



# **FOTONS, ELECTRONS i altres membres de la família**

Curset de divulgació sobre alguns dels aspectes claus de la física moderna



Departament de Matemàtiques, IES Jaume Balmes  
Setembre de 2006

**FOTONS, ELECTRONS i altres membres de la família** és un curset de divulgació, pràcticament sense cap fórmula matemàtica, que explica a un nivell molt elemental tres aspectes fonamentals de la ciència: l'estructura de la matèria, la electricitat i l'electromagnetisme i comunicacions. Els electrons són un dels protagonistes de tots tres capítols, els fotons són una part important de la primera i sobretot de la tercera part, d'aquí el títol del curset. Com que la segona i tercera parts es basen en certa mida en les parts anteriors hi ha una certa continuïtat en tot el curs.

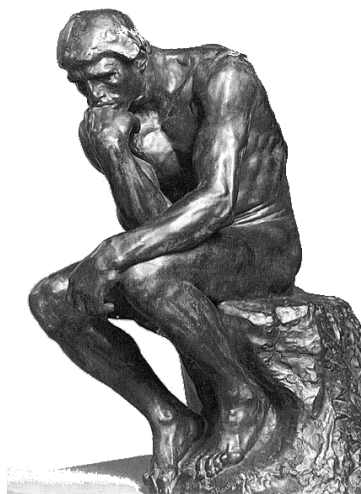
Els grans canvis social que ha tingut la humanitat en els dos últims segles són deguts en una gran part a l'aplicació tècnica dels fonaments científics, no hi ha hagut cap moviment social, filosòfic ni religió que hagi estat capaç de transformar la societat tant com ho ha fet la ciència en aquests dos segles, principalment en el món occidental. Des de la l'aplicació de la termodinàmica a les màquines de vapor i als motors de combustió; la mecànica a les transmissions de forces; la electricitat als motors elèctrics, la il·luminació, als transports ; fins arribar a les tecnologies de la informació en les transmissions de radio, televisió, mòbils o internet, la societat ha sofert uns canvis impressionants en les seves formes de viure.

El coneixement dels principis bàsics que han fet possible aquests canvis hauria de formar part del patrimoni general humà, hauria d'ésser una cultura bàsica imprescindible per intentar comprendre els canvis que hem tingut i, sobretot, els que han de venir. Per això el desconeixement d'aquests principis bàsics hauria d'ésser considerat com un analfabetisme funcional i naturalment, aquests coneixements, haurien d'ésser introduïts en el currículum dels primers cursos de secundària.

# 1 MATÈRIA , 1a APROXIMACIÓ

## 1.1 Matèria

Des de temps remots diferents pensadors i molta gent en general s'han fet preguntes transcendents, preguntes d'aquelles que commouen. Qui som?, on anem?. Una altre d'aquestes preguntes és “de què està fet el món?”, de què estic fet jo?, o bé “de què està fet l'univers?”. Com és habitual les preguntes que es fan els filòsofs no tenen resposta o la tenen constantment errònia. També aquesta última pregunta, al llarg dels temps, ha estat contestada de diferents formes.



Demòcrit (430 AC), el pensador grec, creia que si es dividia en trossets una pedra, o qualsevol altre matèria, i cada trosset el tornàvem a dividir en trossos més petits, i així successivament s'anava dividint i, encara que només sigui amb el pensament, es continuava la divisió, fins arribar a un punt en que aquesta divisió havia d'ésser impossible, perquè s'hauria arribat a la part més petita de la matèria, la part que és el fonament de tota la matèria existent i que és indivisible, s'hauria arribat a la part dita **fonamental** de la matèria. A aquesta petita part fonamental, Demòcrit, la va anomenar àtom, que en grec vol dir indivisible. Només existeixen àtoms i el buit, deia Demòcrit. Va ser una de les primeres idees d'àtom de la Història.

A l'edat mitjana es creia, també pregonat per filòsofs, que hi havia quatre classes diferents de partícules elementals, o sigui quatre partícules diferents i indivisibles de la matèria: la que formava l'**aire**, la que formava la **terra**, la que formava l'**aigua** i la que formava el **fo**. Cada una de les altres matèries que existien a la naturalesa era una combinació en proporcions adequades d'algunes d'aquestes quatre partícules fonamentals.

Posteriorment, a les quatre partícules fonamentals, s'hi va afegir una cinquena classe (la cinquena essència), era l'**èter**, que es creia era la matèria que omplia les parts “buides” de l'univers. L'èter servia per explicar, per exemple, la transmissió de la llum per l'univers. Es va creure que l'èter era l'origen de les altres quatre matèries.



Va durar temps que l'àtom era considerat com una bola indivisible, amb cert pes i una certa càrrega elèctrica.



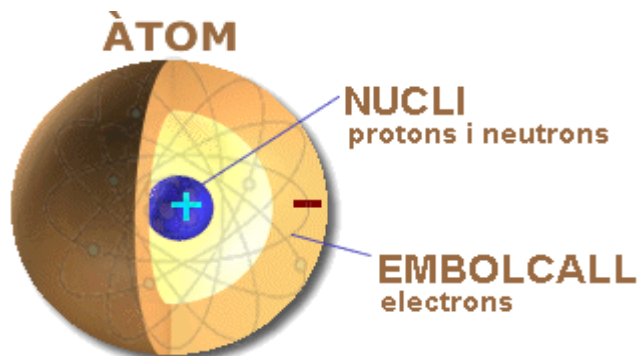
El 1869 **Mendeleiev** va publicar la seva **Taula Periòdica** on va recollir i ordenaven els coneixements que es tenien fins aleshores i on es representen els elements de la naturalesa classificats per files i columnes segons les seves propietats (pel número atòmic, que veurem més endavant), Cada casella representa un element simple de la naturalesa, a cada casella hi ha el nom, el símbol i el número atòmic de l'element. La taula vol dir que ja es coneixia que hi havia molts àtoms i diferents entre ells.

Període	Grup																18	
	1											17	2					
1	1 H Hidrogeno												2 He Helio					
2	3 Li Lítio	4 Be Berlio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrogeno	8 O Oxigeno	9 F Fluor	10 Ne Neón
3	11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Alumini	14 Si Silici	15 P Fòsforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argó
4	19 K Potassi	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadi	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hiero	27 Co Cobalto	28 Ni Niquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Gali	32 Ge Germanio	33 As Arsènic	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Cripton
5	37 Rb Rubidio	38 Sr Estronci	39 Y Itrio	40 Zr Circonio	41 Nb Niobi	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecneci	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladi	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estany	51 Sb Antimoni	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xerón
6	55 Cs Cesio	56 Ba Bari	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tàntalo	74 W Volframi	75 Re Renio	76 Os Osmi	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Tallo	82 Pb Plom	83 Bi Bismut	84 Po Poloni	85 At Astato	86 Rn Radón
7	87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actini	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubni	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohri	108 Hs Hessio	109 Mt Meitnerio	110 Uun Ununmita	111 Uuu Ununmita	112 Uub Ununbio	114 Uuq Ununquadi	116 Uuh Ununhexa	118 Uuo Ununocta			

Lantànids	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometi	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolini	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosi	67 Ho Holmi	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Itrio	71 Lu Luteci
Actínids	90 Th Torio	91 Pa Protactini	92 U Uranio	93 Np Neptuni	94 Pu Plutoni	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Laurencio

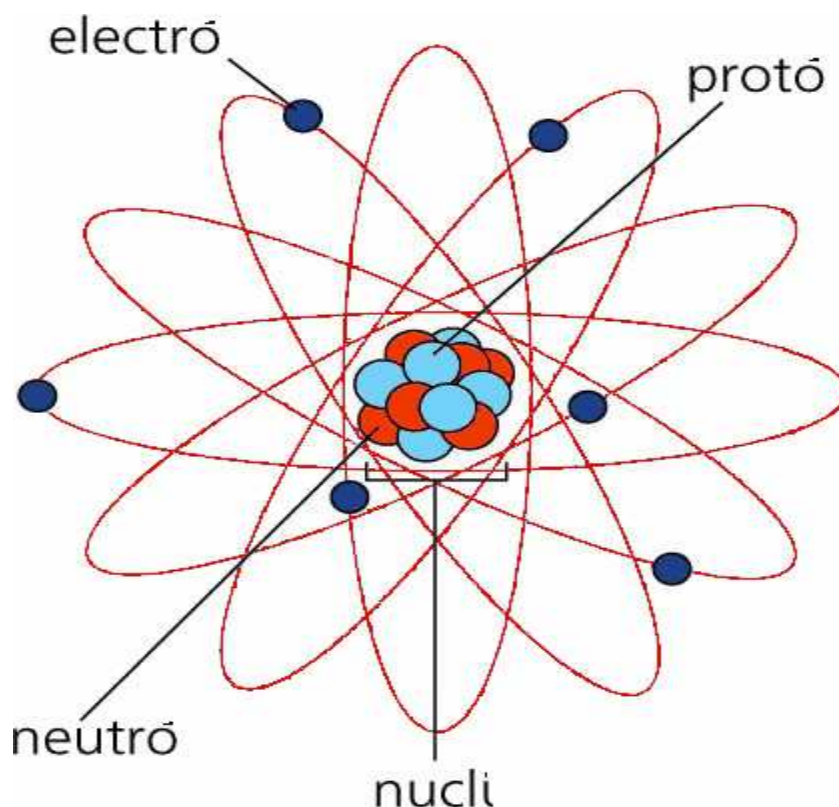
Notes:  
 Metalls   
 Metal·loides   
 No metalls   
 Gasos nobles   
(1) Base en pes atòmic carbon de 12. ( ) indica el més estable o el de isòtop més conegut.

**Rutherford** va seguir el model planetari per explicar la composició d'un àtom, això és, un àtom consta de dues parts: el nucli al centre de l'àtom i l'embolcall a l'entorn del nucli. El nucli era una "bola" relativament pesada i amb càrrega positiva (el sol) i l'embolcall estava format pels electrons que donaven voltes circulars o el·líptiques (els planetes) a l'entorn del nucli, els electrons havien de ser de càrrega negativa per compensar la del nucli.



Posteriorment es va veure que el nucli està compost per altres partícules encara més petites: protons i neutrons. Els protons són els dipositaris de la càrrega positiva i els neutrons no tenen càrrega. El nombre total de protons d'un àtom s'anomena número atòmic, el nombre total de protons i neutrons s'anomena pes atòmic.

Però aquesta estructura de l'àtom no s'aguantava, hi havia molts aspectes impossibles. Per exemple, es coneixien les lleis de la **Gravitació Universal de Newton**, doncs, com podia ser que la massa fos tant esponjosa, que les partícules no s'ajuntaven, que els àtoms no es precipitaven uns sobre els altres?. O bé si les càrregues igual es repel·leixen, com podria ser que els protons quedessin units dins el nucli?



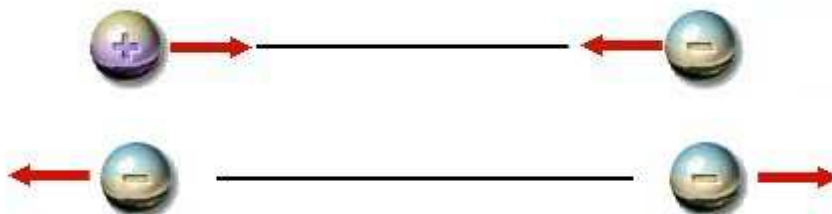
En 1920 es va començar a posar els principis del que ha d'ésser la **Mecànica Quàntica**, teoria molt complicada que explica molt (moltíssim) ajustadament la composició i les interaccions internes d'un àtom, moltes de les seves afirmacions s'allunyen de la intuïció humana, però que naturalment expliquen les últimes preguntes que hem formulat anteriorment

## 1.2 Càrrega elèctrica

La diferència entre els neutrons i els protons esta en la càrrega elèctrica, els protons tenen una càrrega positiva mentre que els neutrons no tenen càrrega, d'aquí el seu nom ja que elèctricament són neutres.

Els electrons tenen càrrega elèctrica negativa. La quantia de càrrega d'un electró és igual a la d'un protó encara que la d'aquests és de signe contrari. El signe de la càrrega elèctrica dels protons positiva i dels electrons negativa és pur convencionalisme que per raons històriques ha quedat d'aquesta forma, podria ser completament el revés i tot funcionaria igual que ara.

Ningú coneix que és exactament la càrrega elèctrica, però si sabem molt bé les seves reaccions i sabem mesurar-la. Per exemple sabem que dues càrregues del mateix signe (positives o negatives) es repel·leixen, en canvi dues càrregues de signe contrari (una de positiva i una de negativa) s'atrauen.



## 1.3 Llei de Coulomb

la Llei de **Coulomb** diu que *l'atracció o repulsió que existeix entre dues càrregues elèctriques és directament proporcional a la quantitat de cada una de les càrregues i és inversament proporcional al quadrat de la distància a que es troben.*

Algebraicament podem representar la Llei de Coulomb així:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

On  $Q_1$  i  $Q_2$  són les quanties de les dues càrregues,  $F$  és la força en que s'atrauen o repel·leixen les dues càrregues,  $d$  és la distància a que es troben i  $k$  és la constant de proporcionalitat que depèn de les unitats en que es mesuren les càrregues, la distància i la força.

Una coincidència molt curiosa és l'analogia que hi entre la Llei de Coulomb i la Llei d'atracció universal de Newton, les dues són exactament iguals, sols cal canviar les càrregues per les masses per passar de la Llei de Coulomb a la de Newton. La força

d'atracció gravitatòria de dues masses obeeix a la mateixa llei que la força d'atracció de dues càrregues elèctriques de signe contrari.

### 1.4 Unitat de càrrega, el coulomb

La unitat més petita de càrrega és l'electró o el positró (negativa o positiva). Aquesta unitat solament es fa servir per estudiar càrregues molt petites relacionades amb àtoms o amb molècules, per un ús més normal s'ha ideat una altra unitat de càrrega, es tracte del coulomb, que s'abreuja per una **C**, i es l'equivalent a  $6,25 \cdot 10^{18}$  electrons, que són molts, molts, molts electrons.

El Sistema Internacional d'Unitats defineix el coulomb d'una altre forma, ho fa basant-se en un altre concepte (amper) que encara no s'ha vist en aquest curs. Hem cregut que donar les definicions en aquest ordre resulta més comprensible.

### 1.5 Electrón

La massa d'un electrón és gairebé menyspreable, es tracte de  $9,1095 \cdot 10^{-28}$  grams, mil vuit-centes vegades més petita que la massa d'un protón o d'un neutrón.

La càrrega elèctrica d'un electrón és de  $1,6022 \cdot 10^{-19}$  coulombs que és igual a la càrrega del protón, una és negativa i l'altre és positiva.

El diàmetre d'un electrón es molt difícil de mesurar, es pot dir que és impossible de mesurar, però si sabem que aquest diàmetre és de l'ordre de mil milions de vegades més petit que el diàmetre del àtom. Un àtom és doncs un espai immensament buit a l'entorn d'un nucli petitíssim.

**Niels Bohr** va descobrir que els electrons es distribueixen a l'entorn del nucli en pisos o capes: capa 1, capa 2, capa 3, etc. La capa 1 és la que està més a prop del nucli, després ve la capa 2, i així successivament. El nombre d'electrons que hi pot haver a cada capa és limitat. El nombre d'electrons que hi pot haver, com a màxim, a la capa  $n$  és de  $2n^2$ , o sigui:

A la capa 1 hi pot haver fins a	2	electrons
	2	8
	3	18
	4	32
	.....	.....

Un àtom normal té la mateixa quantitat de protons que de electrons, es pot dir doncs que un àtom normal està elèctricament neutralitzat.

Els electrons de les capes menors, els que estan més a prop del nucli són molt estables, és a dir, costa molt de separar els electrons del seu nucli, en canvi, els àtom de capes superior poden ser separats amb més facilitat, això vol dir que es poden traslladar d'un àtom a àtoms veïns sens e gaire esforç.

(fer exercicis amb números molt grans i amb altres de molt petits)  
(veure la relació entre els coulombs d'un electrón i els electrons d'un coulomb)

## 1.6 Neutrons i protons

Ja s'ha explicat que els neutrons i protons són partícules residents al nucli dels àtoms. Els protons tenen càrrega elèctrica positiva i els neutrons no tenen càrrega. Un protó té una massa de  $1,672 \cdot 10^{-27}$  Kg, ja hem vist que aquesta massa és 1836 vegades més gran que la del electró. La massa del neutró és una mica més petita que la del protó.

Quan s'acaba la vida d'algunes estrelles, les de mides mitjanes, i en el moment en que la força de fusió de la matèria queda més petita que la força gravitatòria la massa de l'estrella, arriba a un col·lapse, la seva massa s'enfonsa, i s'arriben a trencar, fins i tot, els àtoms, quedant solament un munt de neutrons apilats per la seva força gravitatòria ocupant molt poc espai.

Aquesta pila de neutrons s'anomena **estrelles de neutrons**. La densitat d'aquestes estrelles és enorme, es calcula que és de  $8 \cdot 10^{13}$  a  $2 \cdot 10^{15}$  g/cm<sup>3</sup> que és una densitat inimaginablement gran. Si es disposés d'un centímetre cúbic d'aquesta matèria a la superfície de la terra, l'atracció gravitatòria entre el centímetre cúbic i la terra seria tan gran que el centímetre cúbic, per la força del seu enorme pes, es ficaria a dins de la terra, travessant roques, metalls i tot tipus de material, arribaria al centre de la terra i, amb l'empenta que portaria, aniria pujant fins arribar un altre cop a la superfície a les antípodes del lloc on havia partit.

(quin seria el diàmetre d'una esfera d'aigua, suposant que la pressió és la d'una atmosfera en tots els seus punts, que tingués la mateixa massa que la d'un centímetre cúbic de protons?)

