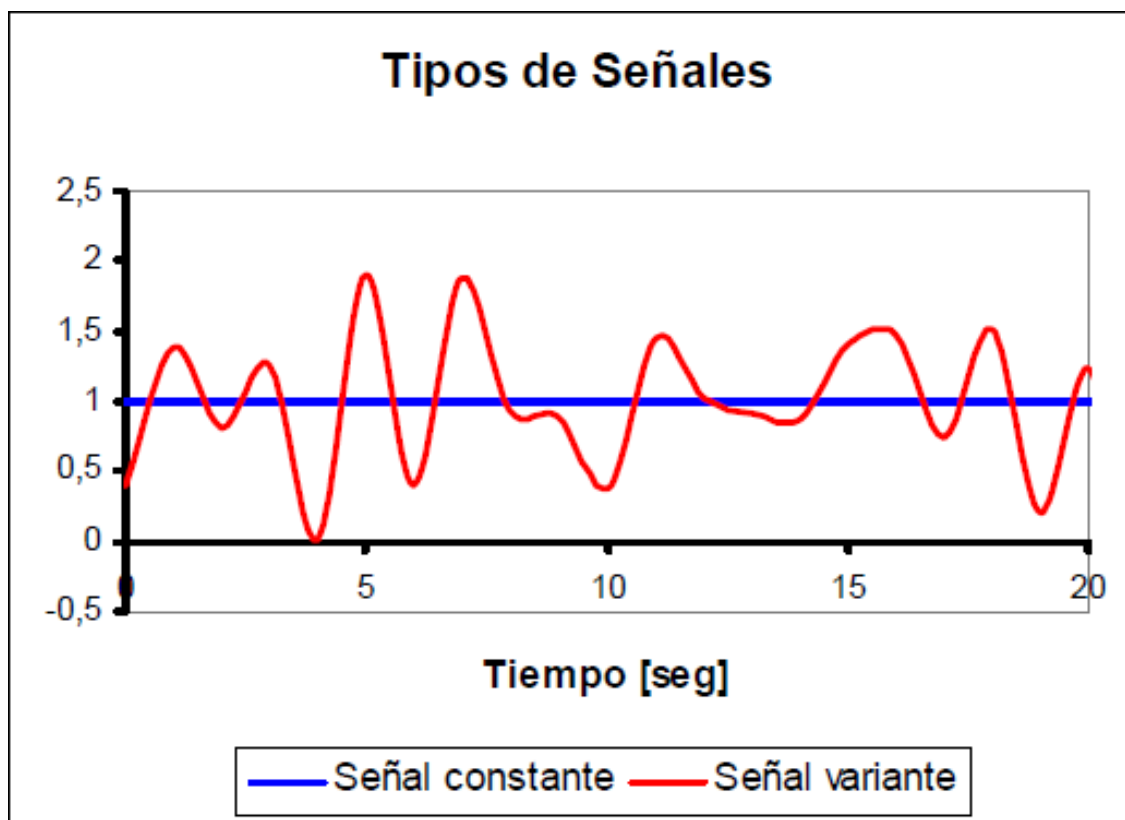


Figura 1

Sinais continuos e alternos

Os sinais continuos son aquelas que sempre teñen o mesmo signo, é dicir, son sempre positivas ou nulas, ou sempre negativas ou nulas. No caso dunha corrente, isto significa que a mesma sempre circulará no mesmo sentido, aínda que poida variar a súa intensidade. Se o sinal é de voltaxe, debe interpretarse que a fonte tenta forzar a circulación de corrente sempre no mesmo sentido, aínda que poida variar a súa forza. Un sinal continuo, entón, pode ou non ser constante. Os sinais da figura 1 son ambos sinais continuos, aínda que un sexa variante. É habitual confundir continuo con constante pero isto non é correcto.

Os sinais alternos son aquelas que, pola contra ás continuas, varían o signo da súa magnitude. Un sinal alterno nunca pode ser constante.

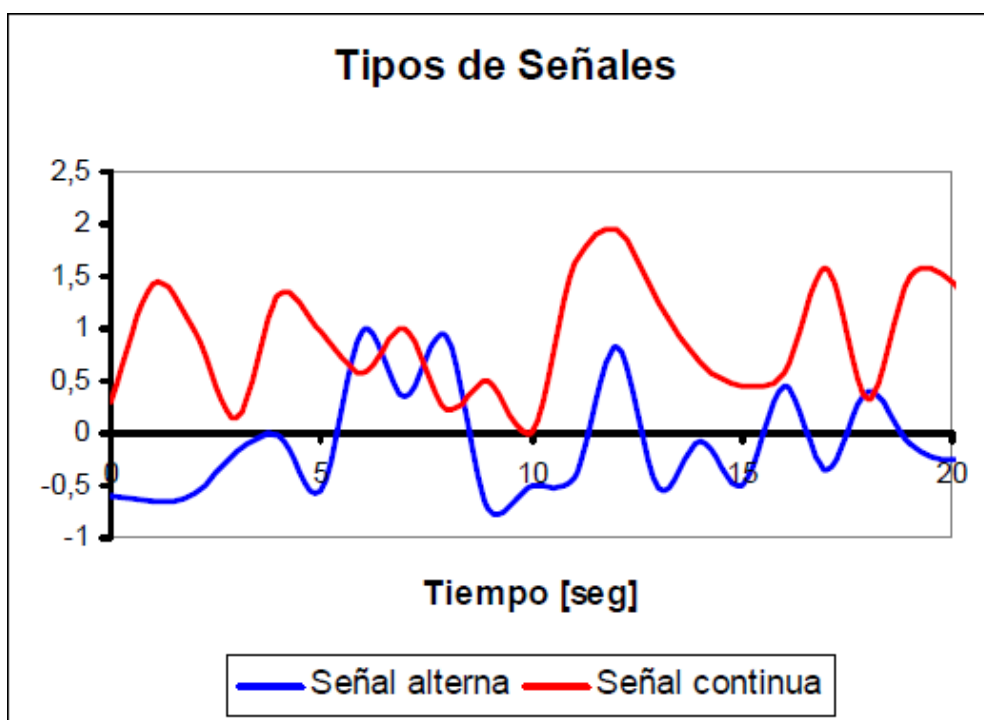


Figura 2

Sinais periódicos

Os sinais periódicos son aqueles aos que se lles pode atopar un patrón de repetición. É dicir, que despois dun determinado tempo, volven repetirse un a un os valores anteriores unha e outra vez. A este patrón que se repite recoñécello como **ciclo** da onda. O tempo que dura un ciclo denomínase **período**, e por suposto, mídese en unidades de tempo, no SI en segundos.

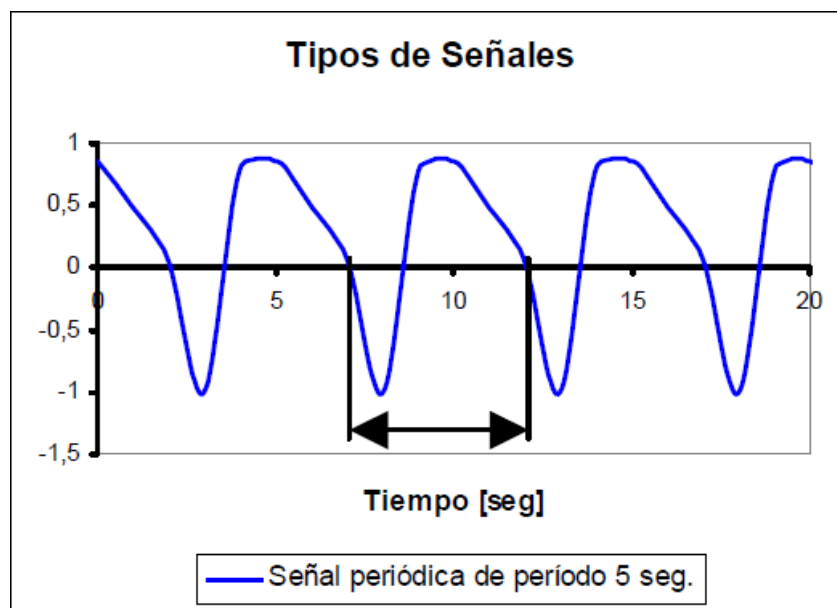


Figura 3

Denomínase **frecuencia** (f) do sinal á cantidade de ciclos que poden desenvolverse nun segundo. Mídese en ciclos por segundo Herzios ou Hertz, abreviado, Hz. A relación existente entre frecuencia e período dun sinal é:

$$f = 1/T.$$

A pulsación ou frecuencia angular (ω) é a frecuencia expresada en radiáns por segundo. Como unha volta completa ou ciclo equivale a $2\cdot\pi$ radiáns a pulsación calcúlase como $\omega = 2\cdot\pi\cdot f$ e mídese en rad/s.