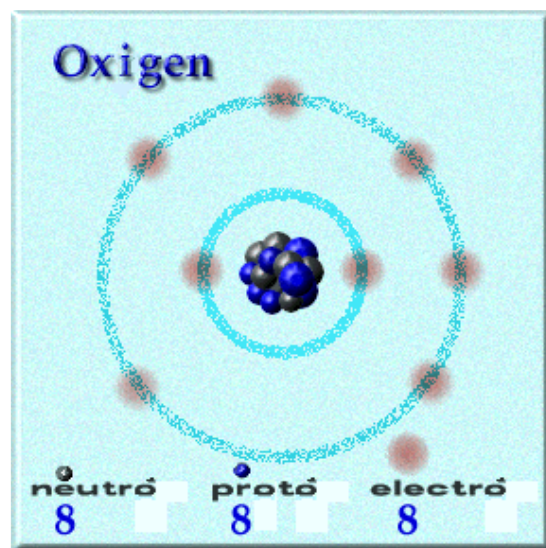
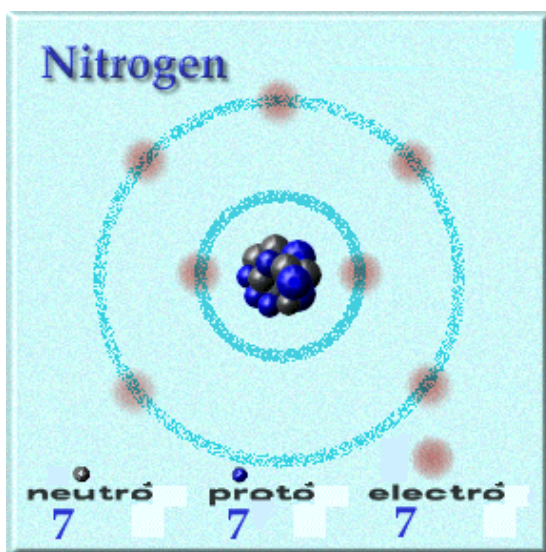
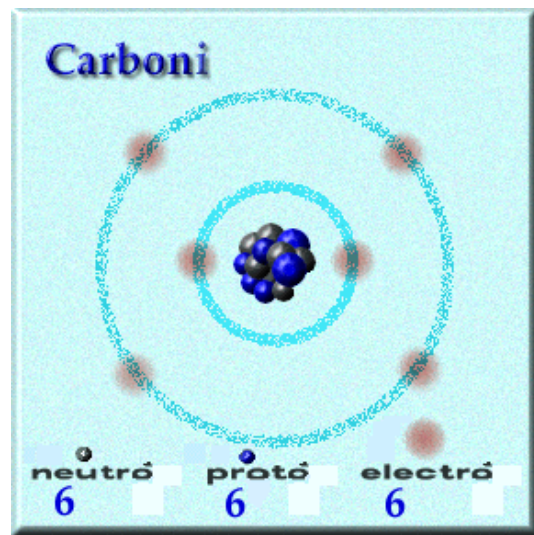
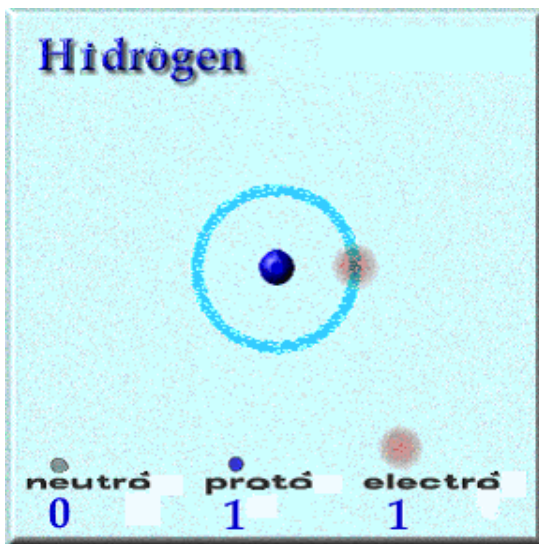
## 1.7 Alguns àtoms simples

L'element més simple que existeix és l'hidrogen, es tracta d'un gas que els seus àtoms tenen tan sols un protó i un electró. Per ordre de simplicitat, després de l'hidrogen ve l'heli, un altre gas, un àtom del qual està compost de dos protons i de dos neutrons en el nucli i dos electrons a l'embolcall. A la taula periòdica de més amunt hi ha tots els elements coneguts ordenats pel seu número atòmic (nombre de protons). Anant variant el nombre de protons (i també d'electrons) es van obtenint tots els diferents elements .

El pes atòmic d'un element és la suma del nombre de protons amb el nombre de neutrons del àtom d'aquest element. Moltes vegades aquest número és una xifra decimal, com pot ser?

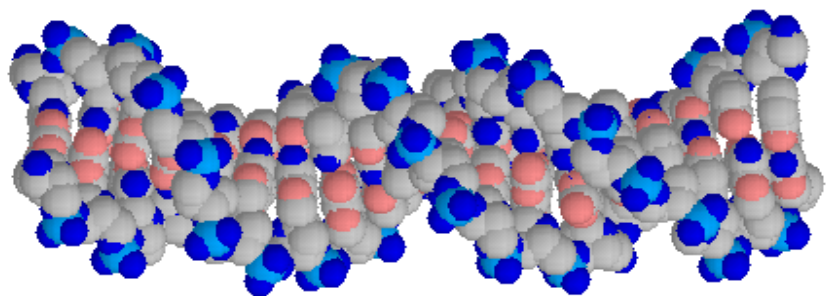
A les gràfiques que venen a continuació es poden observar un esquema de com són els àtoms de quatre elements simples: l'hidrogen, el carboni, el nitrogen i l'oxigen. Podríeu indicar el número atòmic i el pes atòmic (aproximat) de cada un d'aquests elements?





## 1.8 Molècules

Les molècules d'una matèria és la part més petita d'aquesta matèria que conserva les seves propietats. La molècula està formada per una reunió d'àtoms. Per exemple una molècula d'aigua consta d'un àtom d'oxigen i dos d'hidrogen, per això es representa com  $H_2O$ . D'aquesta forma amb diferents combinacions d'àtoms es van formant totes les molècules de l'univers. La primera de les dues gràfiques següents representa una molècula d'aigua (mol simple), i la segona representa una molècula d'àcid ADN (molt complicada).



[http:// fr.wikipedia.org/wiki/Image:ADN\\_animation.gif](http://fr.wikipedia.org/wiki/Image:ADN_animation.gif)

# 2 MATÈRIA, 2a APROXIMACIÓ

## 2.1 Quarks

Però són els neutrons i protons partícules fonamentals, en el sentit de que ja són indivisibles?. Doncs no, des de fa uns 50 anys es coneix que tant els protons com els neutrons estan formats per quarks



quark, quark,...

El nom de quark ve d'una paraula utilitzada per **James Joyce** en la novel·la *Finnegan's Wake*, la paraula és "kworks", paraula que sona com quarks.

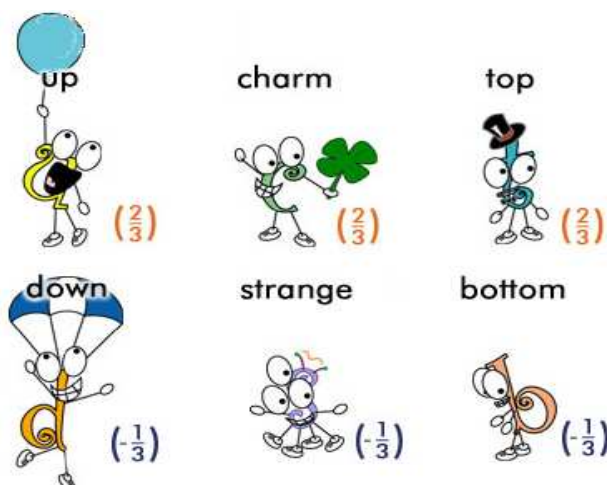
Hi ha sis tipus de quarks, que es poden agrupar per parelles. Aquestes parelles amb el seu nom internacional i abreujats per la inicial són:

<b>up (u)</b>	<b>down (d)</b>
<b>charm (c)</b>	<b>strange (s)</b>
<b>top (t)</b>	<b>bottom (b)</b>

que es poden traduir com:

<b>dalt</b>	<b>baix</b>
<b>encant</b>	<b>estrany</b>
<b>cim</b>	<b>fons</b>

El dibuix següent representa, d'una forma simpàtica, als sis tipus de quarks i la seva càrrega elèctrica com ja comentarem.



Cada un d'aquests tipus de quarks té una certa càrrega elèctrica que és una fracció de la càrrega del electró o del protó. L'up, el charm i el top tenen una càrrega equivalent als  $\frac{2}{3}$  de la càrrega d'un protó. En canvi el down, el strange i el bottom tenen una càrrega elèctrica corresponent a  $\frac{1}{3}$  de la del electró ( $-\frac{1}{3}$  de la del protó). Es pot dir, doncs, que la càrrega elèctrica més petita és la del electró?

El quark bottom va ser descobert el 1977. Fins l'any 1995 no es va descobrir el quark top, l'existència del qual ja estava teoritzada des de feia 20 anys!!!. Les dues descobertes van ser fetes en el Laboratori Nacional Fermi dels EEUU.

Cada protó està format per tres quarks, dos de tipus up i un de tipus down, mentre que un neutró està format per un quark de tipus up i dos de tipus down, composicions que es poden abreujar així:

$$\begin{aligned} \text{protó} &= uud \\ \text{neutró} &= udd \end{aligned}$$

Fixeu-vos que la suma de les càrregues elèctriques dels quarks d'un protó i les d'un neutró són 1 i 0, tal com són les càrregues del protó i del neutró. Una representació gràfica d'un protó i un neutró pot ser:



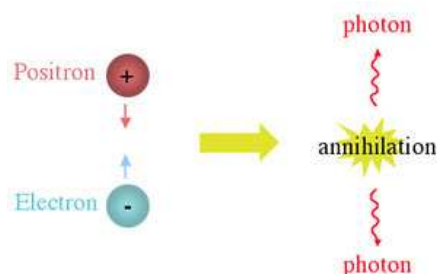
## 2.2 Antimatèria

Anàlogament a l'existència de càrregues elèctriques positives i negatives hi ha matèria (o massa) positiva i matèria negativa. Quan es fonen les dues càrregues elèctriques aquestes desapareixen, doncs si es posen en contacte dues masses una de positiva i una de negativa les dues masses desapareixen.

En realitat del contacte entre una massa positiva i una negativa les masses queden aniquilades però produeixen energia en forma d'una radiació gamma d'alta freqüència.

La massa positiva i negativa es coneixen com a matèria i antimatèria. Per cada una de les partícules, les estudiades (solament 7) i per a totes les altres (n'hi ha centenars), hi ha una antipartícula.

L'antipartícula de l'electró és diu positró, és una partícula amb la mateixa quantitat de massa que l'electró però negativa i amb la mateixa càrrega elèctrica que l'electró però positiva. S'ha detectat l'existència del positró en moltes transformacions atòmiques i té una vida molt curta ja que ràpidament és neutralitzat.



El positró es va fer famós en algunes de les novel·les de ciència ficció d'**Isaac Assimov**, on els feia servir per construir el cervell dels robots.

Cada un dels sis quarks té un antiquark associat, són l'antiup, l'antidown, ... Cada un d'aquests antiquarks s'abreuja amb la inicial del quark amb una ralla per sobre, el antiquarks són:

$$\bar{u}, \bar{d}, \bar{c}, \bar{s}, \bar{t}, \bar{b}$$

Hi ha proposicions no verificades encara, que parlen de l'existència de molts universos com el que coneixem, alguns d'aquests universos estan formats bàsicament de matèria com la que la que ens rodeja en el nostre univers, matèria positiva, mentre que els altres estan formats bàsicament d'antimatèria. No és molt espectacular aquesta idea?. Què passaria si dos d'aquests universos de matèria diferent xoquessin?

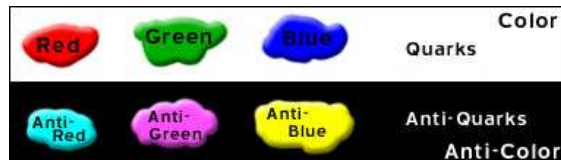
L'existència de l'antimatèria va ser predita per **Dirac** l'any 1928 i la va descobrir l'any 1932 (premi Nobel).

En 1995 s'aconseguí produir àtoms d'antihidrogen, que tenen un nucli format per un antiprotó i al voltant seu un positró. L'àtom d'antihidrogen és igual que l'àtom d'hidrogen però cada una de les dues partícules és d'antimatèria. De moment no s'ha aconseguit estructures més complicades d'antimatèria.

Les reaccions de matèria i d'antimatèria tenen ja aplicacions pràctiques a la medicina, per exemple en la tomografia d'emissió de positrons (PET) que serveix per fer mapes en capes del cervell.

### 2.3 Els colors dels quarks

Igual que els electrons i els protons tenen càrregues elèctriques, negatives i positives, els quarks tenen unes càrregues molt especials, aquestes càrregues no són de dues menes (positives i negatives) com la càrrega elèctrica, sinó que n'hi ha de tres menes. El primers que ho van descobrir van posar el nom de tres colors a aquestes càrregues: vermell, verd i blau i a la càrrega se li diu color del quark.



Els colors del quarks no són fixes, el quarks tenen la propietat d'intercanviar entre sí els colors d'una forma completament aleatòria. No es coneix gaires cosa dels colors dels quarks, ja que és una propietat molt sotil difícil d'estudiar. Hi ha unes partícules molt especials, les veurem més endavant, es diuen els bosons que són les responsables del canvi de colors entre el quarks.

Els antiquarks també tenen color són una altres tres colors, unes càrregues diferents que les tres primeres, es diuen antivermell, antiverd i antiblau.

## 2.4 Leptons

La paraula leptó ve d'una paraula grega que vol dir lleuger, s'han anomenat així per què els leptons tenen una massa molt petita i poden agafar velocitats molt grans. Els leptons són una família de partícules elementals molt lleugeres. El leptons més coneguts és l'electró que com ja hem dit té una massa molt petita i pot arribar a velocitats molt pròximes a la de la llum.

A més de l'electró hi ha 5 altres leptons més, tots plegats són:

**electró  $e$**

**muó  $\mu$**

**tauó  $\tau$**

I les seves parelles:

**neutrí electrònic  $\nu_e$**

**neutrí muònic  $\nu_\mu$**

**neutrí tauònic  $\nu_\tau$**

El muó és com un electró més gran, té també una càrrega elèctrica negativa igual que la del electró però és uns 200 cops més gran. El tauó també té la mateixa càrrega elèctrica negativa que l'electró però encara és més gran que el muó, és unes 3500 vegades més gran que l'electró.

Tant el muó com el tauó tenen una vida curtíssima, és a dir des de que són creats fins que desapareixen passa molt poc temps, de l'ordre de milionèsimes de segon. Tant el muó com el tauó com tots els neutrins són creats per les interaccions d'altres partícules.

Cada neutrí va lligat a un del altres leptons que és l'origen d'ell per col·lisions, són partícules sense càrrega elèctrica i són molt petites. La seva existència va ser suggerida primer que la seva detecció. Fins fa molt poc no se sabia si els neutrins tenien massa, ara es coneix que en tenen però és molt petita, els tres neutrins tenen la mateixa massa que és de l'ordre de 200.000 vegades més petita que la massa de l'electró.

El principal origen dels neutrins està en el sol, degut a les reaccions atòmiques que s'hi produeixen el sol és una enorme focus de neutrins.

Com que els neutrins tenen tan poca massa, que són pràcticament insensibles a l'atracció gravitatòria, i com que no tenen càrrega elèctrica són insensibles a les forces electromagnètiques (veurem més endavant), per tots aquests motius són partícules que

poden travessar la matèria, passant per les parts buides entre els àtoms sense que tinguin cap interacció, sense que siguin atretes o repel·lides per altres partícules, o sigui, que poden viatjar el línia recte per dins de la matèria, igual que la llum passa per dins del vidre.

Per aturar la meitat de les partícules d'un raig de neutrins es necessitaria un bloc de plom d'un any llum (65.000 vegades la distància de la terra al sol) d'espessor.

És famós el primer experiment realitzat per detectar neutrins, va ser fet en una antiga mina d'or molt profunda a Dakota del Sud, es sabia que un isòtop del clor podia reaccionar amb un neutrí donant argó. L'experiment va donar positiu i es va poder mesurar la quantitat de neutrins que provenien del sol. Aquesta quantitat és esgarrifosa, a nivell de la Terra es reben 50 mil milions de neutrins per centímetre quadrat cada segon. Es pot dir que constantment una persona, estigui al sol o a l'ombra, sigui de dia sigui de nit, està rebent, i està travessada, per mils de milions de neutrins cada segon sense adonar-se'n.

(Perquè es va fer tant a sota terra aquest experiment?)  
(perquè a la nit també estem travessats per neutrins si aquests venen del sol?)

Tal com hem dit anteriorment, cada un dels sis leptons té el seu corresponen antileptó, amb la mateixa massa però negativa i amb la mateixa càrrega elèctrica (els que en tenen) però positiva.

A l'any 1930 **Wolfgang Pauli** va observar que en la descomposició del neutró

**neutró -> protó + electró**

era una reacció que conserva la càrrega elèctrica, però dóna un excés de massa (o d'energia). Pauli va suggerir que en aquesta reacció hi faltava sumar-hi una partícula que havia de tenir una massa negativa però summament petita. Aquesta partícula, sense càrrega, tant petita es va fer molt difícil de detectar, cosa que es va fer 25 anys més tard, era un antineutrí. Es calcula que la secció mitjana (la secció exacta no es pot calcular) d'aquesta partícula és de  $10^{-44}$  cm<sup>2</sup>. Actualment coneixem aquesta partícula com antineutrí electrònic, es representa com  $\bar{\nu}_e$ . La descomposició anterior es completa així:

**neutró -> protó + electró +  $\bar{\nu}_e$**

El antineutrí electrònic és l'antimatèria del neutrí electrònic.

Els leptons junt amb els quarks formen un conjunt de partícules que s'anomenen **fermions** en honor del físic italià **Enrico Fermi**. El nom de neutrí, o el més conegut neutrino, el va posar Enrico Fermi, vol dir neutró petit.

Alguns divulgadors de la ciència identifiquen l'electró amb un gat, el tauó amb un tigre, el muó amb un lleó i els neutrins amb les puces que porten cada un dels tres felins.

Un esquema de les partícules que portem esmentades, en matèria positiva és:

Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom
Leptons	$\nu_e$ e- Neutrino	$\nu_\mu$ $\mu$ - Neutrino	$\nu_\tau$ $\tau$ - Neutrino
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
			I    II    III
The Generations of Matter			

## 2.5 Bosons

Hi ha una sèrie de partícules especials les responsables de totes les interaccions (forces) entre les demés partícules, són els bosons. Els principals bosons són:

**fotó    gluó    bosó W    bosó Z    gravitó**

El nom de bosó està posat en honor del savi indi **Satyendra Nath Bose**.

Imaginem-nos una pista de gel amb dues persones que porten patins i que es van passant una pilota de bàsquet de l'una a l'altra. Quan el primer tira la pilota a l'altra, per l'efecte d'acció-reacció, la pilota anirà en direcció a l'altra persona però el que l'ha tirat es desplaçarà en sentit contrari. Quan la segona persona rebi la pilota, l'impuls d'aquesta la farà desplaçar-se en la mateixa direcció de la pilota, tindrem que les dues persones es van allunyant. Quan la segona persona torni la pilota reforçarà el seu impuls cap enrera, i d'aquesta forma les persones s'aniran separant una de l'altra mentre es van passant la pilota.

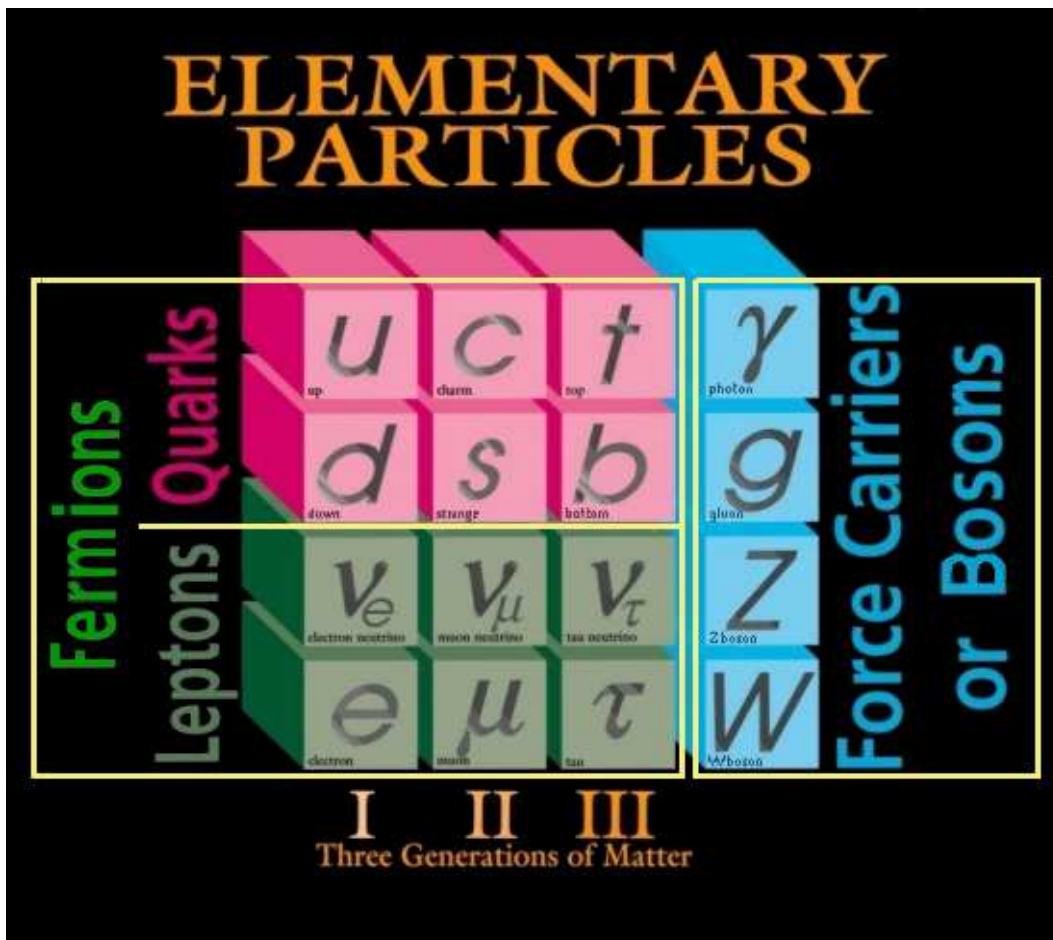


Aquest exemple és una analogia de les interaccions de partícules, en que les persones representen a les partícules en interacció i la pilota representa un bosó. Llàstima que aquest exemple solament visualitza forces de repulsió. Totes les forces que es poden exercir es realitzen per un intercanvi de partícules, els bosons són aquestes partícules que s'intercanvien, per això als bosons també es diuen partícules transportadores de força.

Cada partícula elemental emet una partícula "portadora de força" que xoca amb altres partícules que l'absorbeixen. Si en l'emissió de la partícula de força la partícula emissora recula també ho farà la partícula receptora. En canvi si en el moment d'emetre la partícula de força l'emissor avança la partícula receptora també avançarà cap l'emissor.

Els bosons són aquestes partícules portadores de força (com la pilota en l'analogia)

En el quadre adjunt podem veure classificades les principals partícules elementals



## 2.6 Forces fonamentals

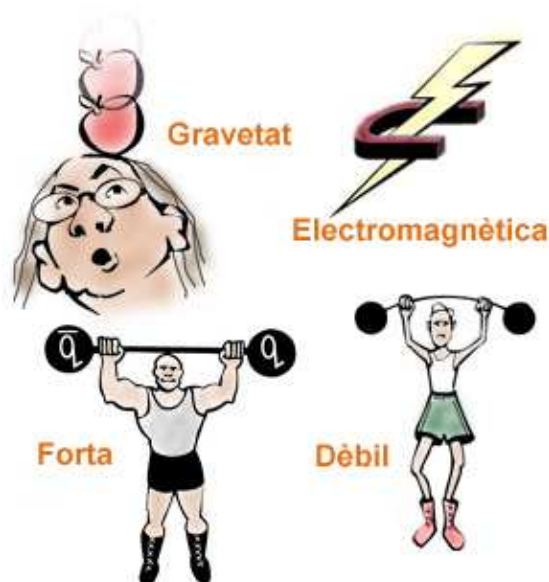
Totes les forces que es una persona pot apreciar a la vida normal es poden classificar solament en dos tipus: forces gravitatòries i forces electromagnètiques. La força gravitatòria és la força d'atracció de les masses, és la fa caure totes les coses (recordeu la poma de Newton) ja que la terra, amb una gran massa, atrau a tots els objectes cap el seu centre. La força gravitatòria és la que regeix el moviment el·líptic dels planetes, dels sistemes solars i de les galàxies. Amb les lleis de Newton i les correccions de la relativitat d'**Einstein** es poden explicar tots aquests moviments esmentats.



L'altre força, la força electromagnètica és la causant del funcionament dels motors elèctrics: aspiradora, batidor, ventilador,... , també és responsable del funcionament dels motors de vapor o de combustió: màquines de trens de vapor, cotxes, motos,... , i és responsable de que la força de gravetat no se'ns endugui més al interior de la superfície terrestre, o de que els ponts s'aguantin drets. La pròpia força muscular és una força electromagnètica.

El fonament de les forces electromagnètiques està en les forces d'atracció o de repulsió que exerceixen les càrregues elèctriques. Fixeu-vos que la força gravitatòria és una força d'atracció, sempre les masses s'atrauen una a l'altre. En canvi la força electromagnètica tant pot ser d'atracció com de repulsió, depenent del signe i la velocitat de les càrregues. Tornarem a examinar aquest tipus de força més endavant.

Amagades de la vista humana existeixen dues altres tipus de forces, que s'anomenen força forta i força dèbil, el seu radi d'acció és molt petit, la seva acció sols actua a nivell atòmic. La força forta és la responsables de que els quarks no es separin i així formin protons o neutrons. La força dèbil és la responsable dels canvis o transformacions que sofreixen algunes partícules, és una força molt estranya i com que és tant petita va costar molt als físics d'estudiar-la.



Un tema d'investigació punta és la recerca d'una teoria, una sola, que expliqui el comportament de les quatre forces, aquesta hipotètica teoria s'anomena "Teoria Unificadora de Camps". Recordem que **Maxwell** va unificar en una sola teoria (equacions de Maxwell) tots els coneixements que es tenien de magnetisme i d'electricitat. Penseu que Einstein va morir intentant de trobar aquesta teoria unificadora. Si Einstein no ho va trobar deu ser que aquest propòsit no és gens fàcil. Sembla que ja s'ha trobat i comprovat una teoria que unifica les forces electromagnètiques amb les forces dèbils.

Cada una d'aquestes teories són eminentment matemàtiques, són una o diverses fórmules complicadíssimes que en els seus desenvolupaments van explicant tots els casos que es presenten. En la última frontera de la investigació matemàtica ha aparegut una teoria, *teoria de les cordes*, que sembla unificar tots els quatre camps de forces. Aquesta teoria, a més de ser supercomplicadíssima (l'espai té 11 dimensions!!) no està encara ben contrastada.

## 2.7 Partícules transportadores de força

Ja s'ha estudiat que els bosons són les partícules transportadores de força. Anem a veure ara quina o quines partícules són les que transporten cada una de les quatre forces fonamentals.

El gravitó és un bosó responsable de la força d'atracció gravitatòria, és la "pilota" que s'intercanvien les partícules per atreure's. La força gravitatòria sempre té el sentit d'atracció. L'existència d'aquesta partícula és una conseqüència necessària de la Mecànica Quàntica (teoria que estudia el comportament de les partícules atòmiques) però la seva existència no ha estat mai comprovada fins el moment, per això no surt en la taula anterior.

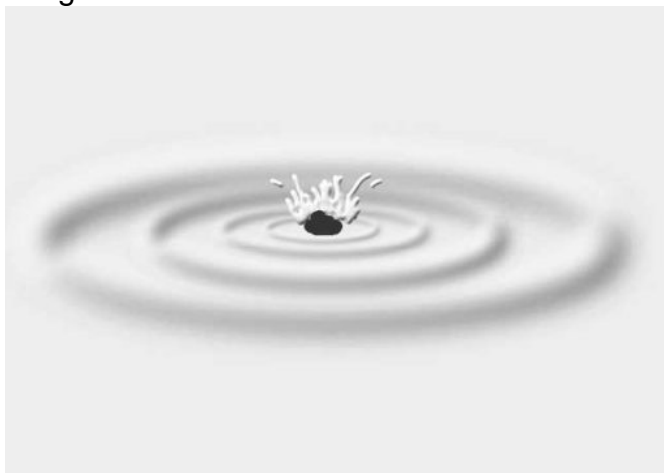
El fotó és el bosó responsable de la força electromagnètica, un intercanvi de fotons entre les partícules amb càrrega elèctrica fa que aquestes s'apartin o s'acostin. La força electromagnètica pot tenir els dos sentits tant d'atracció com de repulsió.

El gluó és el bosó responsable de la força forta, és una espècie de pega d'enganxar que està entre els quarks i no els deixa separar.

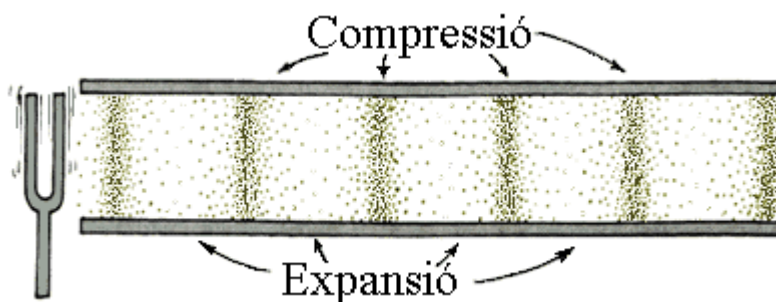
Els bosons  $Z$  i  $W$  són els que porten la força dèbil i són els responsables del canvi de color dels quarks i del canvi de "gust" dels neutrins.

## 2.8 Ones

Hi ha ones de diferent naturalesa, per exemple, les ones del mar que són un moviment en vertical de masses d'aigua, anàlogament a les ones que es produeixen quan cau una pedra a un estanc llis d'aigua.



Hi ha també les ones sonores, el soroll, es tracte d'una compressió i descompressió seguits de l'aire en forma d'esferes, esferes concèntriques si l'emissor està aturat.



Hi ha un altre tipus d'ones, les ones electromagnètiques, que en el fons encara no es coneix que és exactament (mireu el paràgraf següent) però el seu comportament és calcat al dels altres tipus d'ones: es sumen, es difracten, etc. Aquests tipus d'ones són les que envien les senyals de radio, de tv, de mòbils, etc.

La mida que hi ha des d'una cresta màxima d'una ona fins la cresta màxima següent es diu longitud d'ona, és la longitud d'una oscil·lació, es sol indicar per  $\lambda$ . El nombre d'oscil·lacions per segon que passen per un punt es diu freqüència, que s'indica per  $f$ . Si la velocitat d'una ona  $v$  es mesura en metres per segon,  $\lambda$  es mesura en metres i  $f$  en oscil·lacions per segon, és fàcil veure que

$$v = \lambda f$$

## 2.9 La massa com una ona

Cada electró té una massa i per això es pot considerar una partícula, és com un granet de pols extraordinàriament petit, però tots els intents per calcular la posició exacta d'un electró dins d'un àtom no han tingut èxit. Hi ha un principi (Principi de la Incertesa d'**Heisenberg**) que ens diu que aquest propòsit és impossible de realitzar. Un electró ocupa un espai, com un globus al entorn del nucli, i sempre estarà situat a qualsevol punt d'aquest globus és com si tot el globus fos l'electró. Amb aquesta forma de veure-ho l'electró es comporta com si fos una ona. És més, totes les mesures que es poden fer a una ona: difracció, freqüència, longitud d'ona, etc, han resultat positives, és pot dir, doncs, que un electró és una ona.

Resulta doncs, paradoxa incomprensible, que quan és mesura un electró com si fos una partícula, aquest es comporta com una partícula, o sigui és una partícula. En canvi quan es mesura a un electró com si fos una ona aquest es comporta com una ona, o sigui és una ona. Aquest fenomen tant estrany passa també per a totes les partícules elementals. La física moderna accepta que els dos conceptes de massa i d'ona van sempre units i es pot dir que es tracta d'un mateix concepte que pels humans té dues formes de veure's.

La idea de la dualitat partícula-ona va ser proposada per primera vegada pel Príncep **Louis De Broglie**.

És interessant recordar una cèlebre polèmica que hi va haver entre dos savis anglesos, **Newton** i **Huygens**, a finals del segle XVIII, el primer defensava que la llum era una raig de partícules, mentre que el segon defensava que era una ona. La polèmica va ser sonada i va transcendir dels medis científics de l'època per arribar a un gran sector social. En un principi l'opinió científica general donà la raó a Newton, però ara, des de fa uns 100 anys s'accepta que els dos tenien raó, encara que sembli impossible.

## 2.10 Fotó

Una partícula elemental, molt interessant per aquest curs, és el fotó. El fotó és un bosó, es pot considerar una partícula, o bé una ona, té una massa extraordinàriament petita, milions de vegades més petita que la del electró, fins fa poc s'acceptava que no tenia massa. Aquesta partícula apareix en les col·lisions entre altres partícules. És la partícula transportadora de les forces electromagnètiques.

El fotó és la partícula de la llum visible, és la partícula de les ones de radio i de tv, de les ones dels mòbils, dels microones, i de les transmissions per satèl·lits, són en general les partícules de les ones electromagnètiques. La diferència entre els fotons que formen la llum i els que formen les ones de qualsevol transmissió no és res més que la longitud d'ona (característica que veurem més amunt).

Com es veu el fotó pot tenir molts aspectes, no tant sols com a partícula i com a ona, sinó que com a ona pot tenir infinites longituds d'ona. Amb diferents longituds d'ona i per un mateix fotó podem tenir: llum, infrarojos, ultraviolades, camps del microones o camps electromagnètics en general.

El fotó a través de l'espai buit de l'univers té una vida gairebé eterna i per això es pot traslladar fins quasi l'infinit. La llum de les estrelles que s'observa des de la terra fa molt temps que es van emetre i ara arriben, en molts casos fa milions d'anys que van sortir de l'estrella, o sigui que el que veiem d'algunes estrelles va passar fa milions d'anys.

Jugant amb les longituds d'ona dels fotons es poden enviar missatges a llargues distàncies, com tindrem ocasió de veure més endavant. La gran majoria de transmissions actuals; tv, radio, fibra òptica, per satèl·lits,... es fan utilitzant raigs de fotons dels que s'utilitzen de diferents freqüències i tractades de diferents formes ens proporcionen les diferents formes de transmissió.

## 2.11 Reflexió final

El seguit de descobriments de partícules elementals ha estat com el joc de les nines russes, es treu la primera capa, la nina de sobre, i es descobreix una segona nina més petita, es treu aquesta segona nina i se'n descobreix una tercera, i així successivament fins arribar a l'última, la que podríem dir fonamental. Igual ha passat amb les partícules, primer es coneixien partícules relativament grans, les molècules, després els àtoms, es va veure que els àtoms tenien una certa estructura ja que hi havien electrons, neutrons i protons, i així va anar continuant.

Després d'haver "trecat" en trossos tant petits la matèria, tal com hem anat explicant, es pot dir que les partícules que ara coneixem són fonamentals, o sigui que ja no es poden descompondre més? Pot venir un dia en que es descobreixi que els quarks tenen una estructura composta d'uns altres elements? Ha de tenir fi aquesta descomposició?



# 3 CIRCUIT ELÈCTRIC, CORRENT CONTINU

## 3.1 Corrent elèctric

Hem comentat que els àtoms poden desprendre electrons de la seva última capa amb certa facilitat. Aquesta facilitat també depèn del material, hi ha àtoms que aquest fenomen és més fàcil i d'altres que és més difícil. Doncs bé, en certes condicions es pot generar un corrent d'electrons que van saltant d'un àtom a l'àtom veí d'una forma continuada i en una mateixa direcció. A aquest fenomen se li diu corrent elèctric. Dins d'un conductor elèctric d'una instal·lació domèstica hi passa simplement un flux d'electrons per entre els seus àtoms.

## 3.2 Materials conductors i aïllants

Hi ha materials que resulta molt fàcil fer circular electrons entre els seus àtoms, són els materials bon conductors elèctrics, això passa amb tots els metalls i les seus aliatges, com per exemple l'or, el coure, el ferro, etc.

També hi ha materials que resulta gairebé impossible establir aquest flux, són els materials aïllants, per ells no hi passa el corrent elèctric, són aïllants, per exemple, el vidre, la fusta seca, la porcellana, etc.



## 3.3 Circuit elèctric

Imaginem-nos un conductor, per exemple un cable de coure, en el que s'hi ha establert un corrent elèctric, és a dir, hi ha un flux d'electrons que van avançant pel cable, quan aquests arriben al final del cable no poden continuar i com que no es poden emmagatzemar en lloc, el flux es pararia. Per tal d'establir un corrent elèctric permanent els electrons que arriben al final del cable s'han de recuperar en el principi del cable, o sigui, per tal de que existeixi un corrent elèctric en un cert període de temps s'ha de tancar el circuit, s'ha d'unir la part final del cable amb la part del principi, s'ha d'establir una espècie d'O, és el que direm un circuit elèctric. Es diu que tots els corrents elèctric tenen un conductor d'anada i un altre de tornada a fi d'establir el circuit tancat que hem dit, per això en les instal·lacions domèstiques un cordó elèctric està format per dos cables, un d'anada i un altre de tornada per poder tancar el circuit.

### 3.4 Intensitat d'un corrent elèctric

La intensitat d'un corrent elèctric, que es simbolitza per una  $I$ , és la quantitat d'electrons que passen per un punt del circuit en un temps determinat. Quant més electrons passen en un segon més gran serà la intensitat d'aquell circuit.

Ara bé, la quantitat d'electrons pot ser una quantitat immensa i difícil de manejar, per això s'ha substituït la quantitat de electrons per la quantitat de coulombs, que són dues magnituds proporcionals, i els coulombs és una mida més manejable. (veure paràgraf 1.4) La unitat més usada de la intensitat són els ampers. Un amper es defineix com la intensitat d'un corrent elèctric en la que passa un coulomb cada segon. Aquest nom s'ha posat en honor del físic francès **André Marie Ampère**.

### 3.5 Diferència de potencial

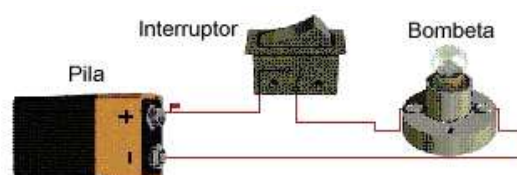
Si empallem els dos extrems d'un cable elèctric, tal com hem dit més anteriorment, no es produirà cap corrent elèctric en aquest cable. Pel sols fet de tancar un circuit elèctric no s'hi estableix cap corrent. Per tal d'establir un corrent elèctric en un circuit s'hi ha d'aplicar una "força" a dins del circuit que obligui als electrons a circular, sense aquesta força els electrons no es mouen.