Os sinais aperiódicos son aqueles aos cales é imposible definir-lles un ciclo. Polo xeral son sinais aleatorios, como poden ser os sinais de audio. Os sinais variantes das figuras 1 e 2 son sinais aperiódicos.

Características particulares dos sinais periódicos

Pódense definir parámetros que identifican a un sinal periódico:

Amplitude de pico: é o valor máximo que ten un sinal, considerada desde o '0'.

Amplitude pico a pico: é a diferenza entre o valor máximo e o valor mínimo dun sinal.

Valor eficaz: é o valor equivalente ao dun sinal continuo constante capaz de desenvolver a mesma potencia que o sinal periódico sobre unha carga resistiva.

Valor medio: é a media de todos os valores dun sinal tomados nun ciclo. Para sinais simétricos como a sinusoidal, o valor medio é nulo.

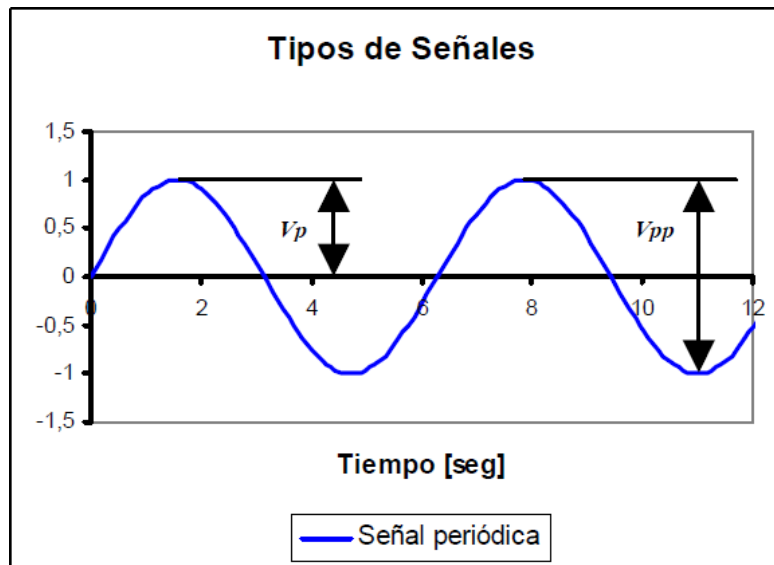


Figura 4

Desfasamento: cando un sinal é comparado cun sinal de referencia, é posible observar un desprazamento horizontal; denomínase ángulo de desfasamento ou simplemente desfasamento ao valor deste desprazamento medido en graos sexaxesimais ou en radiáns. Ás veces este desfasamento tamén se mide en unidades de tempo.

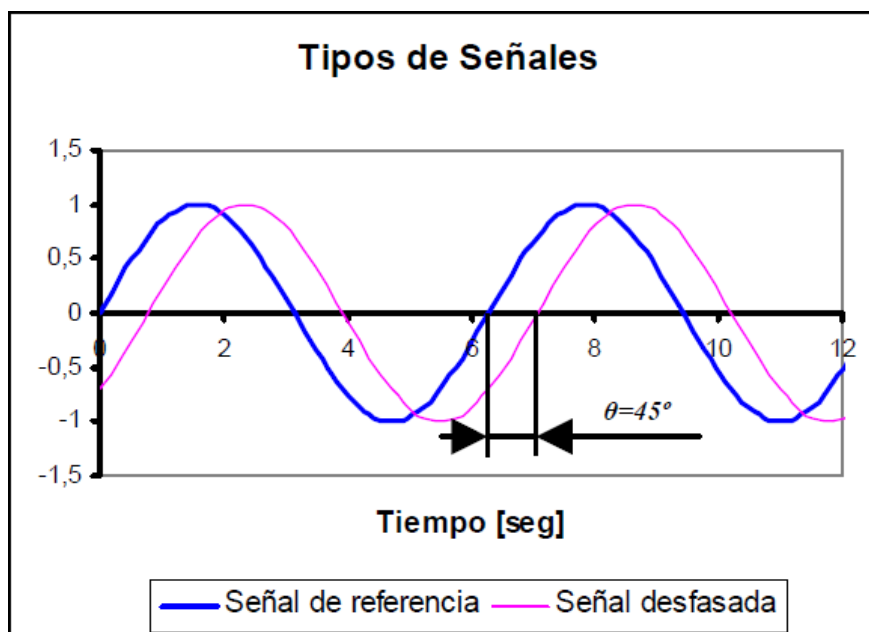


Figura 5

O desfaseamento pode ser en adianto, se o desprazamento é cara á esquerda, ou en atraso, se o desprazamento é cara á dereita da referencia. Pensemos que as cousas que suceden mais á dereita nun diagrama temporal suceden máis tarde, é dicir con retraso.

1.3.2. SINAIS DE PROBA

Sinal sinusoidal

O sinal sinusoidal é a máis común dos sinais de proba. É alterna e periódica. Para ela son válidas todas as definicións anteriores.

Como se aprecia na figura 6, ambos os semiciclos son idénticos, variando só no signo. Isto provoca que o seu valor medio sexa nulo.

O sinal que comeza en 0 no instante $t = 0$ denomínase seno.

Se a un sinal seno desfasámolo 90° en adianto obtense un novo sinal denominado coseno. Dise que ambas se atopan en cuadratura.

Se a un sinal seno desfasámolo 180° en adianto ou atraso obtense o sinal menos seno. Dise que ambas se atopan en oposición de fase.

Se a un sinal seno desfasámolo 90° en atraso obtense o sinal menos coseno.

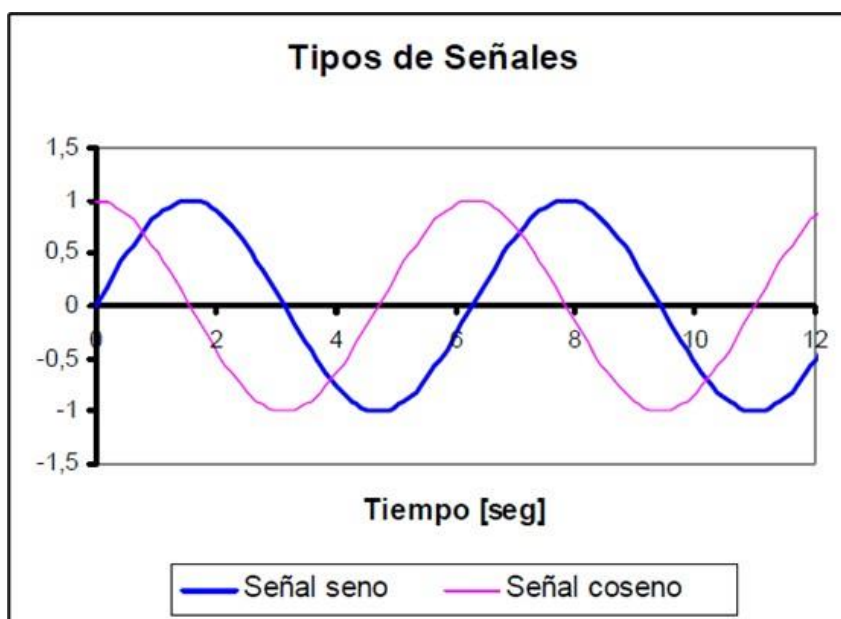


Figura 6

A relación existente entre o valor de pico e o valor eficaz dun sinal sinusoidal é sempre o mesmo e garda a seguinte relación:

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

Así, o sinal de voltaxe da rede eléctrica rede ten un valor eficaz de 220V e, por tanto, un valor de pico de 311V.

As expresións matemáticas para os sinais seno e coseno son as seguintes:

$$V(t) = V_p \cdot \sin(\omega \cdot t) = V_p \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

$$V(t) = V_p \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi/2) = V_p \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \pi/2) = V_p \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Onde V_p é o valor de pico, f a frecuencia e $\pi/2$ representa o desfaseamento medido en radiáns. É moi común suplantar este último valor polo seu equivalente en sexagesimal (90°), aínda que non é matematicamente correcto xa que estaríamos a sumar radiáns ($\omega \cdot t$) con graos. Os argumentos das funcións anteriores sempre deben estar expresados en radiáns.