Aquesta força que fa moure els electrons s'aconsegueix per mitjà d'un generador que s'interposa entre els dos extrems del circuit, hi ha diferents tipus de generadors, hi ha les dinamos, les piles, les bateries, etc. Un generador es pot simbolitzar per dues rallades paral·leles una més llarga i prima que l'altre, també es pot simbolitzar per un cercle amb una ratlleta al mig.



La força que es col·loca en un circuit per fer moure els electrons es diu diferència de potencial, que es simbolitza per una  $V$ , i com que hi ha forces més grans i forces més petites hi ha una unitat per mesurar-la, es diu volt. Es defineix un volt com la diferència de potencial que aplicada en un circuit produeix un corrent d'un amper amb la despesa d'un wat de potència. Aquesta unitat es nomenada així en honor al físic italià **Alessandro Volta**.

A la diferència de potencial també se li diu voltatge a causa de la seva unitat de mesura, en aquest curs utilitzarem indistintament les dues formes.

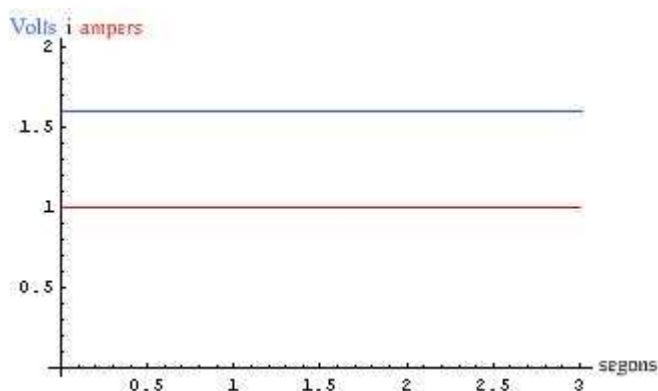


### 3.6 Corrent continu

Si tinguéssim un supermicroscopi que podes veure els àtoms i els electrons i l'enfoquéssim a dins d'un conductor d'un circuit elèctric, veuríem que hi ha electrons que es mouen, tots van en una direcció, d'esquerra a dreta per exemple. Si podéssim marcar d'alguna forma a un electró de manera que es podés identificar, veuríem que aquest electró passa diferents cops per el mateix punt i en la mateixa direcció, això vol dir que l'electró va donant voltes al circuit.

A aquest tipus de corrent, en que la direcció del moviment dels electrons sempre té el mateix sentit, es diu corrent continu.

Un corrent continu pot tenir diferents intensitats en diferents temps, la característica essencial del corrent continu és la direcció del corrent d'electrons que sempre ha d'ésser la mateixa, un corrent continu pot tenir estones que hi circulin molts electrons i estones que hi circulen pocs electrons, però sempre van en la mateixa direcció.



Aquí hi ha una representació gràfica del voltatge i la intensitat d'un corrent continu constant, l'eix horitzontal representa el temps i el vertical representa la intensitat i el voltatge, la gràfica representa un corrent de 1,6 volts i 1 amper.



Un llamp és una gran descàrrega elèctrica (un gran raig d'electrons) entre dues parts: els núvols que en la seva part inferior estan carregats negativament i la superfície de la terra.



### 3.7 Resistència

Imaginem-nos que disposem d'un generador, una pila de petaca de 2,5 volts, o sigui que entre els dos pols de la pila hi ha una diferència de potencial de 2,5 volts. Volem tancar el circuit, per això s'ha d'unir els dos pols de la pila per mitjà d'un conductor, que pot ser un simple cable, una bombeta, un transistor, etc.

Unim els dos pols de la pila per un cable elèctric normal (3 mm Ø) de 10 cm de longitud, tindrem un circuit tancat amb un diferència de potencial de 2,5 volts i amb una intensitat molt gran. Com que la intensitat és el que gasta a les piles, després de poca estona la pila estarà acabada i la intensitat s'haurà acabat, no hi haurà corrent pel circuit.

Unim, ara, els dos pols de la pila pel mateix cable però de 10 km de longitud, en aquest cas també tindrem un circuit tancat però ara la intensitat serà molt petita i la pila durarà molt més que en el cas anterior.

El primer circuit que hem explicat, el curt, tenia una resistència petita al pas dels electrons i en deixava passar molts, en canvi el segon circuit, el llarg, tenia una resistència gran al pas dels electrons i en podien passar pocs.

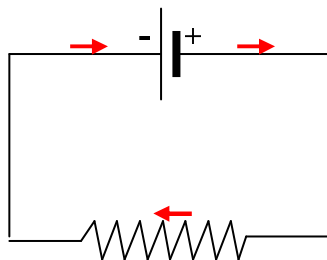
Podríem dir que la resistència d'un circuit és una força contrària a la diferència de potencial, aquesta empenya als electrons a circular pel circuit, en canvi aquella frena al electrons en el seu camí. Com a conseqüència, en un circuit amb molt voltatge (diferència de potencial) i poca resistència hi haurà un gran flux d'electrons (molta intensitat) ja que hi haurà molta força que els empeny i poca oposició al seu camí. En canvi si el circuit té poc voltatge i molta resistència hi haurà molts pocs electrons que hi circulin, doncs tindran poca força que els empenyin i molta oposició al seu avanç.

La resistència és una magnitud que s'indica per la lletra grega  $\Omega$  (omega majúscula) i es mesura en ohms. Quant més ohms tingui un circuit més resistència tindrà. Quan menys ohms tingui un circuit menys resistència tindrà.

El símbol gràfic de la resistència és el d'una línia dentada o bé també es sol fer per una línia en zig zag tal com es veu a continuació



El següent gràfic mostra un circuit sencer, amb el generador de corrent continu el conductor i la resistència, també hi està indicat el sentit del corrent



És fàcil comprendre, i es pot comprovar empíricament, que la resistència d'un conductor és proporcional a la seva llargada (quan més llarg més resistència) i és inversament

proporcional a la seva secció (quan més ample menys resistència). Amb aquestes consideracions la resistència d'un conductor es pot escriure com

$$\Omega = \rho \frac{l}{s}$$

on  $l$  és la longitud del conductor,  $s$  és la superfície de la secció del conductor,  $\Omega$  és la resistència i  $\rho$  és la constant de proporcionalitat que s'anomena resistibilitat. Es pot dir que  $\rho$  és la resistència d'un cable d'un metre de llarg i d'un centímetre quadrat de secció, quan més petit és  $\rho$  més bon conductor és el material que està fet el cable.

### 3.8 Llei d'Ohm

Hem vist en el punt anterior que hi ha una certa relació entre el voltatge (V), la resistència ( $\Omega$ ) i la intensitat (I). Quan s'augmenta el voltatge augmenta la intensitat, quan s'augmenta la resistència disminueix la intensitat. I a la inversa, quan disminueix el voltatge disminueix la intensitat, i quan disminueix la resistència augmenta la intensitat.

La llei d'**Ohm** (Del bavarès **Georg Simon Ohm**) fixa clarament la relació entre les tres magnituds: V,  $\Omega$ , I. La llei diu:

*La intensitat d'un circuit elèctric és directament proporcional a la diferència de potencial i inversament proporcional a la resistència.*

La traducció algebraica de la llei és :

$$I = k \frac{V}{\Omega}$$

Essent  $k$  el coeficient de proporcionalitat.

A partir de la llei d'Ohm i per simplificar els càlculs es defineix la unitat de resistència, que s'anomena ohm, com *la resistència d'un circuit que amb una diferència de potencial d'un volt deixa passar una intensitat d'un amper*. Amb aquestes unitats (volts, ampers i ohms) la llei d'Ohm queda més simplificada, així:

$$I = \frac{V}{\Omega}$$

En la que la constant de proporcionalitat és 1.

[http://www.xtec.es/~ccapell/llei\\_ohm/llei\\_ohm.htm](http://www.xtec.es/~ccapell/llei_ohm/llei_ohm.htm)

### 3.9 Analogia entre un circuit elèctric i una xarxa de distribució d'aigua

En una xarxa de distribució d'aigua tenim els tubs de distribució que es corresponen, per aquesta analogia, amb els conductors del circuit. La quantitat d'aigua que passa pels tubs es correspon a la intensitat que circula pels conductors. Segons sigui el diàmetre i la llargada dels tubs aquests posaran més o menys resistència a la circulació de l'aigua, aquestes característiques dels tubs es correspon a la resistència del circuit elèctric, ja hem vist que quan més ample és el conductor aquest deixarà passar més intensitat i quan més llarg sigui menys intensitat hi passarà, tal com passa amb els tubs d'aigua.

L'aigua ve d'un dipòsit situat a les afores de la població i en un lloc alt, La diferència d'alçades entre el dipòsit d'aigua i l'aixeta d'una casa es correspon amb la diferència de

potencial (voltatge) del circuit elèctric. Quan més diferència d'altura més força (pressió) empenyerà a l'aigua, i quan més voltatge més força empenyerà als electrons a circular.

És interessant fer veure que en l'analogia de la diferència d'alçada, també hi ha una coincidència terminològica, fixeu-vos: *diferència d'altures* i *diferència de potencial*. No és solament una analogia terminològica, sinó que respon una analogia real, el generadors elèctrics col·loquen a cada un dels seus pols un "potencial elèctric" diferent.

La diferència entre els dos sistemes està que el la distribució d'aigua no hi ha corrent de retorn, almenys a escala local, però sí que n'hi ha en un circuit elèctric.



# 4 CORRENT ALTERN

## 4.1 Corrent altern

El corrent que passa per les instal·lacions de casa nostra no és un corrent continu. Si miréssim a l'interior d'un d'aquest conductors pel supermicroscopi del paràgraf 2.6, veuríem que els electrons alternativament van passant primer de dreta a esquerra i després d'esquerra a dreta i així sense parar. Si podéssim senyalar d'alguna forma a un electró per veure el seu camí, veuríem que l'electró avança pel conductor una certa longitud i immediatament torna a recorre el mateix camí en sentit invers, seguidament torna a fer el mateix camí que el principi i torna enrera una altre volta, i així continuarà sempre fins que es talli el circuit i es pari el corrent. Aquest tipus de corrent s'anomena corrent altern.

## 4.2 Cicle, període i freqüència

El recorregut que fa un electró des de que comença el viatge cap a l'esquerra (o cap a la dreta) del conductor fins que torna a arribar a aquest mateix punt s'anomena **cicle**.

El temps, normalment en segons, que tarda un electró en realitzar un cicle es diu **període**.

La quantitat de cicles que es fan una unitat de temps, normalment un segon, es diu **freqüència**. Hi ha una unitat molt usada per mesurar la freqüència, són els **hertz** (en honor de l'alemany **Heinrich Hertz**) i es defineix com *el nombre de cicles per segon*.

EL corrent elèctric industrial, que és el que tenim a casa, és un corrent altern amb un període de 1/50 segons i una freqüència de 50 hertz. O sigui que els electrons canvien 100 vegades la seva direcció cada segon!

Fixeu-vos que si el període es mesura en segons i la freqüència en hertz, el producte de les dues magnituds sempre ha de donar 1. Per què?

## 4.3 Generadors de corrent altern

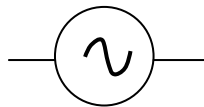
El generador de corrent alterna és l'alternador, trobem alternadors a les centrals hidràuliques, a les centrals tèrmiques (carbó o fuel), als molins eòlics, etc.

L'alternador es base en el fenomen d'*inducció elèctrica* que comentarem més amunt, es tracte d'aprofitar la força de la caiguda d'aigua, del vapor, o del vent, etc. Per fer rodar un imant a l'entorn d'unes bobines i crear d'aquest forma una diferència de potencial en els extrems de les bobines.

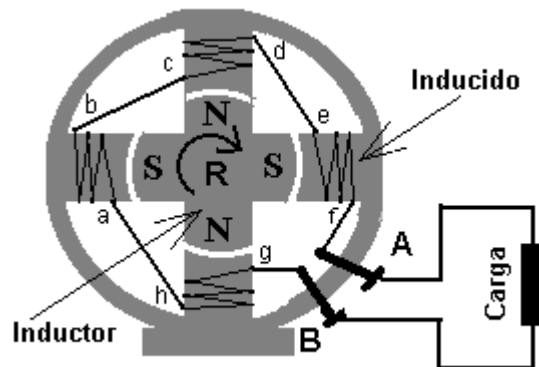
La diferència de potencial que crea un alternador és alterna, o sigui que passa d'un zero de voltatge, va pujant, passa un màxim, torna a baixar fins a arribar a un zero, en tot aquest temps hi ha una força que prem els electrons a circular en un cert sentit. A partir d'aquest moment s'inverteix el sentit del potencial, a partir d'ara la força en que s'empenyen als electrons serà en sentit contrari i els electrons tornaran a refer el seu camí, aquesta força negativa va augmentant fins un mínim i torna un altre cop cap al zero, on torna a començar el cicle.

La força que empeny, en un sentit i en un altre, als electrons està doncs en l'alternador, que degut a la seva forma mecànica de construcció va alternant aquesta força en un sentit i en un altre.

Un símbol gràfic d'un generador de corrent altern és:

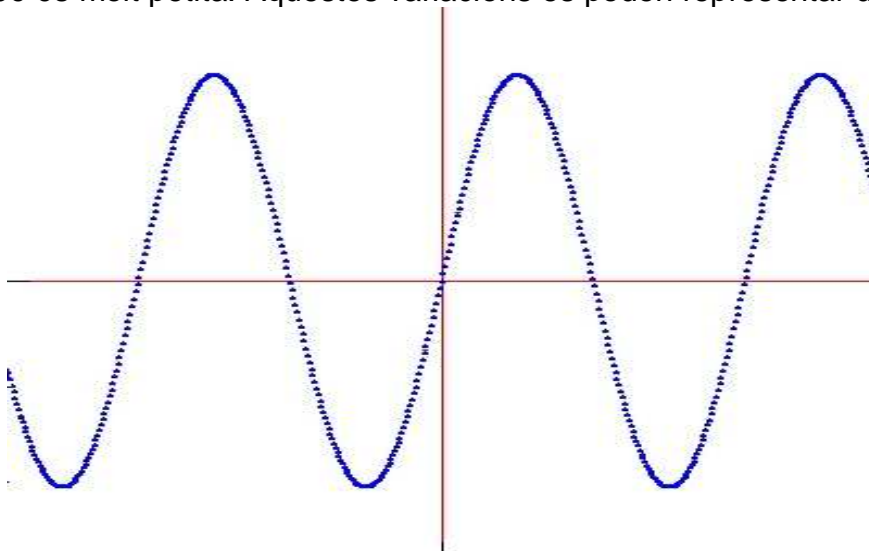


Un esquema d'un alternador pot ser:

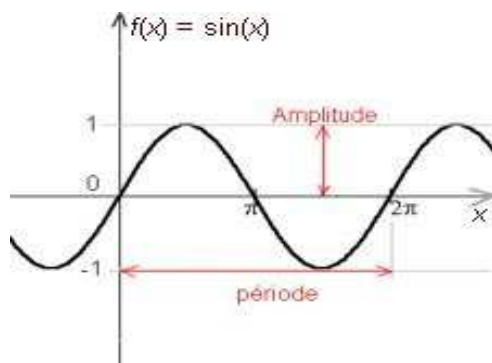


#### 4.4 Forma sinusoïdal del voltatge i de la intensitat

La variació del voltatge i de la intensitat dins d'un cicle ho fan sense brusquedat, podríem dir, d'una forma arrodonida, de manera que la variació d'aquestes magnituds en un temps molt petit també és molt petita. Aquestes variacions es poden representar d'aquesta forma:



Aquesta forma de gràfica es coneguda amb el nom de *sinusoide*, que correspon a la gràfica d'una funció molt coneguda en Matemàtiques, és la funció sinus. D'una forma matemàtica aquesta funció s'escriu  $f(x) = \sin(x)$ .



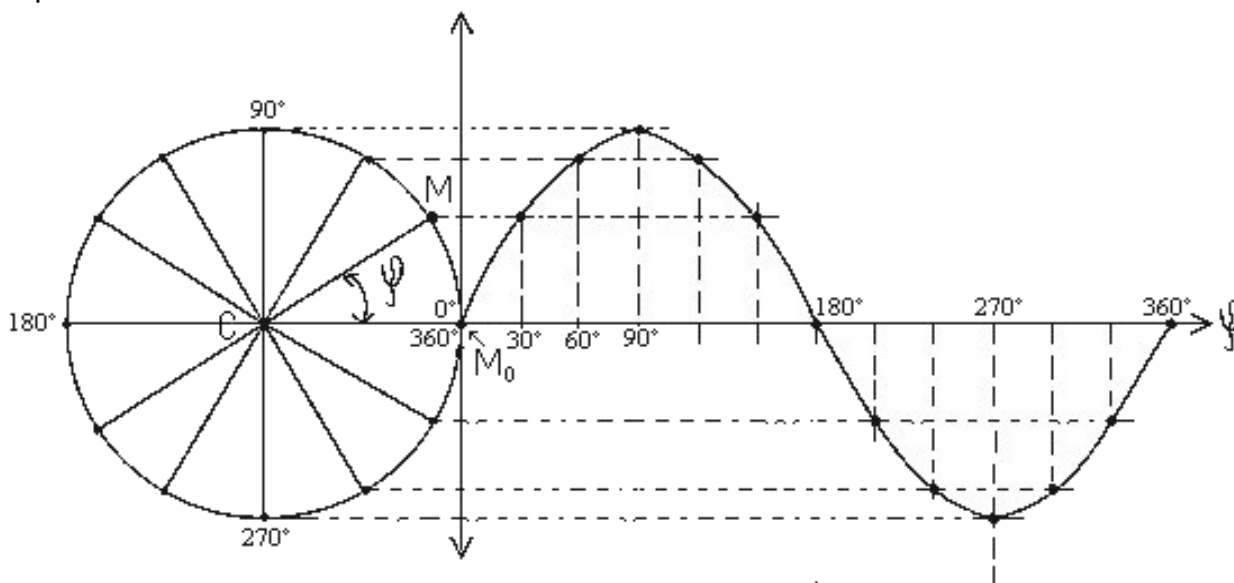
#### 4.5 Forma gràfica d'obtenir una sinusoide

Dibuixem una circumferència, traçarem una línia des del centre de la circumferència cap a la dreta, imaginem-nos un punt (com la M en el dibuix) que va circulant per sobre de la circumferència començant pel punt  $M_0$  (tall entre la línia i la circumferència)

El punt M queda determinat per l'angle que formen el radi inicial fix  $CM_0$  i el radi de M  $CM$ . En el gràfic que segueix hem representat aquest angle per  $\varphi$ , li direm angle  $\varphi$  del punt M. EL punt M té un altre paràmetre important, és l'alçada en que es troba respecte de la recta horitzontal  $CM_0$ , aquesta alçada és positiva per els punts de la semicircumferència superior i és negativa per els punts M de la semicircumferència inferior.

Els dos paràmetres; angle  $\varphi$  i alçada seran els valors que necessitem per representar una sinusoide. Agafarem solament uns quants punts M equidistribuïts per tota la circumferència, n'agafarem un mínim de 12, i que sigui en múltiple de 4.

Els angles  $\varphi$  de les 12 (o més) posicions triades es representen sobre la perllongació del radi  $CM_0$ , en el cas de la gràfica són els angles:  $0, 30, 60, 90, 120, \dots, 360$ . Per sobre de cada un dels punts anteriors (els dels angles) es marca un punt a l'altura corresponent del punt M. D'aquesta forma obtindrem una sèrie de punts que units convenientment proporcionen la corba sinusoide.



## 4.6 Intensitat i voltatge en un corrent altern

Es diu que el voltatge del corrent elèctric domèstic és de 220 volts, però acabem de dir que en un corrent altern el voltatge, i la intensitat, són variables, arriben a un màxim i a un mínim, doncs d'on surten el 220 volts?. La mateixa pregunta podem fer per la intensitat.

En corrent alterna es defineix el voltatge eficaç i la intensitat eficaç, com el voltatge i la intensitat d'un corrent continu que faci el mateix treball que les del corrent altern. Si  $I_m$  i  $V_m$  són les intensitats i voltatges màxims d'un corrent altern, es pot demostrar que la intensitat eficaç i el voltatge eficaç són:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Així, quan en un corrent altern es parla de voltatge i d'intensitat es refereix al voltatge i a la intensitat eficaços.

## 4.7 Resistència

En un circuit de corrent altern també hi ha resistència i es defineix i es mesura de la mateixa forma. Un ohm és la resistència d'un circuit que deixa passar un amper amb un volt de diferència de potencial, tant l'amper com el volt són, tal com hem dit, la intensitat i el voltatge eficaços.

En un corrent altern, a més de la resistència, hi ha altre forces que s'oposen al moviment dels electrons són la impedància i la capacitat, que estudiarem més endavant del curs.

## 4.8 Perillositat d'un corrent elèctric

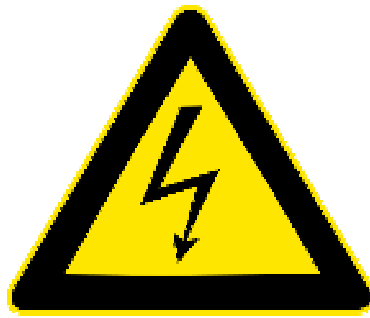
Pels nostres nervis, i també pel cervell, hi circulen corrents elèctriques que són les que trameten les ordres del cervell als diferents òrgans o viceversa. A més, el funcionament del cor està regulat per uns impulsos elèctrics que l'obliguen a contraure's o a expandir-se. Es pot dir que el cos humà està controlat per corrents elèctriques.

Qualsevol corrent elèctric extern que s'apliqui sobre el cos humà comportarà una alteració de les seves funcions, perquè alterarà les corrents normals que hi existeixen. Aquesta alteració tindrà conseqüències més o menys greu segons la intensitat del corrent aplicat i segons la zona del cos on s'aplica. Un corrent elèctric que passi pel cor pot causar lesions molt greus o fins i tot pot causar la mort de la persona. L'exposició a un corrent elèctric s'anomena electrocució.

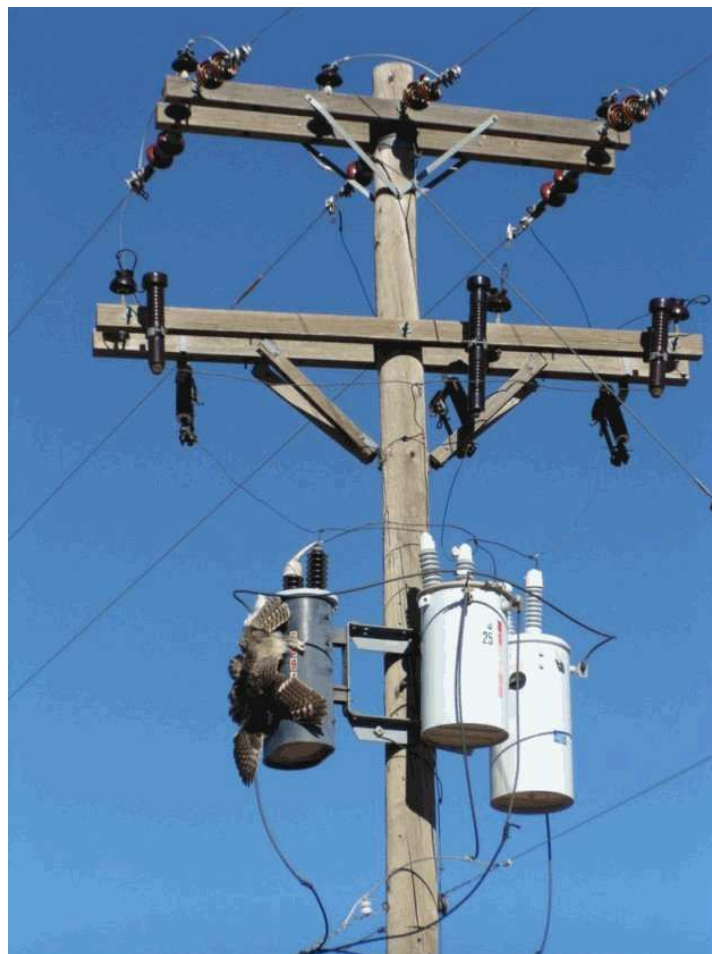
Per patir una electrocució, no és necessari està en contacte amb els dos fil d'electricitat amb una certa diferència de potencial, sinó que tocant-ne un de sol ja es pot tancar el circuit a través de terra, que encara que per terra hi hagi una resistència molt gran, sempre deixarà passar una certa intensitat que si passa pel cor (ma, braç, cos, cames, terra) pot ser perillosa.

El corrent de 220 volts, que es la que entra a les cases europees, és perillosa, pot causar cremades, arrítmies al cor, o fins i tot, si l'exposició és prolongada, pot causar la mor. Els

corrents d'alta tensió, que són la del les llargues línies transportadores, són molt més perilloses, per poca exposició que es tingui amb aquests corrents poden ser fatals.



Per què a un ocell posat sobre un fil d'una línia d'alta tensió no li passa res? Per què es moren més ocells grossos que petits per electrocució en el camp?.

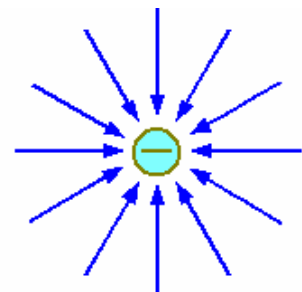
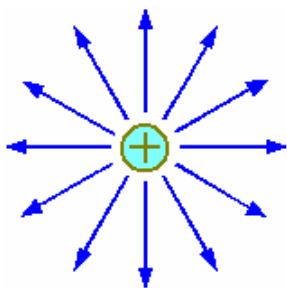




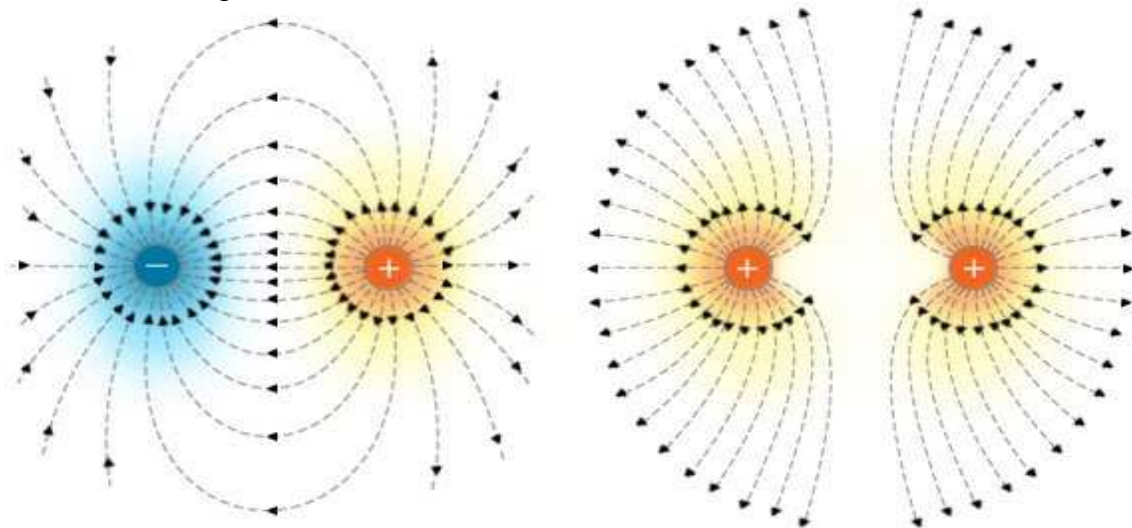
# 5 CAMP ELECTROMAGNÈTIC

## 5.1 Camp elèctric

Cada càrrega elèctrica estàtica (en repòs) crea a la regió dels voltants seu un camp elèctric, o sigui una zona en la que la presència d'altres càrregues elèctriques seran atretes o repel·lides amb una certa força. La intensitat d'aquesta força vindrà donada per la llei de Coulomb (1.3), la direcció de la força és la línia que uneix a les dues càrregues i el sentit de la força depèn del signe de les càrregues. L'existència del camp es pot simbolitzar així:



O si hi ha dues càrregues:



Les línies representen la direcció en que actuaria la força del camp sobre una càrrega positiva.

Pel sol fet d'existir una diferència de potència entre dos punts es crea al seu entorn un camp elèctric, per exemple en els borns d'una pila o d'una bateria, o bé també entre els dos terminals d'un endoll de casa.

## 5.2 Camp magnètic

Un imant atrau cap als seus pols les peces de ferro, es degut per què els imants creen un camp magnètic al seu entorn. L'agulla de les brúixoles s'orienta sempre en direcció nord sud i sempre la punta que apunta al nord és la mateixa. Això passa per què la terra es comporta com un immens imant creant un camp magnètic que orienta a les brúixoles. Aquest camp també és utilitzat per orientar algunes aus en les seves marxes migratòries i també orienta a algunes espècies de peixos.



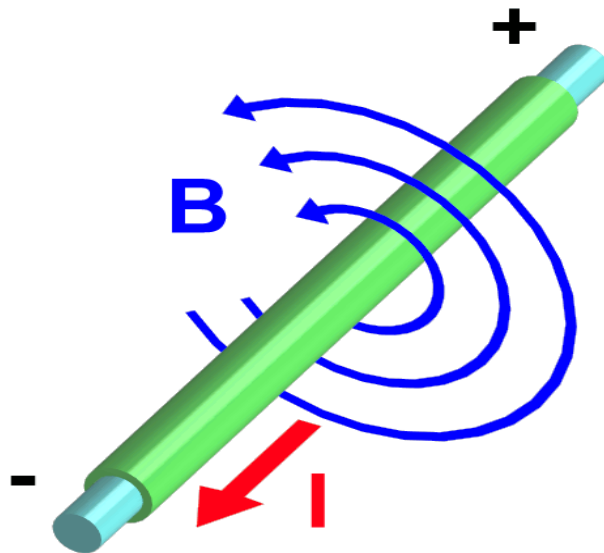
Una càrrega elèctrica en moviment crea al seu entorn un camp magnètic que és una zona on les càrregues elèctriques estaran sotmeses a una força, fenomen descobert per **Oersted** en observar que una brúixola es desviava quan s'acostava a un corren elèctric.

Els dos dibuixos següents representes els camps magnètics provocats per una càrrega elèctrica que es mouen en sentit perpendicular al paper, una que va de sota a sobre i l'altre de sobre a sota.



L'altre dibuix representa el camp magnètic  $B$  provocat per un corrent d'intensitat  $I$  circulant per un conductor.

La direcció del camp no coincideix amb la direcció de la força que s'aplicaria a una càrrega que estigués dins del camp, aquesta força depèn del moviment relatiu de les dues càrregues

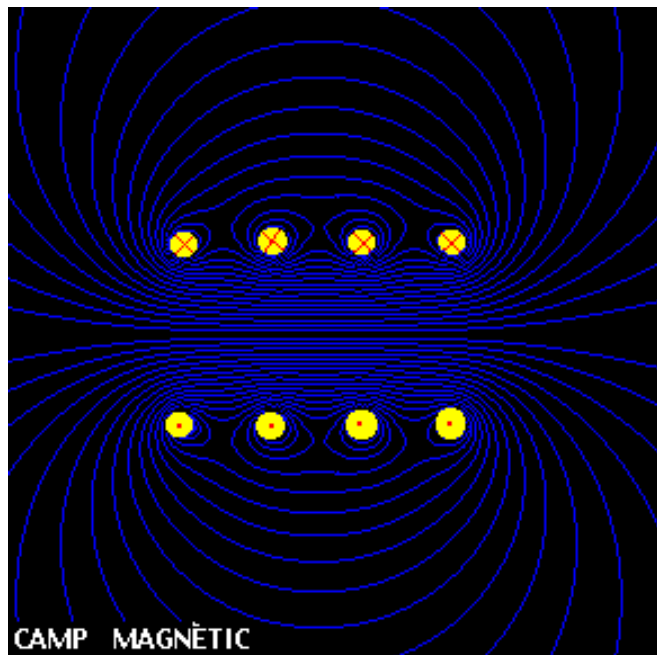


També en un imant, encara que no ho sembli, el camp magnètic que genera és degut a petites oscil·lacions d'electrons pel seu interior. També a l'interior de la Terra hi ha moviments de magma ionitzats que provoquen el magnetisme terrestre.

El ferro i l'acer, així com altres aliatges bons conductors del camps magnètics, o sigui, que mantenen la força del camp a certes distàncies. Per això aquests materials són usats en múltiples aparells, bàsicament motors, transformadors i alternadors.

Per crear un camp magnètic fort es sol utilitzar, en tots els aparells anteriors, una peça de ferro, o altre material magneto-conductor, en el que s'hi ha enroscat un cable. El pas de corrent pel cable provocarà un camp gran en el ferro. A aquest artlugi s'anomena bobina

En el gràfic següent es representa la secció d'una bobina i el seu camp magnètic.



Com que en canviar la direcció del corrent canvia l'orientació del camp, tindrem que els camps magnètics creats per corrents alternes són també alterns, canvien constantment d'orientació.



Un fenomen curiós provocat pel camp magnètic de la terra són les aurores boreals, causades pel xoc de les partícules carregades del sol amb el camp magnètic terrestre.

Una brúixola és una petita agulla imantada i per això és sensible als camps magnètics, en particular al camp magnètic terrestre, l'agulla esta aguantada per un sol punt en el seu centre i pot girar orientant-se en la direcció del camp, una de les puntes mirarà sempre al nord. No cal dir que aquest aparell és molt útil per orientar excursionistes i navegants.

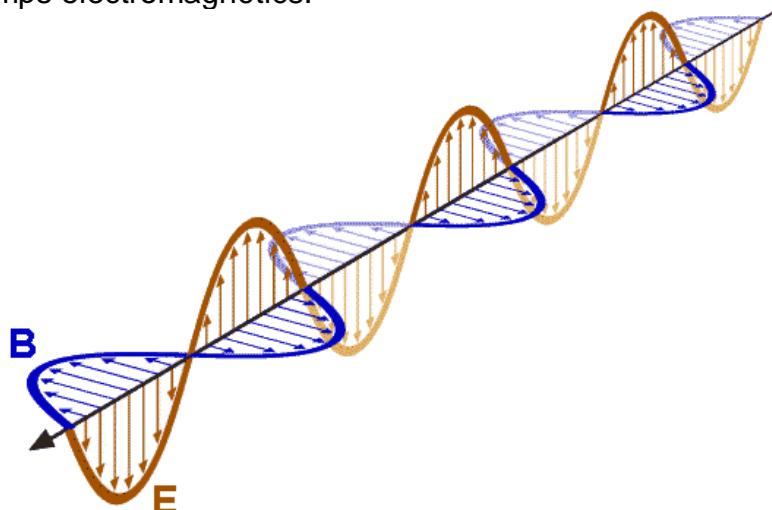


Algunes aus migratòries són sensibles als camps magnètics i d'aquesta forma es poden orientar en els seus viatges.

### 5.3 Camp electromagnètic

Tots els camps magnètics són en realitat una barreja d'un camp elèctric i un camp magnètic. La raó és ben senzilla, una càrrega en moviment crea un camp magnètic, però

la càrrega per ella mateixa i simultàniament, crea un camp elèctric. Aquests camps de força es diuen camps electromagnètics.



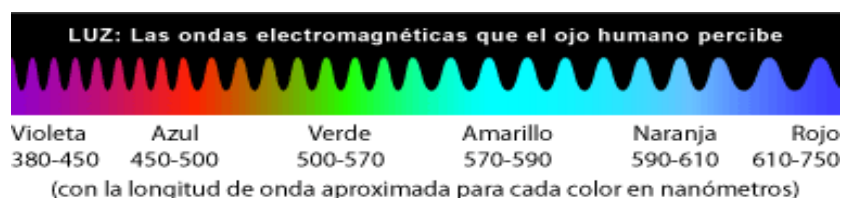
Les accions dels dos camps, elèctric (E) i magnètic (B), són perpendiculars entre sí seguint una sinusoide cada un, tal com està representat en el gràfic adjunt, on B indica el camp magnètic i la seva acció està sobre un pla horitzontal i E representa el camp elèctric actuant sobre un pla vertical.

Tal com hem dit els camps electromagnètics són raigs de fotons però també es poden considerar com ones, amb les seves longituds i freqüències. La velocitat en que es desplacen pel buit és pròxima a la velocitat de la llum 300.000 km/s o sigui  $3 \cdot 10^8$  m/s

## 5.4 Espectre electromagnètic

Els camps electromagnètics són extraordinàriament versàtils, poden tenir una longitud d'ona de  $10^{-18}$  metres fins a  $10^6$  metres. Una part petita d'aquesta diversitat d'ones és detectada per la vista humana, és la llum visible, va des d'una longitud d'ona de  $380 \cdot 10^{-9}$  m fins a  $780 \cdot 10^{-9}$  m, o sigui una molt petita part de tot l'espectre.

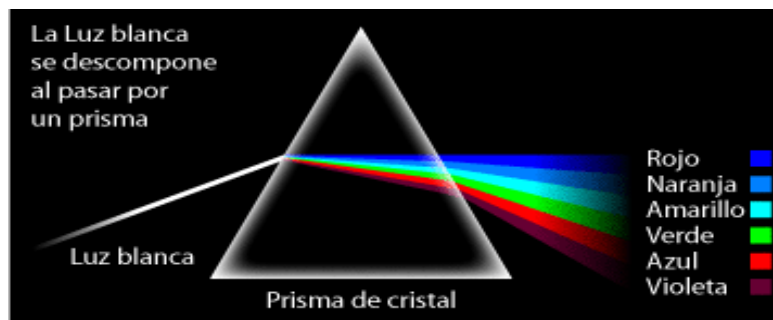
La llum que veiem és normalment de color blanc, aquesta llum és una barreja de molts altres colors. Segons quina sigui la longitud d'ona de la llum aquesta es presentarà amb diferents colors (colors de l'arc de Sant Martí). Mireu el quadre següent on es veuen els diferents colors i les seves longituds d'ones.



Si recordeu la Teoria dels Colors el blanc s'obté per la barreja del vermell, el verd i el blau, també dóna blanc la barreja de molts dels colors naturals, que és el que passa amb la llum del sol.