Como exemplo, o sinal desfasada da figura 5 ten un atraso de 45° :

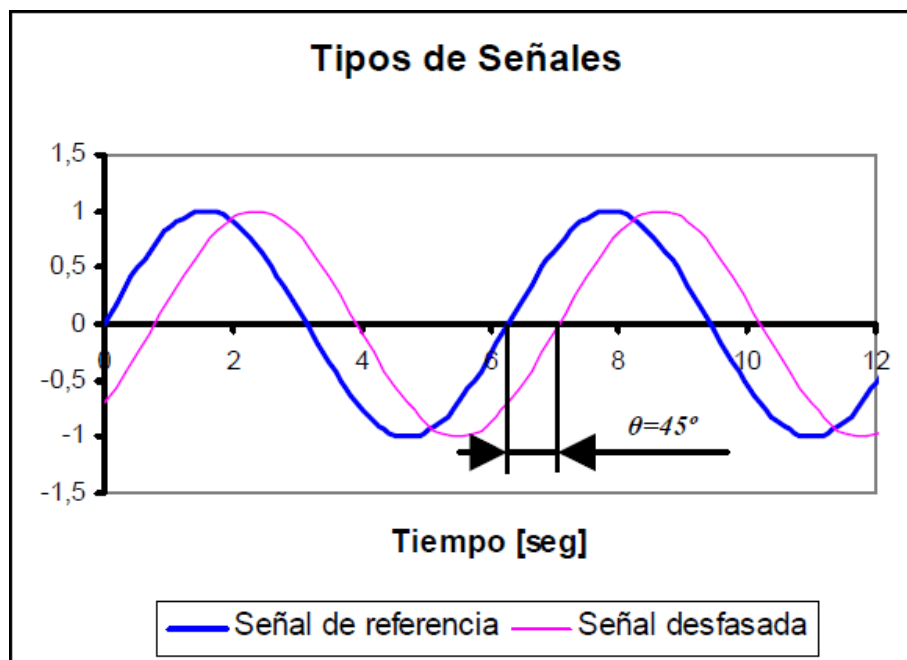


Figura 5

Matematicamente este sinal será representado como:

$$V(t) = 1 \cdot \text{sen}(w \cdot t - 45^\circ) \text{ V.}$$

O signo menos dentro do argumento da función seno indica o atraso respecto ao sinal $\text{sen}(w \cdot t)$.

Sinal rectangular e cadrado

O sinal rectangular é moi empregado para realizar determinadas medicións, e implementar controis en sistemas de conmutación. Caracterízase por ter soamente dous valores posibles. Pódese definir amplitude, período, frecuencia e o desfasamento entre dous sinais das mesmas características desprazadas no tempo.

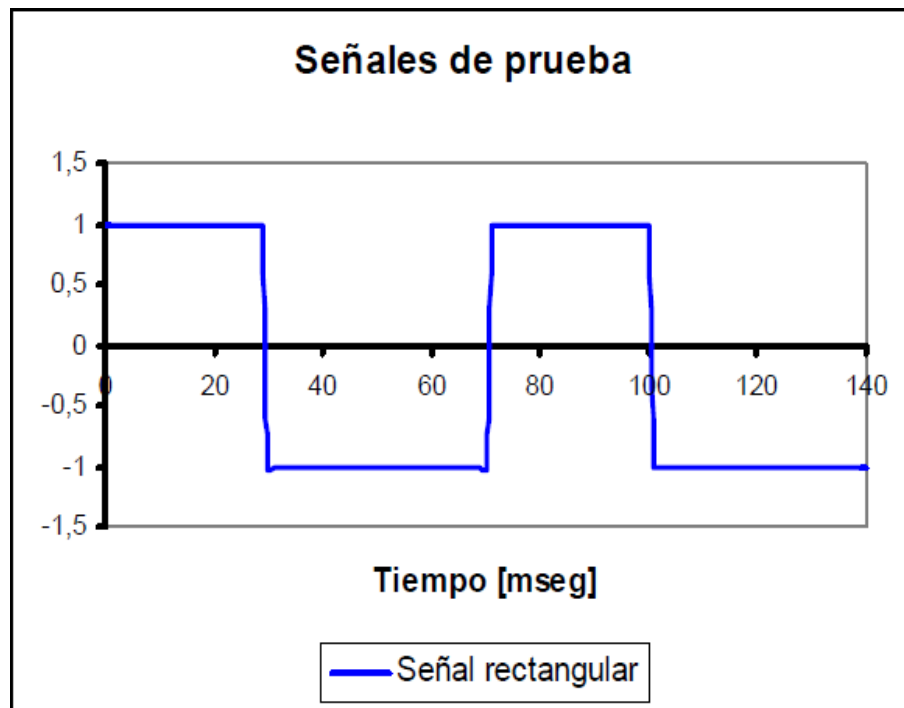


Figura 7

O paso dun valor a outro denomínase flanco, ascendente ou descendente segundo corresponda. Aínda que en teoría o cambio debería ser instantáneo, na práctica, por limitación dos circuítos que xeran o sinal, devandito flanco posúe unha leve inclinación.

O semiciclo positivo e o negativo non teñen que ser necesariamente iguais. A relación entre o tempo τ do semiciclo positivo e o período T denomínase ciclo útil, ciclo de actividade ou ciclo de traballo: $CU = \tau/T$ $CU(\%) = 100 \cdot \tau / T$

No exemplo da figura 7, considerando un semiperíodo de 30ms e un período de 70ms, tense que $CU=42.85\%$.

O valor medio dun sinal rectangular calcúlase como:

$$V_{med} = (V_{max} \cdot \tau + V_{min} (T - \tau)) / T = (V_{max} - V_{min}) \cdot CU + V_{min}$$

Cando o CU é do 50% o sinal rectangular transfórmase nun sinal cadrado. Nun sinal alterno simétrica e cadrada, de igual xeito que sucede coas ondas sinusoidais, o valor medio é nulo.

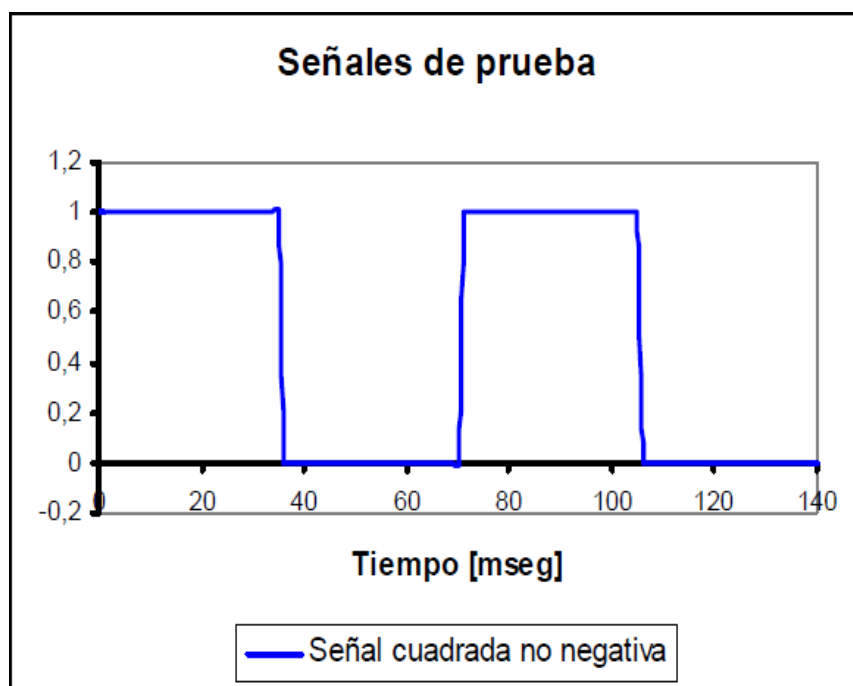


Figura 8

Un caso particular destes sinais dáse cando os seus semiciclos negativos valen cero; é dicir, son sinais rectangulares ou cadrados continuos, como se pode observar na figura 8.

En tal caso $V_{min}=0$, polo que expresión do valor medio queda simplificada a $V_{med}=V_{max} \cdot CU$.

Sinais triangulares

Son sinais que teñen un crecemento e decrecemento constantes. Ás velocidades de crecemento e decrecemento denomínanse pendentas. Se ambas pendentas son iguais o sinal chamarase triangular; caso contrario chamarase en dentes de serra.