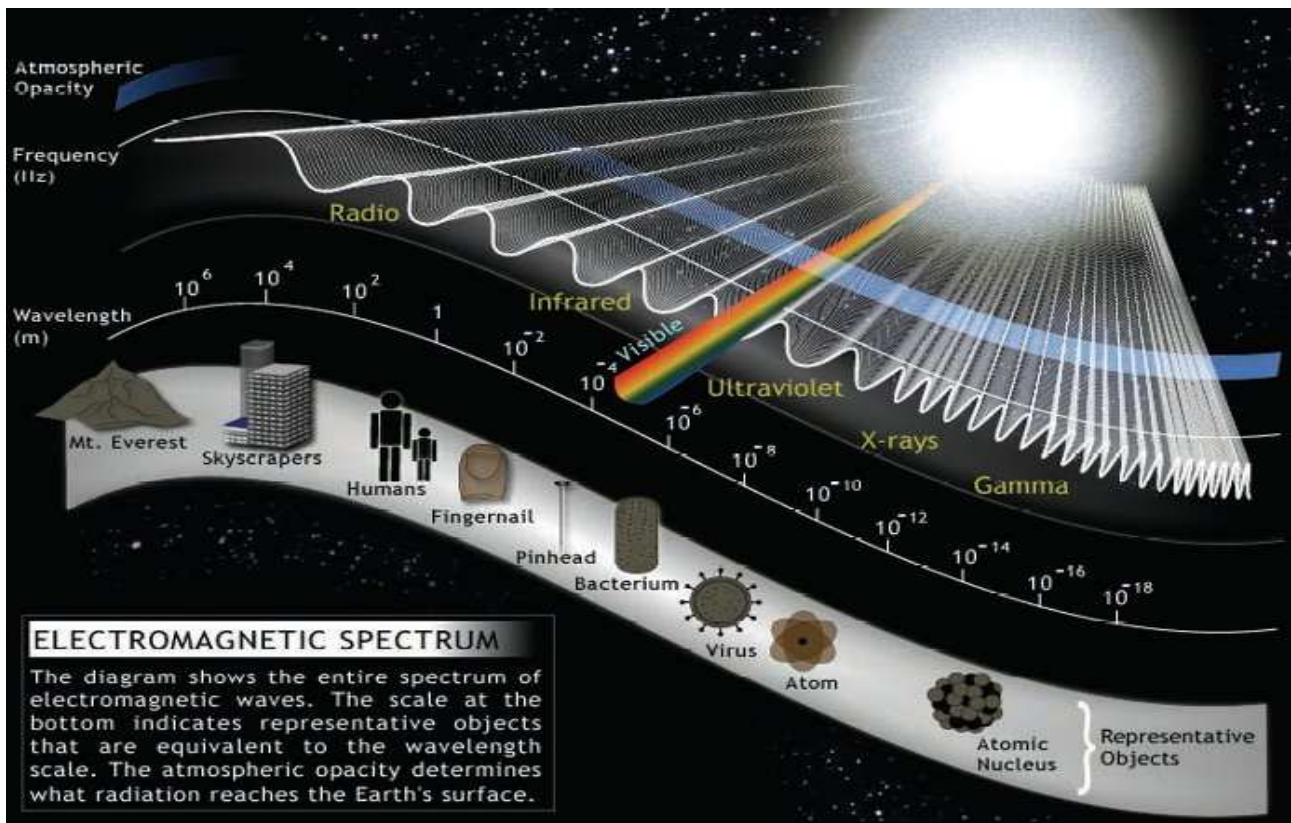


Un prisma de cristall pur separa la llum per les diferents longitud d'ones, tal com es veu en el gràfic següent, i el que passa quan la llum travessa els petits cristalls de gel que porten a vegades els núvols i es forma l'arc de Sant Martí.

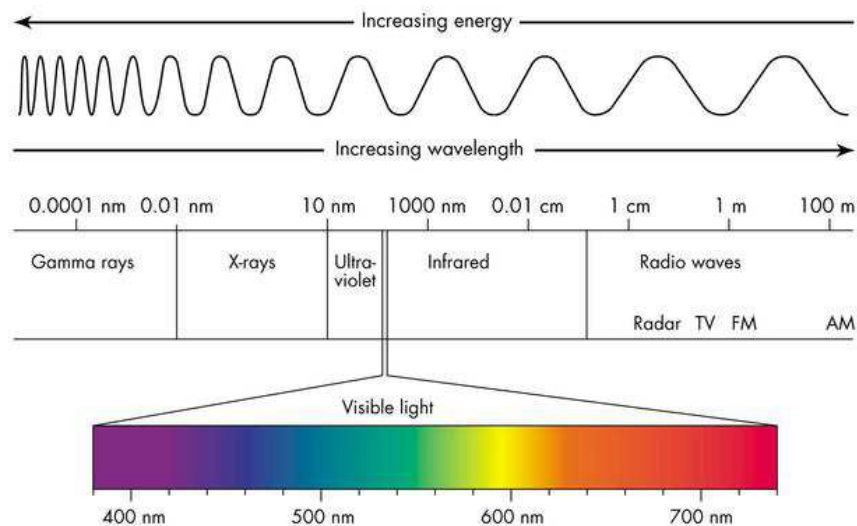


L'energia que porten els raigs electromagnètics és proporcional a la seva freqüència (**Karl Plank**), els raigs amb freqüència alta porten més energia i són més perillosos, una exposició llarga a raigs X o raigs gamma pot provocar malalties greus a una persona. Les transmissions usuals fan servir ones de freqüències baixes per evitar aquests inconvenients, les ones de radio, de televisió, del telèfons mòbils, dels radars, les centraletes dels bombers i de moltes companyies privades, els wireless de les xarxes, etc, tots aquest elements radien ones electromagnètiques. Es pot dir que una persona que viu en una ciutat d'un país desenvolupat està constantment travessat per ones electromagnètiques.

Fa un temps que hi ha una polèmica social a casa nostra per sospitar de la perillositat de les antenes de mòbils i del mateix ús dels mòbils. És clar que quant més a prop s'està d'una antena més concentrats estan els raigs que emet, i com que el mòbil s'usa al costat del cap, hi ha una por que els seus raigs puguin afectar el cervell. De moment no s'ha trobat cap resultat que pugui afirmar amb certesa les afeccions esmentades, no obstant la polèmica segueix.



Sabent que els camps electromagnètics, o els fotons, es traslladen a una velocitat propera a la velocitat de la llum, quina relació hi ha entre longitud d'ona i la freqüència? Perquè els microones escalfen l'aigua?



## 5.5 Llei de Lenz

La llei de Lenz (**Heinrich Lenz**) diu que si una espira es travessada per un camp magnètic variable a l'espira es crearà un corrent elèctric que es proporcional a la rapidesa en que varia el camp. O sigui com més ràpid varia el camp més gran serà la intensitat creada a l'espira (intensitat induïda).

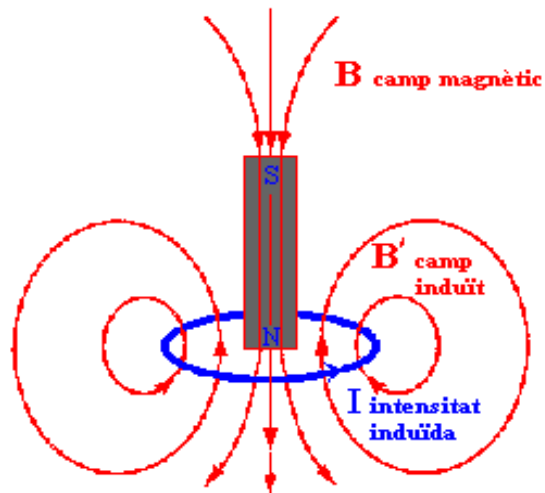
A la figura es veu un imant que es fica dins de l'espira. Quan l'imant està lluny de l'espira el camp magnètic que la travessa és dèbil, però a mida que l'imant es va apropant a

l'espira el camp magnètic que la travessa es va fent més gran i per la llei de Lenz es crearà una certa intensitat a l'espira.

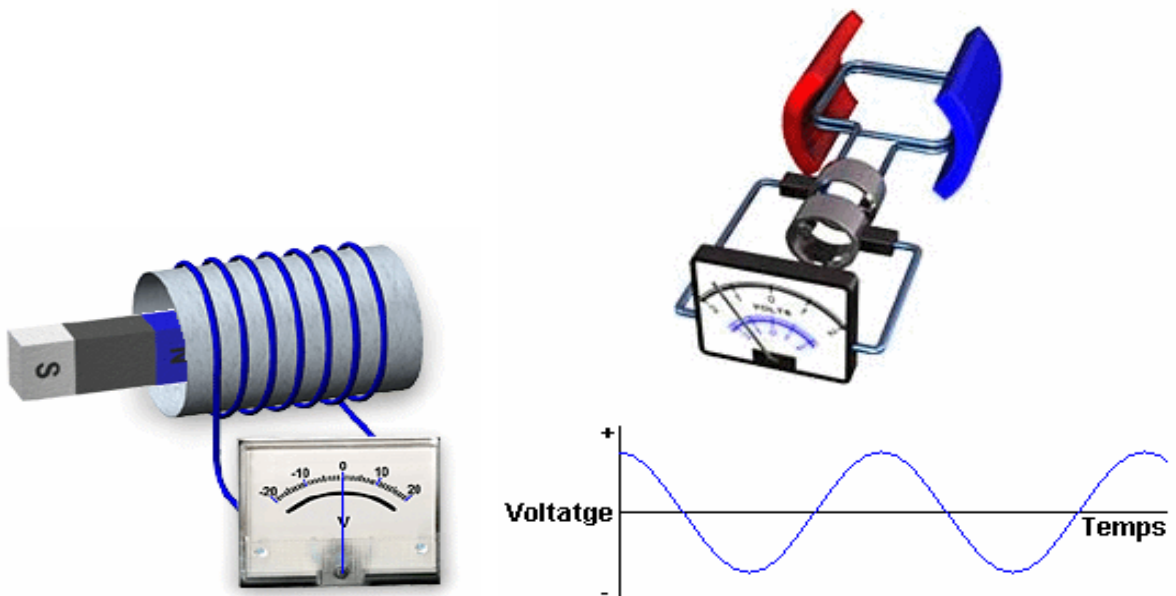
Quan l'imant es retira el camp magnètic que travessa l'espira disminueix i es crearà un corrent elèctric a l'espira però ara de sentit contrari del que passava quan l'imant entrava.

És interessant l'experiment simulat que presenta la pàgina <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/lenzlaw/index.html>

Fixeu-se que la intensitat induïda també crea un altre camp magnètic, camp magnètic induït que es barrejarà amb el camp de primari de l'imant.



Si l'experiment es fa amb més d'una espira la intensitat induïda quedarà multiplicada pel nombre d'espires.



El gràfic de sobre a la dreta mostra un alternador, que aprofita la llei de Lenz per crear electricitat alterna. Les plaques blava i vermella representen els dos extrems d'un imant que crea un camp magnètic entre elles. L'espiral que hi ha entre l'imant dona voltes, quan l'espiral es posa perpendicular a les plaques poques línies del camp la travessen, però quan l'espiral es posa paral·lela a les plaques aquesta estarà travessada per moltes



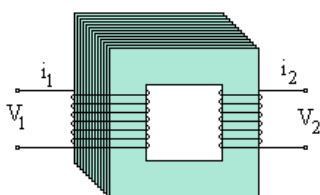
línies del camp. El camp que travessa les espines ha variat i per això es crea un corrent induït que uns carbons recullen d'unes anelles i tanca el circuit un voltímetre que mesura el voltatge creat.

Podeu observar aquest experiment a l'adreça:

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/generator/ac.html>

En la llei de Lenz es basen els alternadors, tal com s'ha explicat anteriorment en un cas senzill, i pels transformadors que transformen corrent d'un cert voltatge a un altre corrent de voltatge diferent.

El transformador consta essencialment d'un nucli d'un material magnetoconductor (un aliatge de ferro) de forma de rectangle (mira el gràfic) en el que hi està enrotllades dues espines, en una hi entra el corrent original amb voltatge  $V_1$  amb una intensitat  $i_1$ , i a l'altre apareix el corrent induït de voltatge  $V_2$  amb una intensitat  $i_2$ .



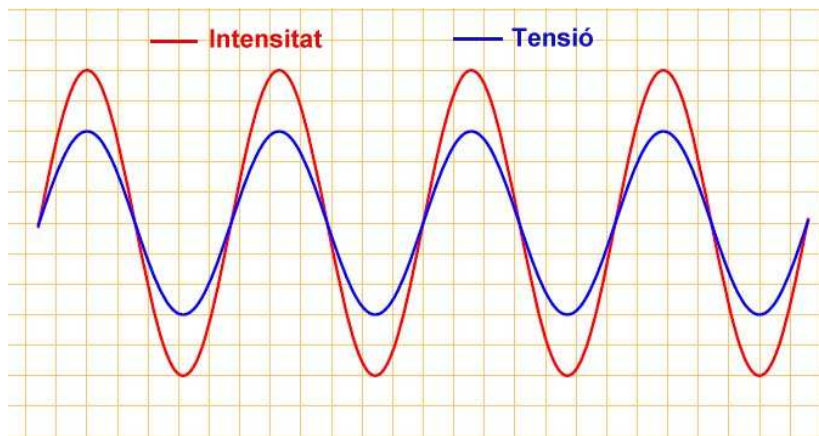
## 5.6 Autoinducció

Si en un circuit de corrent altern hi ha espines, o millor encara una bobina que és una sèrie d'espines enrotllades en un ferro, es produirà un fenomen curiós. El corrent quan passa per les espines crea un camp magnètic, que si el corrent és altern el camp també ho serà. Per la llei de Lenz aquest camp variable crearà a les mateixes espines una altre corrent (corrent induïda) diferent del corrent primitiu.

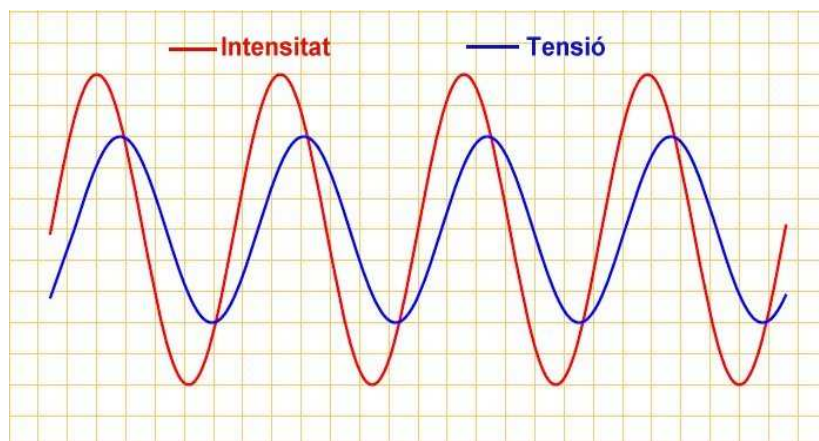
Quan la intensitat primitiva creix provoca un creixement del camp que després provoca una intensitat induïda de sentit contrari a la intensitat primitiva. Per altre banda, quan la intensitat primitiva disminueix provoca un decreixement del camp que després provoca una intensitat induïda del mateix sentit que la intensitat primitiva.

La suma de la intensitat primitiva amb la intensitat induïda té com a resultat, a més de modificar la intensitat màxima, també retarda la corba de la intensitat respecte de la tensió, tal com es mostra en les dues següents gràfics.

En el primer gràfic s'observa la intensitat i tensió en un circuit en el que només hi ha resistència, les ones de la intensitat i les de la tensió es produeixen simultàniament, els màxims, el mínim o els punts zero passen al mateix moment per les dues corbes. La força que prem als electrons i el flux d'aquests van sincronitzats, a un màxim d'una li correspon un màxim de l'altre i a un mínim li correspon un mínim.



En el segon gràfic s'observa la intensitat i tensió després d'aplicar al circuit una inductància, fixe'u-vos que les ones de la intensitat estan retardades respecte de les de la tensió, es a dir la força que fa moure els electrons i el flux d'aquests no van sincronitzats, els màxim, ni els mínims, de les dues magnituds no es produeixen simultàniament, hi un decalatge entre els dos fenòmens.



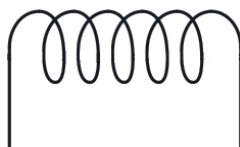
La predisposició d'una bobina, o d'un circuit, a provocar autoinducció es diu **inductància** que es mesura en **henrys** i es simplifica amb una **L**. Si una bobina té moltes voltes en moltes capes tindrà molta inductància, si té poques espires tindrà menys inductància.

L'efecte que té la inductància en un corrent que passa per aquest circuit depèn de la freqüència d'aquest corrent, es calcula per la fórmula

$$X_L = 2\pi f L$$

i es diu **reactància inductiva** que es mesura en ohms. Si L està expressat en henrys i f en hertz el resultat de **X<sub>L</sub>** donarà en ohms.

En els esquemes la inductància es representa d'aquesta forma:



## 5.7 Condensador

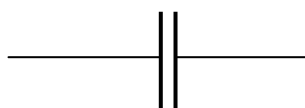
El condensador és un dispositiu electrònic format per dues plaques separades per un aïllant anomenat dielèctric que evita el pas del corrent. Cada placa esta connectada al

circuit elèctric, com que les dues plaques no tenen contacte representa un tall en el circuit, els corrents continus no poden circular a través d'un condensador però si que ho poden fer els corrents alterns.

Les plaques del condensador actuen com un contenidor d'electrons, quan el corrent circula en un sentit es carrega d'electrons una de les plaques del condensador, quan el corrent canvia de sentit es descarrega aquesta placa i es carrega l'altre, i així successivament. Per això encara que el circuit estigui tallat el corrent altern hi pot circular.

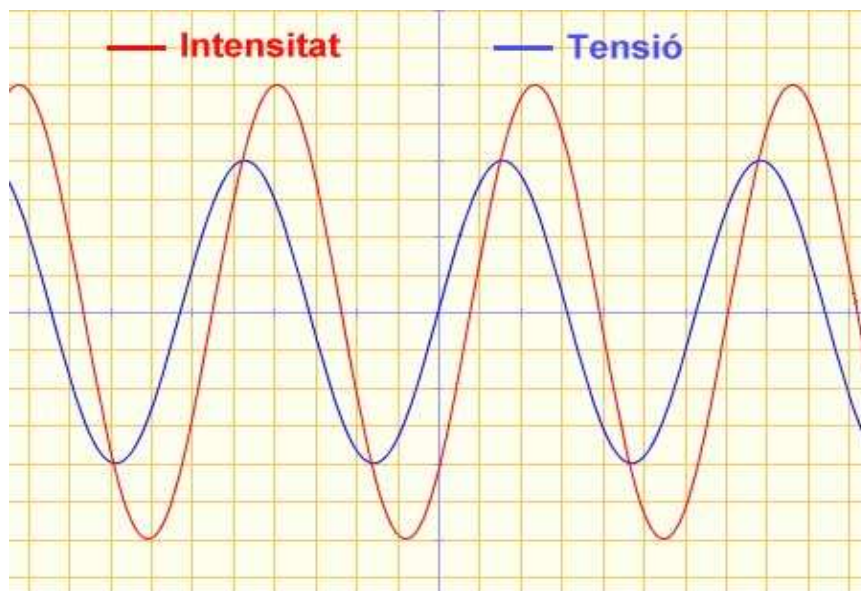
Les plaques dels condensadors poden tenir superfícies més grans o més petites, moltes vegades estan enrotllades per evitar espai. Segons sigui la superfície d'aquestes plaques, el seu material, o segons sigui el dièlectric, la capacitat d'emmagatzemar electrons pot variar. Precisament aquesta capacitat d'un condensador es diu **capacitat** i es mesura en **faradays**

En els esquemes es representa un condensador per dues línies paral·leles:



Al contrari del que feia una inductància, un condensador fa avançar la ona de la intensitat respecte de la del voltatge. La capacitat és una mesura que depèn solament del condensador, l'efecte que produeix en un corrent depèn de la freqüència d'aquest i es calcula per

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$



Si C es mesura en faradays i f hertz,  $X_c$  s'expressarà en ohms i s'anomena **reactància capacitativa**.