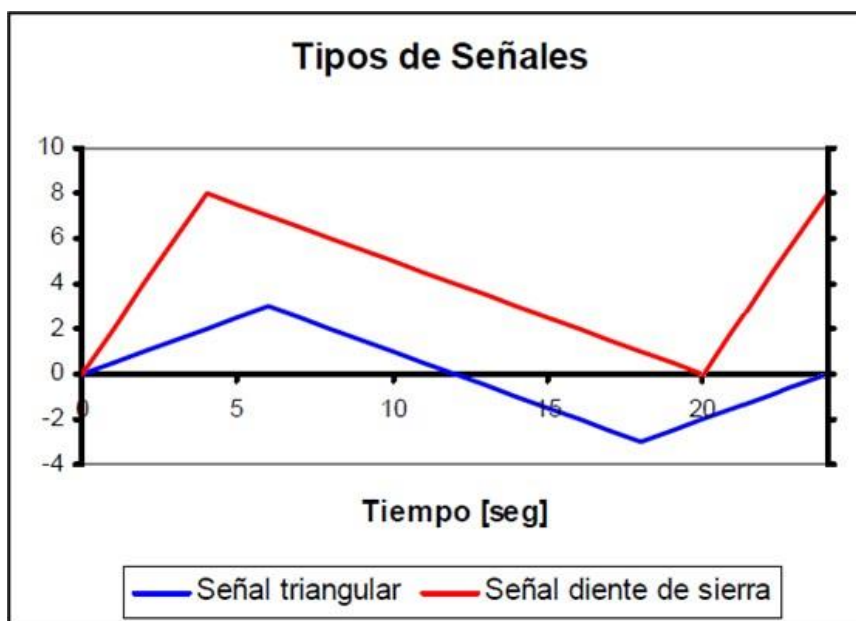


Figura 9

O valor da pendente calculase como:

$$\text{Pendente} = \Delta v / \Delta t = (v_{\text{final}} - v_{\text{inicial}}) / (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}})$$

As súas unidades serán V/s ou A/s. Se as pendentes son demasiado grandes, é común presentalas en V/ μ s o A/ μ s.

Por exemplo para o sinal en dentes de serra da figura 9 as súas pendentes serán:

$$\text{Pend}(\text{asc}) = \frac{8 - 0}{4 - 0} = 2 \frac{\text{V}}{\text{s}} \quad \text{e} \quad \text{Pend}(\text{desc}) = \frac{0 - 8}{20 - 4} = -0,5 \frac{\text{V}}{\text{s}}$$

1.4. ELECTRÓNICA DE SINAIS

Os sinais sinusoidais son moi importantes na electrónica coma en outras disciplinas das ciencias físicas xa que aparecen moi a miúdo na natureza. Ademais permítennos realizar cálculos que despois podemos aplicar aos demais tipos de sinais. Unha análise detallada da resolución de circuítos electrónicos con sinais sinusoidais faise en outros módulos de este ciclo.

De todos modos a continuación comentaremos os parámetros necesarios para analizar un elemento ou un circuítu alimentado cun sinal sinusoidal.

1.4.1. RESISTENCIA

A resistencia dun elemento circuital é a oposición que este presenta ao paso da corrente eléctrica debido a unha perda de enerxía ao atravesalo. En elementos complexos, como as antenas, a resistencia dependerá da frecuencia do sinal co que se alimenten. A resistencia mídese en Ohmios(Ω).

1.4.2. REACTANCIA

A **reactancia** é a oposición ofrecida ao paso da corrente alterna por elementos nos que **non se consume enerxía**. Cando circulan sinais sinusoidais por algún destes compoñentes a enerxía é alternativamente almacenada e liberada neles na mesma cantidade, sen consumo neto. Isto prodúcese porque estes elementos crean un desfase, adianto ou atraso, entre a corrente e a tensión.

A os compoñentes que se comportan deste xeito chamámoslles compoñentes reactivos. Os compoñentes reactivos máis habituais son os indutores (bobinas) e os condensadores. A reactancia mídese en Ohmios(Ω) ao igual que a resistencia.

O valor da reactancia depende sempre da frecuencia do sinal sinusoidais que a atravesa de xeito que cada sinal sinusoidal verase afectado dun xeito diferente polo mesmo elemento reactivo. Ademais, ao contrario que a resistencia, a reactancia ten signo de xeito que as reactancias duns elementos poden compensarse coas de outros.

1.4.3. IMPEDANCIA

A **Impedancia** (**Z**) da conta da oposición total que ofrece un elemento ou conxunto de elementos ao paso da corrente alterna. É a magnitude que establece a relación entre a tensión e a intensidade de corrente en calquera elemento ou conxunto de elementos dun circuío cando este é alimentado con un sinal sinusoidal. A impedancia(**Z**) ten dúas partes, resistencia(**R**) e reactancia(**X**). A impedancia ten coma unidade os Ohmios (Ω).

1.4.4. POTENCIAS EN SINAIS SINUSOIDAIS

A definición de potencia, $p = v \cdot i$, é aplicable en cada instante no circuío pero non nos permite facernos unha idea de cal é a potencia media que se consume no circuío salvo que a debuxemos. Pensemos que os valores de pico de tensión e intensidade so están presentes nunha serie de instantes.

Lembremos que definimos o valor efectivo dun sinal como o valor de un sinal continuo constante capaz de aportar a mesma potencia que o sinal periódico sobre unha carga resistiva. Así, nun resistor teremos unha potencia promedio:

$$P = V_{ef} \cdot I_{ef} = I_{ef}^2 \cdot R = \frac{V_{ef}^2}{R}$$

Sen embargo, se a carga non é unha resistencia pura aparece un desfase que fai que a potencia sexa menor. Sen entrar en detalles a potencia disipada será maior canto maior sexa a *resistencia* respecto da *reactancia*. Por ese motivo as antenas deséñanse para que a súa reactancia sexa nula á súa frecuencia de traballo.

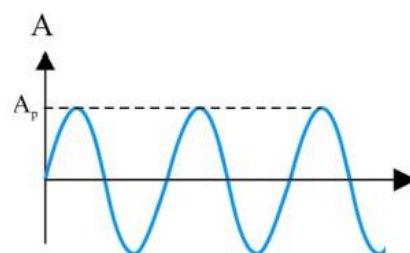
1.5. ESPECTROS. REPRESENTACIÓN DE SINAIS EN FRECUENCIA.

Estamos afeitos a representar os sinais no tempo, é dicir, a debuxar a evolución das magnitudes ao longo do tempo. Sen embargo os sinais admiten outra representación que será de gran utilidade ao enfrontarnos a os sinais propios dos sistemas de radiocomunicacións. Trátase da representación en frecuencia á que nos referiremos habitualmente como **espectro dos sinais**.

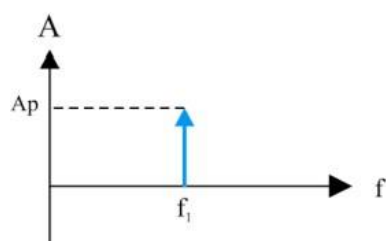
Todos os sinais, por complexos que sexan, poden ser expresados como a suma dunha serie de sinais sinusoidais de frecuencias distintas.

A cada un de estes sinais sinusoidais chamámoslle *compoñente do sinal*. O espectro é a representación da amplitude de cada unha das *compoñentes frecuenciais* que forman un sinal.

O caso máis sinxelo é o dun sinal sinusoidal puro que estará representado no dominio da frecuencia por un único punto, situado na frecuencia do sinal e con amplitude igual á tensión de pico ou á potencia do sinal segundo sexa o caso. Para nos polo de agora serán sempre as tensións de pico. Este caso é o que aparece na figura da dereita.

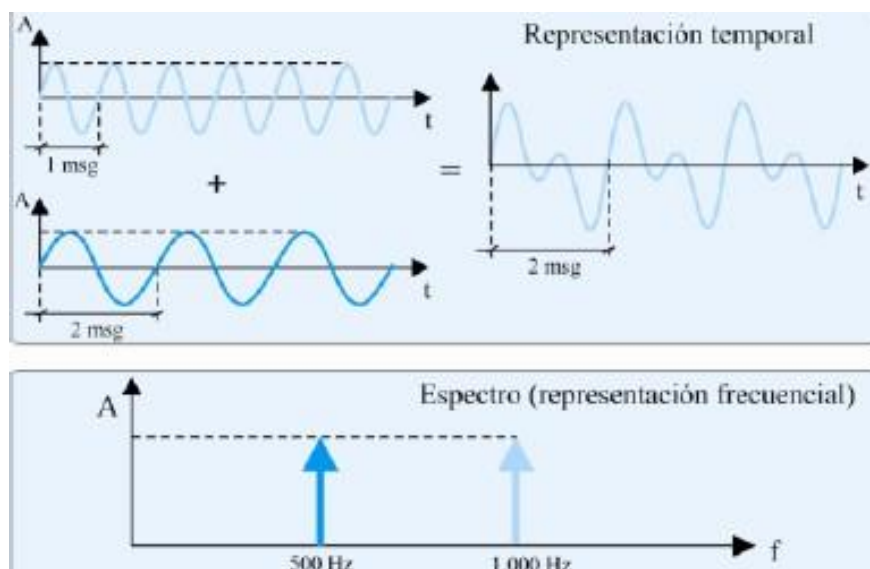


a) Representación temporal.



b) Representación frecuencial.

Se sumamos dous sinais sinusoidais o espectro será tamén a suma dos espectros como ilustra a figura embaixo.