Com que els efectes de les dues reactàncies, la inductiva i la capacitativa, són contraris la reactància total d'un circuit es troba

$$X = X_L - X_C$$

Les indústries que fan servir molts motors a altres màquines amb bobines tenen en el seu circuit elèctric una inductància gran. Això ho tenen de compensar instal·lant condensadors en el seu circuit.

## 5.9 Impedància

En un circuit de corrent alterna, amb resistència, inductància i capacitat, la “resistència” final que s’oposarà a la tensió es diu **impedància**, s’escriu  $Z$  i es calcula

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

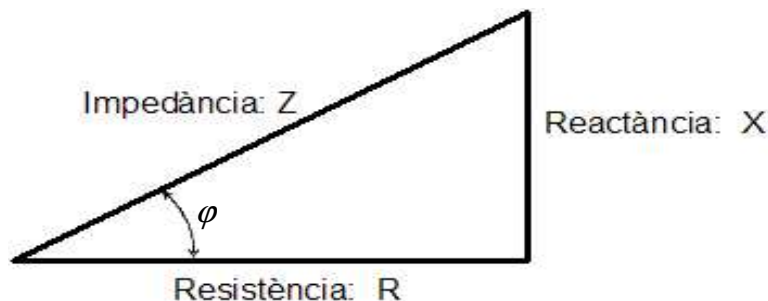
on  $R$  és la resistència expressada en ohms,  $X$  és la reactància total també en ohms i  $Z$  és la impedància que també s’expressa en ohms.

D’aquesta forma podem reformular la Llei d’Ohm, ara per un circuit, tant de corrent continu com altern, dient que la intensitat de tal circuit és proporcional a la diferència de potencial del circuit i inversament proporcional a la impedància

$$I = \frac{V}{Z}$$

Si la diferència de potencial s’expressa en volts i la impedància en ohms, la intensitat quedarà expressada en ampers.

De la fórmula  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$  es pot veure una relació entre  $Z$ ,  $X$  i  $R$ , de manera que  $R$  i  $X$



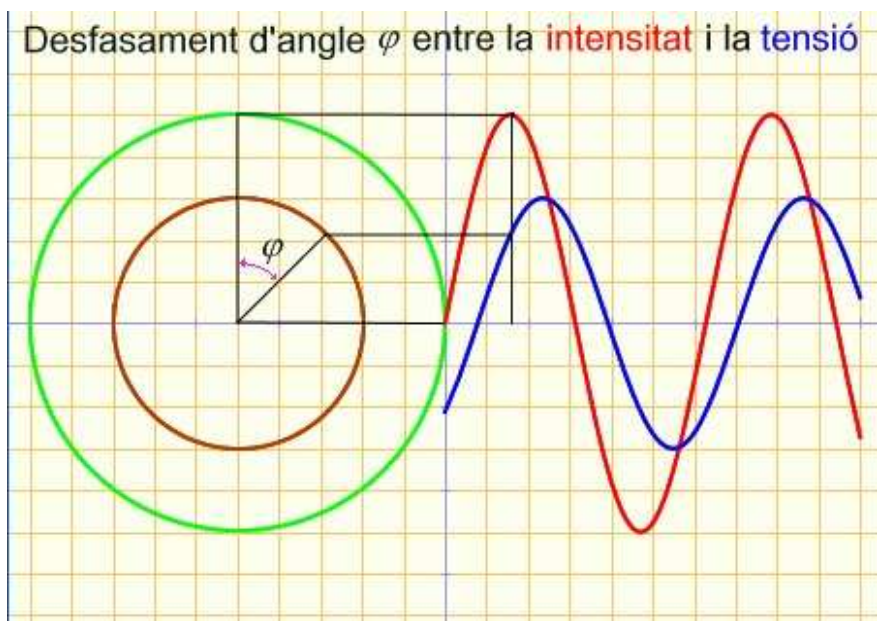
formin els catets d'un triangle rectangle i  $Z$  la hipotenusa.

## 5.10 Desfasament

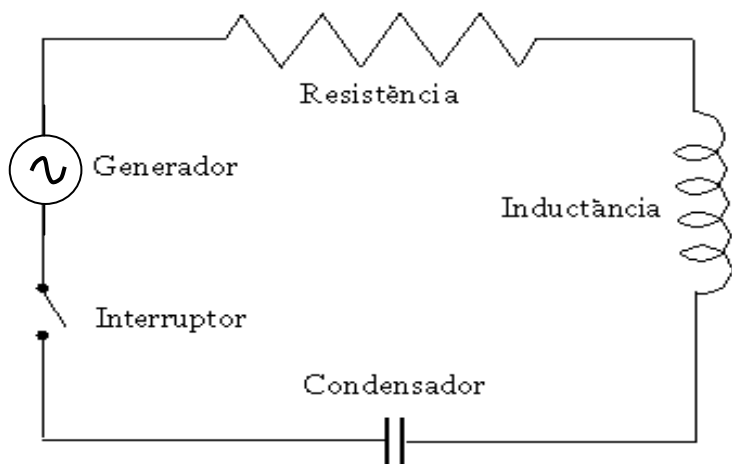
L'angle  $\varphi$  que formen  $R$  i  $Z$  en el triangle anterior és important. Si la reactància és positiva considerarem  $\varphi$  positiu, mentre que si la reactància és negativa considerarem  $\varphi$  negatiu.

Recordeu el paràgraf 4.5 de la construcció d'una sinusoide, cada punt de la sinusoide li correspon un angle, Ja hem vist que si en un circuit hi ha reactància, el voltatge i la intensitat porten un desfasament, doncs si construïssim les sinusoides del voltatge i de la intensitat aquestes haurien de tenir una diferència en els angles corresponents de les respectives construccions. Doncs bé, aquesta diferència d'angles és precisament l'angle  $\varphi$  esmentat. A aquest angle se li diu angle de desfasament.

En un circuit quan el voltatge i la intensitat no porten desfasament és quan s'obté la màxima potència de la instal·lació, En canvi si el voltatge i la intensitat no treballen sincronitzats (hi ha moments que quan un fa una força amunt, l'altre la fa avall) es perd potència a la instal·lació, d'aquí la necessitat de instal·lar condensadors tal com hem mencionat anteriorment.



Un esquema d'un circuit complet de corrent altern pot ser:



en el que es pot veure un generador de corrent altern, un interruptor per tancar i obrir el circuit, una resistència, una inductància i un condensador.

# 6 TRANSMISIÓ DE MISSATGES

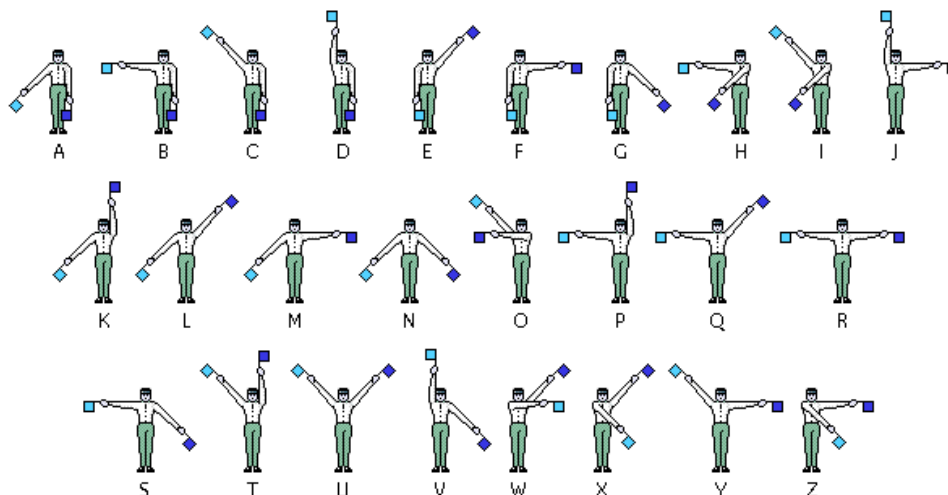
## 6.1 Transmissions històriques

S'han dissenyat, en el transcurs de la història, moltes formes de comunicació a distància, recordem els missatges en fum que feien els indis d'Amèrica, els sons de tambors d'alguns països africans, el llenguatge en xiulets que encara es fan servir a l'illa de La Gomera, etc.



Heu sentit a parlar del llenguatge del ventall?. Fa un temps, quan les noies no sortien mai de casa soles i quan les relacions entre noi i noia eren molt difícils i fiscalitzades, es va inventar un llenguatge que es basava en el moviment, posició i obertura del ventall, per exemple si es tapava la cara amb el ventall obert volia dir alerta ens espion, o si s'obria el ventall amb energia volia dir estic gelosa, o si es col·locava el ventall mig obert sota els ulls volia dir m'agrada molt, etc.. Si no us ho creieu demaneu a l'àvia, a veure si podeu descriure tot el llenguatge!

Existeix un alfabet molt simpàtic que usaven algunes agrupacions d'escortes, solament es necessiten dues banderoles, una a cada ma. El números del 0 al 9 es representen amb les mateixes senyals que les de les primeres deu lletres, precedides d'un senyal inicial especial. Les lletres són:



Els semàfors són un llenguatge molt simple que sols ens informen de tres coses. Si es pogués fer senyals amb el semàfor deixant un, dos, tres o cap llums encesos, quantes senyals diferents es podrien fer?

Quants colors hauria de tenir un semàfor per poder fer 32 senyals diferents en totes les possibles combinacions dels colors? (amb 32 ja es podria construir un bon alfabet)

## 6.2 Telegrafia

L'electricitat es pot trametre a grans distàncies, depèn del voltatge de les línies, la electricitat es pot enviar a molts quilòmetres de distància. Aprofitant aquesta propietat de l'electricitat es pot enviar missatges en clau variant el voltatge de la línia, tal com ho fa la telegrafia.

El llenguatge que usa la telegrafia és el Morse, en ell hi ha solament dues senyal importants que poden ser elèctriques, sonores o lumíniques, el primer senyal es tracta de la transmissió durant un cert període de temps d'un voltatge i el segon es la transmissió del mateix voltatge però en un període molt més curt. Aquests senyals en forma de so, seran un so llarg i un so curt. Gràficament representarem aquests senyals per un guió i per un punt respectivament.

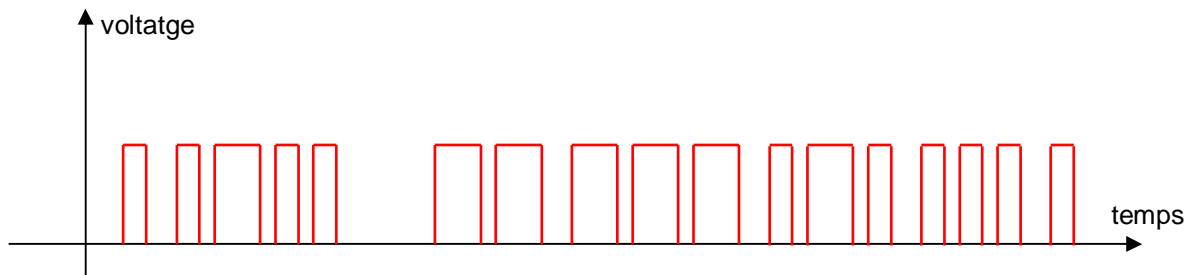
Naturalment entre cada un d'aquests senyals hi ha d'haver un silenci, o voltatge nul. També hi ha d'haver un silenci per separar lletres i hi ha d'haver un silenci llarg per separar paraules. En total hi ha 5 senyals.

La codificació de les lletres en el codi Morse és :

<b>A</b> .-	<b>B</b> -...	<b>C</b> -.-.	<b>Ch</b> ----	<b>D</b> -..
<b>E</b> .	<b>F</b> ..-.	<b>G</b> --.	<b>H</b> ....	<b>I</b> ..
<b>J</b> .---	<b>K</b> -.-	<b>L</b> .-..	<b>M</b> --	<b>N</b> -.
<b>Ñ</b> --.---	<b>O</b> ---	<b>P</b> .-..	<b>Q</b> --.-	<b>R</b> .-.
<b>S</b> ...	<b>T</b> -	<b>U</b> ..-	<b>V</b> ...-	<b>W</b> .--
<b>X</b> -..-	<b>Y</b> -.-	<b>Z</b> --..	<b>1</b> .----	<b>2</b> ..----
<b>3</b> ...--	<b>4</b> ....-	<b>5</b> .....	<b>6</b> -....	<b>7</b> --...
<b>8</b> ---..	<b>9</b> ----.	<b>0</b> -----	<b>Punt</b> .-.-.-	<b>?</b> ..-..

Hi ha lletres que en el llenguatge normal són més usades que altres, quan més usades són les lletres (en anglès naturalment) menys senyals té en aquest alfabet. Això està dissenyat d'aquesta forma per que, en general en un escrit normal hi hagi la menor quantitat de senyals.

Per exemple per transcriure la frase EL MORSE per una línia elèctrica, la tensió d'aquest missatge seria:

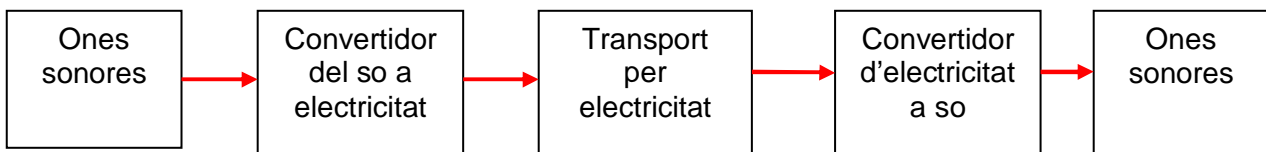


Per tal de poder transmetre o rebre missatges es disposava d'un aparells amb un polsador que, amb una mica d'habilitat, feia que escriure els missatges fos relativament ràpid. El mateix aparell podia rebre missatges d'altres punts i ser traduïts directament al alfabet normal. No cal dir que en l'actualitat aquest mètode de transmissió esta absolutament obsolet.

Hi ha una idea interessant en aquesta forma de missatge, és que hi ha dos senyals importants (punt i ralla) igual que en les transmissions binàries actual.

### 6.3 Telèfon

El telèfon és un dels ginys que ha influït més en la vida de la societat moderna. La idea de Bell (**Alexandre Graham Bell** inventor oficial) va ser la de convertir les ones sonores de la veu amb corrent elèctric, i transportar aquets fins el destinatari, on la electricitat es podrà transformar en ones sonores que les pot escoltar el receptor.



Els punts claus del telèfon són el convertidor de so a electricitat i el convertidor invers. Hi ha hagut moltes formes de convertir el so a electricitat, una de les que van ser usades és la d'usar pols de carbó, la pols de carbó és fàcilment comprimible i també fàcilment expandible, però a més la conductivitat del carbó canvia segon el grau de compressió. Doncs, aquest convertidor té una membrana sensible al so que vibra segons la ona sonora que li arriba, aquesta membrana comprimeix o expandeix una massa de pols de carbó que està travessada per un corrent elèctric, i aquest serà més gran o petit segon el grau de compressió del carbó.

El convertidor d'electricitat a so es tracta d'una bobina connectada a la línia telefònica que segons la electricitat que hi passa atreu o repulsa una membrana, les vibracions d'aquesta membrana reproduïxen el so original.



An early telephone design.



La electricitat de les línies de telèfon pot ser alterada per les diferents incidents que es troba en el seu camí, les línies poden travessar molts camps electromagnètic (màquines elèctriques a la vora, temporals, camps d'origen còsmics, bugies dels motors, o altres) que li poden induir corrents no desitjades, o també hi poden influir aspectes com els ocells, el glaç, o el vent, que poden fer ballar el fils i induint-hi corrents. Aquests corrents induïts diferents del corrent original se'n diu "soroll" de la línia, per això antigament el telèfon es sentia gairebé sempre amb un soroll de fons (d'aquí el nom tècnic de soroll) que emmascarava la veu original.



Per poder connectar molts telèfons entre sí, per poder telefonar d'un a un altre, es necessita una centraleta. Cada telèfon es comunica amb la centraleta per uns cables d'electricitat i aquesta connecta els dos telèfons que es desitja. Aquesta operació de connectar un telèfon amb un altre, en principi, es feia manualment, cada connexió telefònica era un endoll que havia d'endollar adequadament una operadora.

Més tard la feina de connectar telèfons es va poder fer automàticament, en primer lloc es va fer d'una forma mecànica, una roda que rodava fins encarar l'endoll al punt on s'havia de connectar i el connectava, era una central de tipus rotary (veure gràfic). Aquesta tècnica donava molta feina de manteniment, a vegades fallava i sobretot era impracticable per grans quantitats de telèfons. En l'actualitat es realitzen les connexions automàticament d'una forma electrònica, sense que hi hagi moviment de peces.

La primera centraleta telefònica es va instal·lar a New Haven (Connecticut) EUA el 1878, només tenia 21 abonats.

En el gràfic següent es pot veure un full de propaganda de la casa Bell Telephone System (1878 – 1984) on hi ha unes operadores fent la feina de connectar telèfons. En l'altre gràfic es veu una central telefònica tipus rotary.



### **TELEPHONE LINES ARE HUMMING**

This country's telephone service is one of its greatest assets in time of emergency. It unites millions of people—helps thousands of businesses to get things done quicker—and is a vital part of our national defense.

In the last five years the Bell System has increased the number of telephones by more than 12,500,000. Billions of dol-

lars have been spent for new telephone equipment of every kind. There are nearly 150,000 more Bell System employees.

All of this growth and the size of the Bell System are proving of particular value right now. One reason this country can outproduce any other is because it has the most and the best telephone service in the world.

**BELL TELEPHONE SYSTEM**





## 6.4 Sistemes analògics i sistemes digitals

El corrent altern senoidal, tant la tensió com la intensitat, són dos magnituds analògiques, varien d'una forma suau, o sigui que quan s'incrementa una mica el temps les magnituds també varien poc, no hi ha mai un increment o decrement sobtat dels seus valors. Vegeu les gràfiques del capítol de corren alterna.