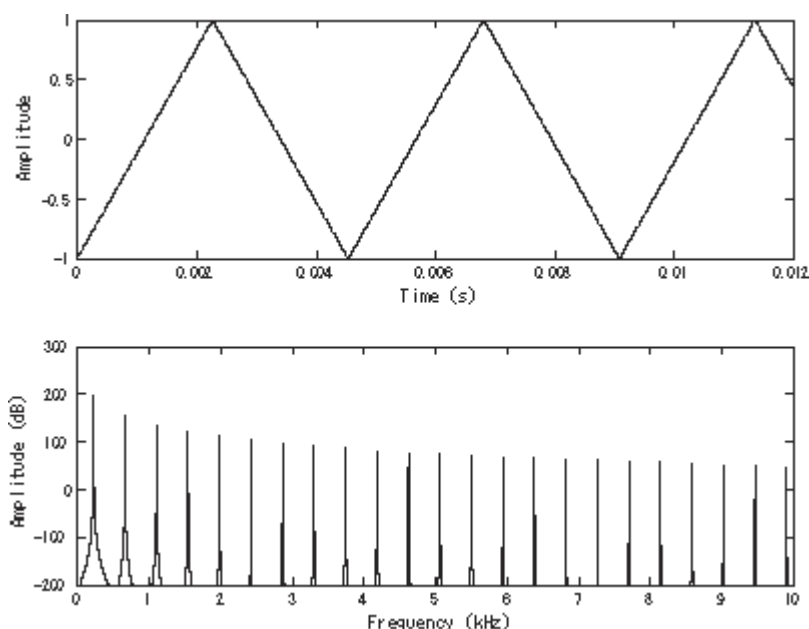


1.5.1. ESPECTROS DE SINAIS PERIÓDICOS.

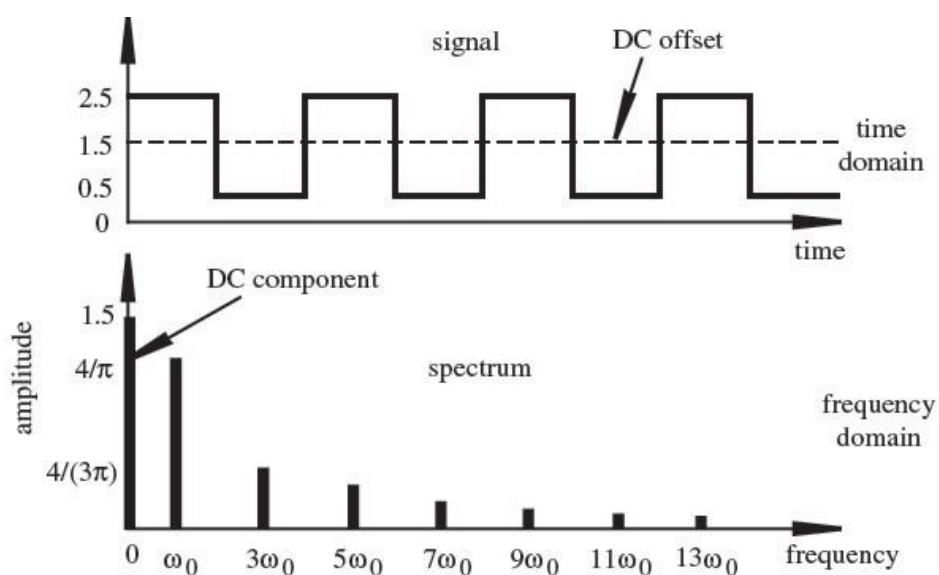
Os sinais periódicos no tempo teñen espectros discretos, e dicir, o seu espectro esta formado por un conxunto de puntos separados entre si no dominio da frecuencia.

Ademais é posible saber cales son estes puntos que van a aparecer no espectro xa que estarán situados na frecuencia que denominaremos fundamental (f_0), a inversa do período do sinal e os seus múltiplos enteiros $2 \cdot f_0$, $3 \cdot f_0$, $4 \cdot f_0$, $5 \cdot f_0$, $6 \cdot f_0$...

Exemplo 1: Espectro dun sinal triangular.



Exemplo 2: Espectro dun sinal cadrado.



Neste exemplo aparece outro concepto interesante, a compoñente de continua, se un sinal ten un valor medio diferente de cero este aparecerá reflectido no espectro como unha compoñente de frecuencia 0. Senón non sería posible diferenciar a través do seu espectro dous sinais coa mesma forma pero con valores medios diferentes.

Exemplo3: Nesta animación pódese apreciar como unha onda cadrada pode obterse sumando un número suficiente de compoñentes espectrais (sinais sinusoidais puros):

https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Square_wave_frequency_spectrum_animation.gif

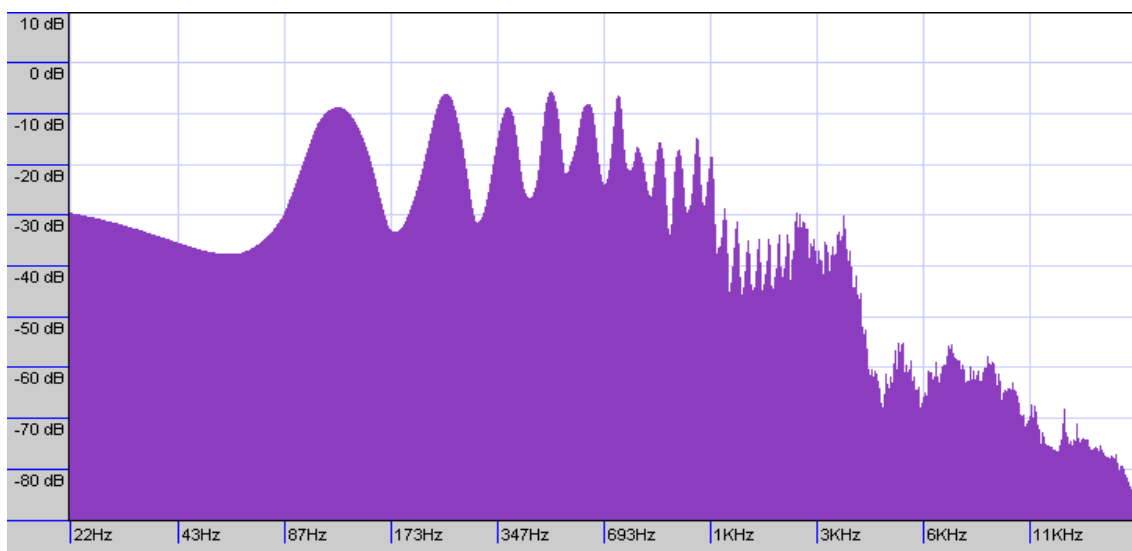
Tamén podedes xogar con este programa no que se pode modificar o sinal no tempo e ver o efecto no espectro e viceversa: <http://www.falstad.com/fourier/index.html>

1.5.2. ESPECTROS DE SINAIS NON PERIÓDICOS.

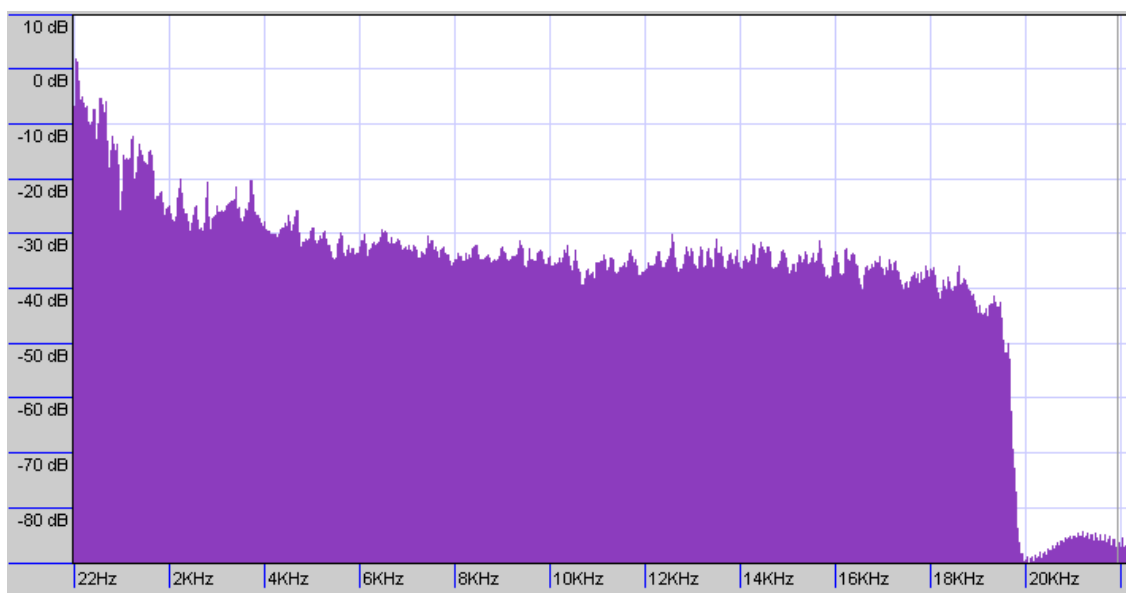
Normalmente os sinais non son periódicos e, ademais, conteñen moitas frecuencias, o que non permite unha representación discreta do espectro. Aínda así, os sinais admiten unha representación de forma continua, que determina o contido en frecuencias do sinal.

Exemplos:

O espectro da voz humana varía nun marxe aproximado de 60Hz a 7 kHz é dicir, durante unha conversa xeramos sinais acústicas comprendidas no marxe anterior. Na seguinte figura pode verse o espectro da voz de un home.



Os sons son as ondas mecánicas audíbles que se atopan entre os 20Hz e os 20 kHz polo que o espectro dunha canción estenderase nesa marxe de frecuencias. Na seguinte figura pode verse o espectro dun fragmento da canción *Off the wall* de Michael Jackson.



O sinal de vídeo capturada por unha cámara de TV pode variar entre 25 Hz e 5 MHz, dependendo da imaxe explorada.

1.5.3. ANCHO DE BANDA

Denomínase ancho de banda dun sinal a lonxitude, medida en Hz, do rango de frecuencias no que se concentra a potencia do sinal. Tamén son chamadas frecuencias efectivas as pertencentes a este rango.

Así, por exemplo o ancho de banda dun sinal de son será sempre menor ou igual a 20kHz xa que esta é a maior frecuencia posible dun sinal audible.

Outros sinais teñen espectros con infinitas compoñentes, sen embargo a maior parte da potencia concéntrase nunha zona do seu espectro polo que, se definimos un límite de potencia, é posible definir tamén un ancho de banda. Nestes casos o ancho de banda será a marxe de frecuencias cunha potencia por enriba do límite definido.

1.5.4. MEDIDA DE ESPECTROS

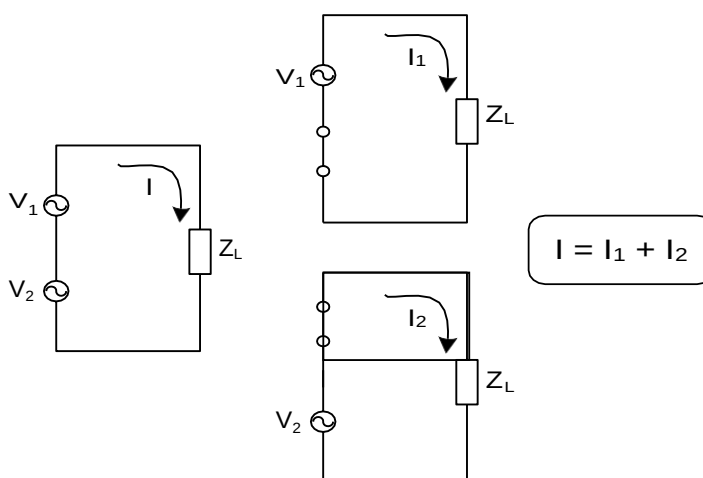
Existen aparellos que son capaces de mostrar o espectro dun sinal, son os chamados analizadores de espectro. Os medidores de campo empregados para verificar as instalacións de radio e televisión inclúen xeralmente un modo no que traballan como analizadores de espectro.

Tamén hai programas informáticos que dada unha forma de onda son capaces de pintar o seu espectro. Moitos programas de edición de audio inclúen unha ferramenta de análise de espectro, por exemplo o programa de software libre Audacity inclúe unha ferramenta de análise de espectros de audio coa que se poden facer algunhas probas.

1.5.5. TEOREMA DE SUPERPOSICIÓN E CONSECUENCIAS

Por unha banda temos que **todo sinal pode ser representado como unha suma de sinais sinusoidais puros (compoñentes espectrais)**, aínda que sexan infinitos.

Pola outra temos o teorema de superposición que establece que **se temos moitas fontes nun circuíto poderemos analízalo para cada fonte por separado e sumar os resultados** parciais como ilustra a figura da dereita.



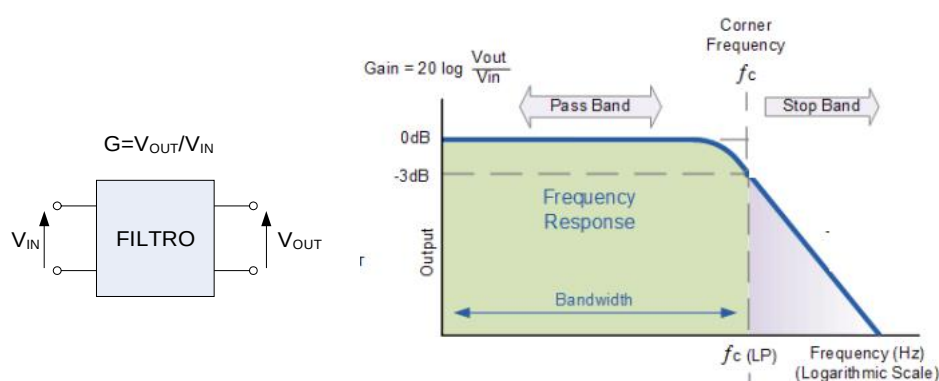
Tendo en conta estes dous resultados poderemos aplicar a teoría de circuítos para correntes sinusoidais a calquera tipo de sinais. Haberá que interpretar o sinal complexo como unha suma de moitos sinais sinusoidais elementais e ter en conta que a cada un de eles afectaralle unha impedancia que, en xeral, será diferente. Recordemos que tanto a resistencia como a reactancia, sobre todo esta última, adoitan ser variábeis coa frecuencia. Unha análise de este tipo resulta imposible facela a man para sinais complexos pero, sen embargo, pódese realizar facilmente empregando computadoras.

1.6. FILTROS

Os filtros son un exemplo moi bo de circuítos que se analizan empregando a representación en frecuencia tanto dos sinais cos que traballan como do comportamento do propio circuíto.

En electrónica un filtro é un circuíto capaz de seleccionar as frecuencias que son capaces de atravesalo. Nos sistemas de comunicacións empréganse filtros para deixar pasar só as frecuencias que conteñan a información desexada e eliminar as restantes e, con elas, calquera tipo de interferencia ou ruído alleo á información.

Os filtros analízanse mediante unha representación na que se debuxa a relación entre as amplitudes da entrada e a saída para cada valor da frecuencia. Esta relación entre a amplitude da entrada e da saída denomináselle **ganancia (G)**. Pola súa banda a curva na que se representa a ganancia do filtro respecto a frecuencia denomínase **resposta en frecuencia**. A seguinte figura ilustra os conceptos de ganancia e resposta en frecuencia dun filtro



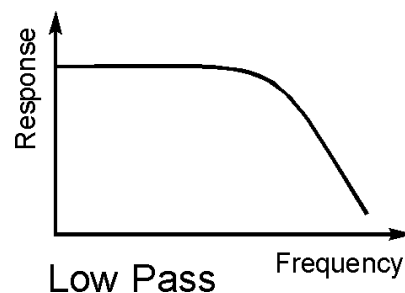
Nas curvas de resposta en frecuencia dun filtro existen dous tipos de zonas principais as cales son chamadas **bandas de paso** e **bandas eliminadas**. Unha banda de paso, é a rexión de frecuencias onde as compoñentes que atravesan o filtro aparecen na saída cun valor máximo. As frecuencias de corte son os valores de frecuencia que separan as bandas de paso das bandas eliminadas. Esta frecuencia determínase como a frecuencia na que o valor da tensión de saída é o 70.71% do valor máximo, isto equivale a unha atenuación de 3 dB como veremos no seguinte apartado do tema.

1.6.1. TIPOS DE FILTROS

Existen moitos xeitos de clasificar os filtros. Nós só veremos os diferentes tipos de filtros que existen en función do conxunto de frecuencias que deixan pasar ou, o que é o mesmo, das posicións bandas pasante e a eliminada.

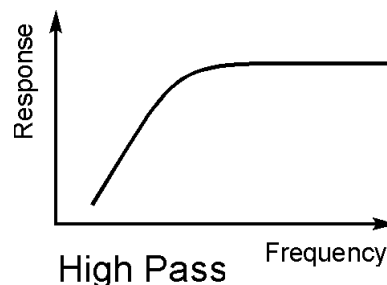
Pasa baixas

Deixan pasar so as frecuencias por debaixo dun determinado valor.



Pasa altas

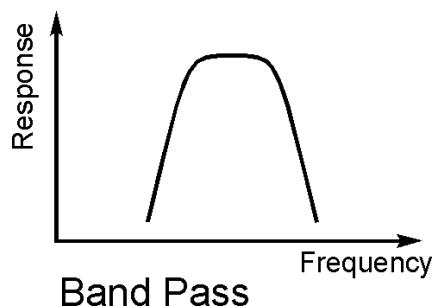
Deixan pasar so as frecuencias por enriba dun determinado valor.



Pasa banda

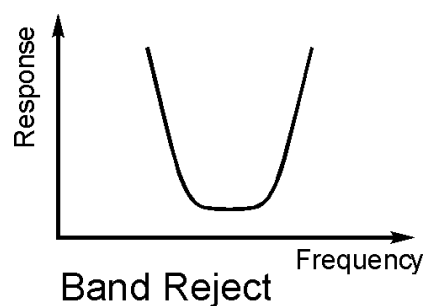
Un filtro pasa banda é un circuíto que deixa pasar só un intervalo de frecuencias. Pode construírse conectando en serie un filtro pasa baixas e un pasa altas.

Loxicamente a frecuencia de corte do filtro pasa altas ten que ser menor que a do pasa baixas.



Banda eliminada

Un filtro banda eliminada é un circuío que deixa pasar todas as frecuencias excepto un intervalo. Pode construírse conectando en paralelo un filtro pasa baixas e un pasa altas. Neste caso a frecuencia de corte do filtro pasa altas será maior que a do pasa baixas.



1.7. OS LOGARITMOS E O SEU USO EN ELECTRÓNICA.

O logaritmo é a operación matemática inversa da expoñenciación. O logaritmo de un número nunha base B é o expoñente ao que hai que elevar B para obter dito número. Ao igual que podemos elevar un número calquera (base), tamén podemos aplicar o logaritmo con calquera base.

Exemplos:

Base 3: $3^4 = 81 \rightarrow \log_3 81 = 4$, logo $\log_3(3^{25}) = 25$ como corresponde á definición de operación inversa.

Base 8: $8^2 = 64 \rightarrow \log_8 64 = 2$

As bases mais empregadas son a base 10 e a base e ($e = 2,71828\dots$). Os logaritmos de base 10 chámanse logaritmos decimais e os de base e neperianos ou naturais. Nos centrarémonos nos decimais de xeito que cando non escribamos a base e poñamos simplemente $\log()$ entenderase que facemos referencia a este tipo de logaritmos. Ao referirse aos logaritmos neperianos empregaremos $\ln()$.

1.7.1. PROPIEDADES DOS LOGARITMOS

- 1) O logaritmo da base e 1.

$$\log 10 = 1$$

- 2) O logaritmo de 1 e 0, calquera que sexa a base.

$$\log 1 = 0$$

- 3) O logaritmo dun produto e igual a suma dos logaritmos dos factores

$$\log (P \cdot Q) = \log (P) + \log (Q)$$

- 4) O logaritmo dun cociente e igual ao logaritmo do numerador menos o logaritmo do denominador

$$\log \left(\frac{P}{Q} \right) = \log (P) - \log (Q)$$

- 5) O logaritmo dunha potencia e igual ao expoñente polo logaritmo da base da potencia.

$$\log P^n = n \cdot \log (P)$$

- 6) O logaritmo dun número negativo non existe e o de cero tampouco; o logaritmo dun número entre 0 e 1 é negativo e o logaritmo dun número maior que 1 é positivo.

$$\log (x) = \begin{cases} \text{non existe,} & x \leq 0 \\ \text{negativo,} & 0 < x < 1 \\ 0, & x = 1 \\ \text{positivo,} & x > 1 \end{cases}$$

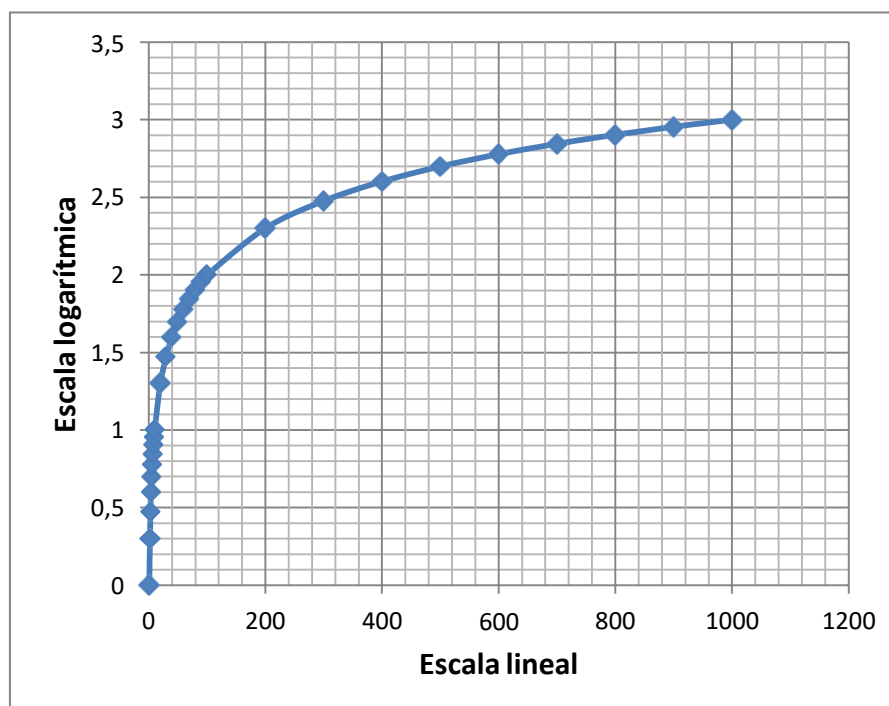
1.7.2. A ESCALA LOGARÍTMICA EN BASE 10. DÉCADAS.

Calculando os logaritmos en base 10 de algúns números entre 0 e 1000 obtemos:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
log(n)	0	0,301	0,477	0,602	0,699	0,778	0,845	0,903	0,954	1
n	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
log(n)	1	1,301	1,477	1,602	1,699	1,778	1,845	1,903	1,954	2
n	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
log(n)	2	2,301	2,477	2,602	2,699	2,778	2,845	2,903	2,954	3

Se observamos atentamente estes valores podemos ver que a distancia entre os logaritmos de 1 e 10 e a mesma que entre os logaritmos de 10 e 100 e tamén é a mesma que entre 100 e 1000. A cada un destes intervalos que resultan de multiplicar un valor por dez chamarémoslle década.

Representando graficamente os valores dos números naturais de 1 a 1000 e os seus logaritmos queda a seguinte gráfica:

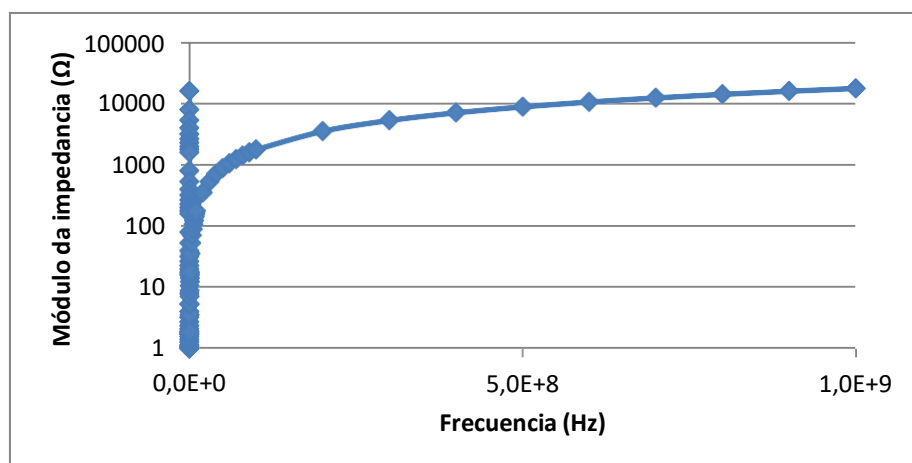


Onde podemos ver como a escala linear (eixo horizontal) se transforma na escala logarítmica (eixo vertical). O importante é observar como as décadas ocupan espazos moi diferentes na escala lineal e ocupan o mesmo espazo na escala logarítmica.

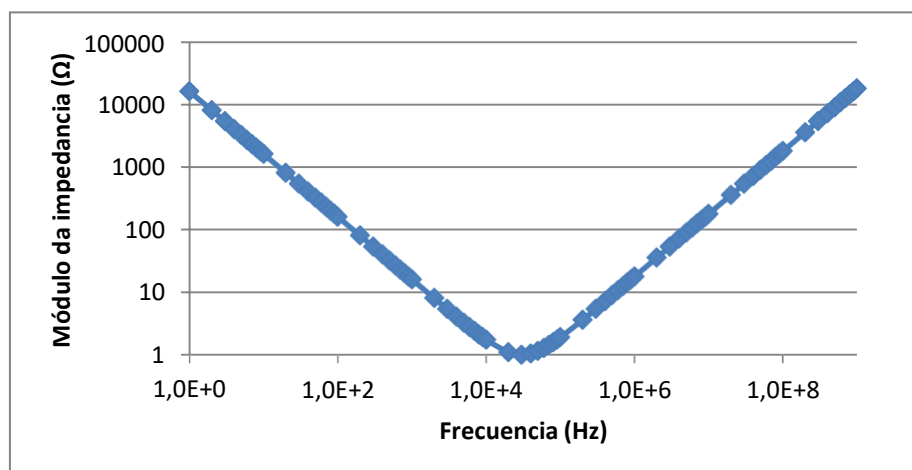
Imaxinemos agora que quero representar graficamente a impedancia dun compoñente en función da frecuencia para un intervalo entre 0 e 1GHz. Se o fago nunha escala lineal todos os valores entre 10 Hz e 10 MHz ocuparan un 1% da escala, o mesmo que de 990 MHz a 1 GHz. Se eu quero coñecer a impedancia de ese elemento a 10 kHz non vou a poder léela na gráfica. Sen embargo se emprego unha escala logarítmica no eixo da frecuencia vou poder ler a impedancia coa mesma precisión en cada década.

A solución habitual e representar as magnitudes en escalas logarítmicas nas que se escribe o valor numérico da magnitude pero se representa o seu logaritmo. Nas seguintes figuras podemos ver o módulo da impedancia dun circuío RLC en función da frecuencia coa frecuencia en escala lineal e logarítmica.

Frecuencia en escala lineal



Frecuencia en escala logarítmica:



1.8. O DECIBELIO (dB).

1.8.1. GANANCIA

No estudo destes sistemas é fundamental o concepto de ganancia, que en función das magnitudes que relaciona permite falar de ganancia de potencia, ganancia de tensión ou ganancia de corrente:

- ✓ **Ganancia de potencia.** A ganancia de potencia (G_P) ven definida como a relación entre a potencia dispoñible a saída do sistema e a potencia de entrada

$$G_P = P_o / P_i$$

- ✓ **Ganancia de tensión.** A ganancia de tensión (G_V) ven definida como a relación entre a tensión dispoñible a saída do sistema e a tensión de entrada

$$G_V = V_o / V_i$$

- ✓ **Ganancia de corrente.** A ganancia de corrente (G_I) ven definida como a relación entre a corrente dispoñible a saída do sistema e a corrente de entrada.

$$G_I = I_o / I_i$$

1.8.2. DEFINICIÓN DE DECIBELIO

O decibelio(dB) é **unha forma de expresar a relación entre dúas magnitudes**, a ganancia é unha relación entre magnitudes e polo tanto pode expresarse en decibelios. O decibelio empregase moitísimo no campo das telecomunicacións e da electrónica en xeral.

O ganancia en decibelios (G_{dB}) calculase a partir da ganancia (G) como:

$$G_{dB} = 10 \log (G)$$

Do mesmo xeito, pódese expresar unha magnitude expresada en dB en unidades lineais utilizando as propiedades dos logaritmos:

$$G = 10^{(G_{dB}/10)}$$

1.8.3. GANANCIA EN POTENCIA EN DECIBELIOS.

A ganancia en potencia expresada en decibelios definírase entón como:

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

Atenuación

A atenuación (L) indica unha ganancia (G) negativa, é dicir, perdas. Podería perfectamente traballarse con ganancias negativas pero para non empregar números negativos se lle cambia o signo e se lle chama atenuación. Defínese segundo o explicado a atenuación en dB como a inversa da ganancia:

$$L = -10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{P_i}{P_o} \right)$$

1.8.4. GANANCIA DE Tensión E INTENSIDADE EN DECIBELIOS.

As ganancias en dB sempre son ganancias de potencia, o que sucede e que se poden calcular a partir das tensións ou correntes xa que estas están relacionadas coa potencia. Supoñendo que os sinais de entrada e saída están aplicados á mesma resistencia, aplicando a definición de potencia $P = V \cdot I$ e a lei de Ohm $I = \frac{V}{R}$ chegamos ás expresións: $P = \frac{V^2}{R}$ e $P = I^2 \cdot R$

Se aplicamos estas formulas para calcular a ganancia:

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{V_o^2/R}{V_i^2/R} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{V_o^2}{V_i^2} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{V_o}{V_i} \right)^2$$

O que, aplicando a propiedade 5) das vistas para os logaritmos queda:

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

Que é como se calcula a ganancia en decibelios empregando as tensións.

Procedendo de xeito similar coa corrente obtemos a expresión da ganancia en corrente:

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{I_o^2 \cdot R}{I_i^2 \cdot R} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{I_o^2}{I_i^2} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{I_o}{I_i} \right)^2$$

$$\boxed{G = 20 \cdot \log \left(\frac{I_o}{I_i} \right)}$$

1.8.5. MEDIDAS ABSOLUTAS EN DECIBELIOS.

Ata aquí empregamos os decibelios para expresar a relación entre os valores dunha magnitude en dous puntos diferentes. Así non ten sentido dicir que no punto A existen 20 dB de potencia, senón que hai que facer referencia a un segundo punto. O correcto sería dicir que a potencia no punto A esta 20dB por enriba da potencia en B ou que entre A e B hai unha ganancia de 20dB.

Sen embargo, **se fixamos unha referencia ben coñecida será posible dar o valor absoluto dunha magnitude en dB**. Definimos as seguintes unidades que si son absolutas xa que a súa referencia é coñecida e que son moi habitualmente empregadas en electrónica e telecomunicacións.

- ✓ dBw. - Nivel de potencia nun punto referido a 1 W:

$$\text{dBW} = 10 \cdot \log (P(W) / 1W)$$

- ✓ dBm. - Nivel de potencia nun punto referido a 1 mW:

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log (P(\text{mW}) / 1\text{mW})$$

- ✓ dBμV. - Nivel de tensión nun punto referido a 1 μV:

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20 \cdot \log (V(\mu\text{V}) / 1\mu\text{V})$$

1.8.6. VANTAXES DE EMPREGAR DECIBELIOS.

A primeira e a máis obvia e a compresión das escalas, ao traballar en dB aforrámonos traballar con magnitudes incómodas. Un exemplo moi claro é o SPL (Nivel de Presión Sonora) empregado para caracterizar a intensidade do son. No SPL as presións entre o umbral de audición e a maior presión sonora teoricamente posible na atmosfera terrestre ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa – 101.300 Pa) equivalen a un SPL entre 0

dB_{SPL} e 194 dB_{SPL}. Isto resulta moi cómodo á hora de traballar xa que sempre empregamos números manexables.

A segunda e quizais a máis importante para nos é que as magnitudes lineais e as expresadas en dB teñen un tratamento diferente derivado da propiedade 3) dos logaritmos. Resulta que cando as magnitudes lineais se multiplican, as magnitudes logarítmicas, como o dB, súmanse.

Deste xeito, podemos obter a ganancia entre dous puntos como a diferenza ente os sinais de saída (V_o) e de entrada (V_i) expresados en unidades logarítmicas:

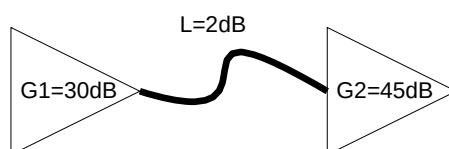
$$G(\text{dB}) = V_o(\text{dB}\mu\text{V}) - V_i(\text{dB}\mu\text{V})$$

Tamén, coñecendo a ganancia dun sistema e o seu sinal a entrada, é posíbel calcular o nivel da saída como:

$$V_o(\text{dB}\mu\text{V}) = V_i(\text{dB}\mu\text{V}) + G(\text{dB})$$

Outro caso moi típico é a conexión entre equipos, se coñecemos as ganancias de cada un dos equipos e o acoplo entre eles é ideal bastará con sumar as ganancias.

Exemplo: Conectamos dous amplificadores de ganancia 30 dB e 45dB respectivamente mediante un latiguillo de conexión cunhas perdas de 2dB.



Cál será a ganancia entre a entrada do primeiro amplificador e a saída do segundo?

$$G_T = G_1 - L + G_2 = 73\text{dB}$$

Se alimentamos o primeiro amplificador con 47 dB μ V. Cál será a tensión de saída do segundo en voltios?

$$V_o = V_i + G_T = 120\text{dB}\mu\text{V} \Rightarrow V_o = 1\mu\text{V} \cdot 10^{V_o(\text{dB}\mu\text{V})/20} = 1\text{V}.$$