En canvi en un rellotge de xifres passa, de cop de les 4:30 a les 4:31, ha augmentat en un instant un minut, queda immòbil durant el següent minut i després torna a augmentar instantàniament un minut més. Aquests rellotges ensenyen l'hora d'una forma digital, per això a aquests rellotges es diuen rellotges digitals.

La transmissió telefònica és una transmissió analògica ja que el missatge queda dins d'un corrent elèctric analògic. En canvi la forma d'escriure la telegrafia és un sistema digital, canvia de cop: punt, blanc, ralla,.... . Malgrat això, el mitjà de transmissió de la telegrafia (corrent elèctric) és analògic.

## 6.5 Sistema binari

El sistema binari és un sistema d'informació en que solament hi ha dos símbols, és tracta d'un alfabet molt pobre, només hi ha dues lletres. Els dos símbols poden ser qualsevol, són molt usats el 0 i el 1, per exemple 1001011100 podria ser una "paraula" escrita en binari. Cada un d'aquests símbols, en lloc de dir-se lletres es diu **bit**, la paraula binària anterior té 10 bits. Bit és un acrònim de **binary digit**, es dona la circumstància de que bit vol dir una mica. La paraula bit ha passat a ser una paraula d'ús internacional.

La informació que hi ha dins l'ordinador està en binari, en lloc de 0 i 1, hi ha zones magnetitzades i zones que no ho estan. Quan aquesta informació circula pel interior de

l'ordinador, o de fora a dins, o de dins a fora, els símbols binaris són períodes de corrent i períodes sense corrent.

La informació que hi ha en un CD, o en un DVD, és també binària, aquí els símbols 0 i 1 són parts que tenen un senyal i parts que no la tenen. Aquest senyal és simplement un clot petitíssim causat per un raig làser molt fi. Per això, molts programes per dir que estan enregistrant un CD diuen que l'estan cremant.

Les cintes de vídeo tenen la informació en forma analògica, el ella hi enregistrat els colors i els canvis que sofreixen de forma "contínua".

S'ha estandaritzat l'ús de vuit bits per designar a un caràcter, que pot ser una lletra o un símbol de control. El conjunt de 8 bits s'anomena **byte**, o a vegades, **octet**.

Així com en el sistema decimal es fan servir les potències de 10 per indicar altres classes més grans d'unitats, en informàtica i degut a que la informació està en sistema binari, es fan servir les potències de 2, a continuació teniu una taula comparativa d'aquestes unitats més freqüents.

Així si diem un kilobyte vol dir 1.024 bytes, o un gigabyte vol dir 1.073.741.824 bytes, que són aproximadament 1.000 bytes o 1.000.000.000 bytes .

Nom	Abreu.	Factor informàtic	Factor SI
kilo	K	$2^{10} = 1.024$	$10^3 = 1.000$
mega	M	$2^{20} = 1.048.576$	$10^6 = 1.000.000$
giga	G	$2^{30} = 1.073.741.824$	$10^9 = 1.000.000.000$
tera	T	$2^{40} = 1.099.511.627.776$	$10^{12} = 1.000.000.000.000$

Els caràcters de vuit bits són una successió de valors 0 i 1, que tenen un significat numèric en el sistema de base 2, així el 00000000 és el 0, el 00000001 és l'1, el 00000010 és el 2, el 00000011 és el 3, i així successivament.

Sabries passar d'una xifra en base 2 a una altre en base 10? I al revés una en base 10 a una altre en base 2? Pensa-ho, serà un exercici que es farà a classe.

## 6.6 Codi ASCII

Quants caràcters diferents es poden fer amb el vuit bits?. És fàcil, mireu:

Amb 1 bit es poden fer 2 caràcters  
amb 2 bits es poden fer  $2 \cdot 2 = 2^2$  caràcters  
amb 3 bits es poden fer  $2^2 \cdot 2 = 2^3$  caràcters  
amb 4 bits es poden fer  $2^3 \cdot 2 = 2^4$  caràcters  
.....  
amb 8 bits es poden fer  $2^7 \cdot 2 = 2^8$  caràcters

$2^8$  són 256 caràcters diferents.

Hi ha un codi internacional per assignar a cada sèrie de vuit bits un dels caràcters coneguts (lletres, nombres, punts comes,...), es tracte de codi ASCII (American Standard Code for Information Interchange), del 32 al 128 bytes (els més importants) són els que adjuntem a la taula següent.

### Taula del codi ASCII

<i>Binari</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>G</i>	<i>Binari</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>G</i>	<i>Binari</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>G</i>
0010 0000	32	20	<i>esp.</i>	0100 0000	64	40	@	0110 0000	96	60	`
0010 0001	33	21	!	0100 0001	65	41	A	0110 0001	97	61	a
0010 0010	34	22	"	0100 0010	66	42	B	0110 0010	98	62	b
0010 0011	35	23	#	0100 0011	67	43	C	0110 0011	99	63	c
0010 0100	36	24	\$	0100 0100	68	44	D	0110 0100	100	64	d
0010 0101	37	25	%	0100 0101	69	45	E	0110 0101	101	65	e
0010 0110	38	26	&	0100 0110	70	46	F	0110 0110	102	66	f
0010 0111	39	27	'	0100 0111	71	47	G	0110 0111	103	67	g
0010 1000	40	28	(	0100 1000	72	48	H	0110 1000	104	68	h
0010 1001	41	29	)	0100 1001	73	49	I	0110 1001	105	69	i
0010 1010	42	2A	*	0100 1010	74	4A	J	0110 1010	106	6A	j
0010 1011	43	2B	+	0100 1011	75	4B	K	0110 1011	107	6B	k
0010 1100	44	2C	,	0100 1100	76	4C	L	0110 1100	108	6C	l
0010 1101	45	2D	-	0100 1101	77	4D	M	0110 1101	109	6D	m
0010 1110	46	2E	.	0100 1110	78	4E	N	0110 1110	110	6E	n
0010 1111	47	2F	/	0100 1111	79	4F	O	0110 1111	111	6F	o
0011 0000	48	30	0	0101 0000	80	50	P	0111 0000	112	70	p
0011 0001	49	31	1	0101 0001	81	51	Q	0111 0001	113	71	q
0011 0010	50	32	2	0101 0010	82	52	R	0111 0010	114	72	r
0011 0011	51	33	3	0101 0011	83	53	S	0111 0011	115	73	s
0011 0100	52	34	4	0101 0100	84	54	T	0111 0100	116	74	t
0011 0101	53	35	5	0101 0101	85	55	U	0111 0101	117	75	u
0011 0110	54	36	6	0101 0110	86	56	V	0111 0110	118	76	v
0011 0111	55	37	7	0101 0111	87	57	W	0111 0111	119	77	w
0011 1000	56	38	8	0101 1000	88	58	X	0111 1000	120	78	x
0011 1001	57	39	9	0101 1001	89	59	Y	0111 1001	121	79	y
0011 1010	58	3A	:	0101 1010	90	5A	Z	0111 1010	122	7A	z
0011 1011	59	3B	;	0101 1011	91	5B	[	0111 1011	123	7B	{
0011 1100	60	3C	<	0101 1100	92	5C	\	0111 1100	124	7C	
0011 1101	61	3D	=	0101 1101	93	5D	]	0111 1101	125	7D	}
0011 1110	62	3E	>	0101 1110	94	5E	^	0111 1110	126	7E	~
0011 1111	63	3F	?	0101 1111	95	5F	_				

*D: Decimal, H: Hexadecimal, G: Gràfic*

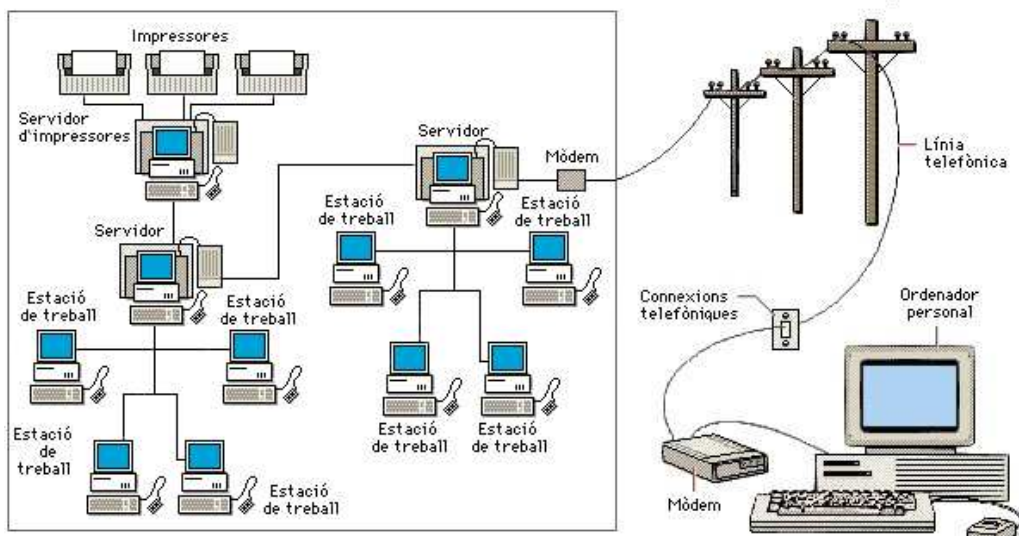
Els 32 primers codis són codis de control, no tenen una representació escrita i serveixen internament per comunicar-se amb els perifèrics, per tal de mantenir el flux d'informació correctament ordenat. Els últims 128 són per caràcters propis de diferents idiomes ( ç, ñ, vocals amb accent i molts altres) i també són per caràcters gràfics.

Suposant que en una línia de text hi ha com a mitjana 85 caràcters i que en una pàgina s'hi poden posar 45 línies sabries comptar, a part dels caràcter de control, quants bits serien necessaris per passar la pàgina de text en forma binaria?

No solament el text es pot convertir en codi binari, també s'hi poden convertir gràfics, música i vídeo. Hi ha diferents formes de fer aquestes codificacions, no hi ha cap forma tant senzilla com la de la conversió de text, totes són complicades. Cada una d'aquestes formes enregistra el seu resultat en fitxers que es diferencien per les extensions. Les extensions més usades pels fitxers gràfics són: tif, gif, bmp i jpg. Les de música són: mp3, mid, i les de vídeo: wmv, avi, mpg

## 6.7 Xarxa d'ordinadors

Una xarxa d'ordinadors és un conjunt d'ordinadors que s'intercanvien informació a través d'algun mitjà. Cada ordinador de la xarxa ha de tenir l'habilitat d'enviar missatges als altres ordinadors i als perifèrics i també ha de tenir l'habilitat d'interpretar el missatges que li arribin dels altres ordinadors o perifèrics.



Una xarxa d'ordinadors té dues funcions principals, la d'intercanviar informació entre els ordinadors i la de compartir recursos, per exemple impressores o discs.

La comunicació entre els diferents aparells de la xarxa es fa per mitjà de les aplicacions que en ells hi ha instal·lades, aquesta comunicació pot passar per cables entre els diferents aparells, o pot passar per l'aire a través d'ones electromagnètiques que se les s'anomena xarxa wifi (sense fils).

Per establir una xarxa wifi és necessari que cada aparell tingui internament o externament un receptor-emisor i que a la xarxa hi hagi un router wifi que serà el que distribuirà la informació a tots els aparells i el que rebí la informació que vingui d'altres xarxes.



## 6.8 Internet

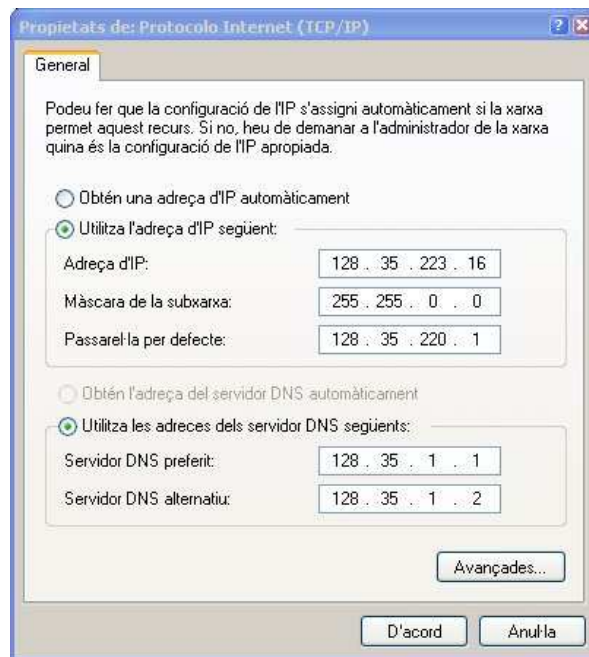
Es tracte d'una enorme xarxa d'ordinadors, és en realitat una xarxa de xarxes que abasta tot el món, aquesta xarxa uneix ordinadors i accessoris de totes classes, de totes les marques i de sistemes operatius diferents. La unió material de tots aquests aparells es realitza de totes les formes possibles: per cable, fibra òptica, per ones electromagnètiques, via satèl·lit, cable submarí i últimament es realitza per la mateixa xarxa de conducció elèctrica.

Per tal de posar ordre a aquesta "torre de Babel" que són tots els ordinadors connectats a Internet és necessari fer complir unes normes, tècnicament un protocol, en tots els intercanvis entre ells, sense aquestes normes la comunicació fora impossible. El principal protocol d'Internet és el anomenat TCP/IP, que en realitat són dos protocols, el TCP i el IP. Ens podem imaginar que cada xarxa particular d'Internet usa pel seus ordinadors un llenguatge específic per comunicar-se entre sí. Doncs bé, el TCP/IP és una espècie d'esperanto que han de parlar i entendre totes les xarxes connectades a Internet, és una llengua franca universal dels ordenadors.

A Internet hi ha disponibles diferents serveis com són el correu electrònic, les pàgines web, la transmissió de fitxers, la connexió remota i bastants altres. Si es disposa de línies de connexió de velocitats elevades, es possible, a través d'Internet, transportar so i imatges en moviment real, o sigui establir videoconferències, transportar vídeo o emissions de televisió i establir contactes telefònics.

Per transmetre informació a través de TCP/IP, i també per qualsevol altre protocol, la informació (el conjunt de bits que es vol transmetre) ha d'estar dividida en porcions de menor grandària. Cada una d'aquestes porcions (datagrama) s'envia per separat. Les normes TCP (Transport Control Protocol) són les que indiquen com s'ha de fer aquesta divisió i estableixen el control de que cada porció arribi correctament, sense errors, al destinatari, per això es realitza un control d'errors "checksum" del datagrama i estableix els mecanismes per solucionar els possibles errors.

Les normes IP són les que controlen el "viatge" de cada porció d'informació. Per poder establir aquest viatge cada aparell de la xarxa ha de tenir una adreça (IP adreça) que en realitat és un número de 32 bits que es presenta dividit en quatre números de 8 bits cada un separats per un punt, per exemple: 125. 83. 102. 13. En 8 bits solament es poden escriure des del 0 al 255, per això cada un d'aquests quatre números ha d'estar comprès entre aquests dues quantitats.



Cada un dels datagrames porten la part de la informació que es vol trametre però a més porten una capçalera col·locada pels protocols TCP i IP, que pot ser tant o més gran que la part de la informació i serveix pel bon control del missatge. Entre aquesta informació addicional hi ha les adreces dels ordinadors origen i destí. Tots els enrutadors que el missatge troba en el seu viatge llegeixen aquestes adreces i l'envien pel camí que creuen millor fins que arriba a la destinació.

No tots els trossets del missatge han de passar pel mateix camí i no tots arriben amb la mateixa celeritat, per això moltes vegades no arriben en el mateix ordre que el que s'ha enviat i alguns cops no arriben. Per poder corregir aquestes dificultats cada datagrama ha d'estar enumerat i si el receptor veu que (després d'un temps prudencial) n'hi falta un l'ha de tronar demanar a l'ordinador original (normes TCP).

Les adreces IP tenen un problema, per una part la forma de distribuir-les entre els aparells d'una xarxa fa que no es puguin aprofitar totes i a més hi ha moltes adreces reservades per controls o per broadcastings, cosa que porta a una escassetat crítica d'adreces. Això s'ha pogut mig solucionar posant adreces dinàmiques o adreces fictícies als ordinadors de cada xarxa. Les adreces dinàmiques són adreces que pertanyen a l'ordinador mentre està en funcionament i quan aquest s'apaga la mateixa adreça s'utilitza per un altre ordinador.

La solució definitiva al problema de les adreces està en una nova definició del protocol IP (versió 6) en que les adreces tindran 8 segments de 2 bytes (16 bits) cada un, cosa que donarà a una gran quantitat d'adreces suficient, de sobres, per tots els aparells que es puguin connectar per molts anys a la xarxa.

## 6.9 Les ones electromagnètiques com a mitjà de transmissió de missatges

En una bombeta elèctrica hi ha un filament que s'escalfa en passar-hi un corrent elèctric, el filament es torna "incandescent" i emet fotons en longituds d'ona visible (veure paràgraf 5.4). Una antena emissora consta també d'un filament especial circulat per un corrent elèctric que li fa emetre fotons en una longitud d'ona gran de 1 cm a 100 m que serviran



per trametre informació. Podem dir que una bombeta i una antena són molt semblants ambdues emeten fotons, una amb una certa longitud d'ona i l'altre amb una altre longitud.

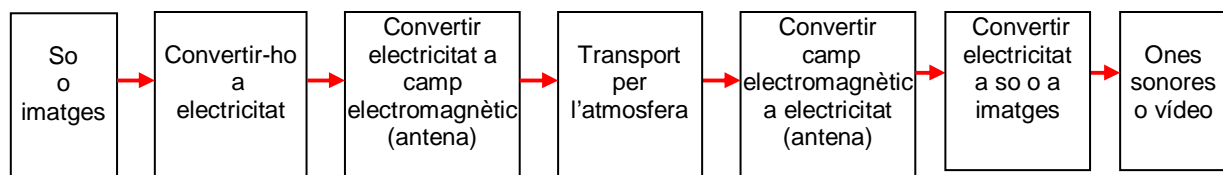


Per recuperar els missatges emesos per una antena emissora cal disposar d'una antena receptora que transforma les variacions del camp magnètic a variacions d'un corrent elèctric. Una antena receptora molt simple podria ser un sol filament que és sensible a les variacions del camp electromagnètic i es crea en el seu circuit un corrent elèctric.

Les antenes emissores han de poder radiar a grans distàncies per això necessiten una gran potència mentre que les antenes receptores han de ser sensibles a petits camps, a vegades molt allunyats de l'emissor.

Cada emissora de radio o de televisió disposa d'una certa longitud d'ona en la qual ha d'emetre. La distribució de longituds d'ona per emissores és una competència legal de les autoritats polítiques (estatal o autonòmica a Espanya).

Si cada emissora solament radia en una longitud d'ona, com pot transportar informació? I com pot el receptor seleccionar l'emissora? Intentarem respondre a aquestes preguntes en el dos punts següents.



## 6.10 Modulació

Es tracta de canvia les ones d'una transmissió per tal de poder arribar més lluny i tenir menys interferències pel camí, per això és útil canviar la freqüència de les ones que volem trametre per una freqüència més gran que no agafa tant soroll i no s'esmorteix tan ràpidament.

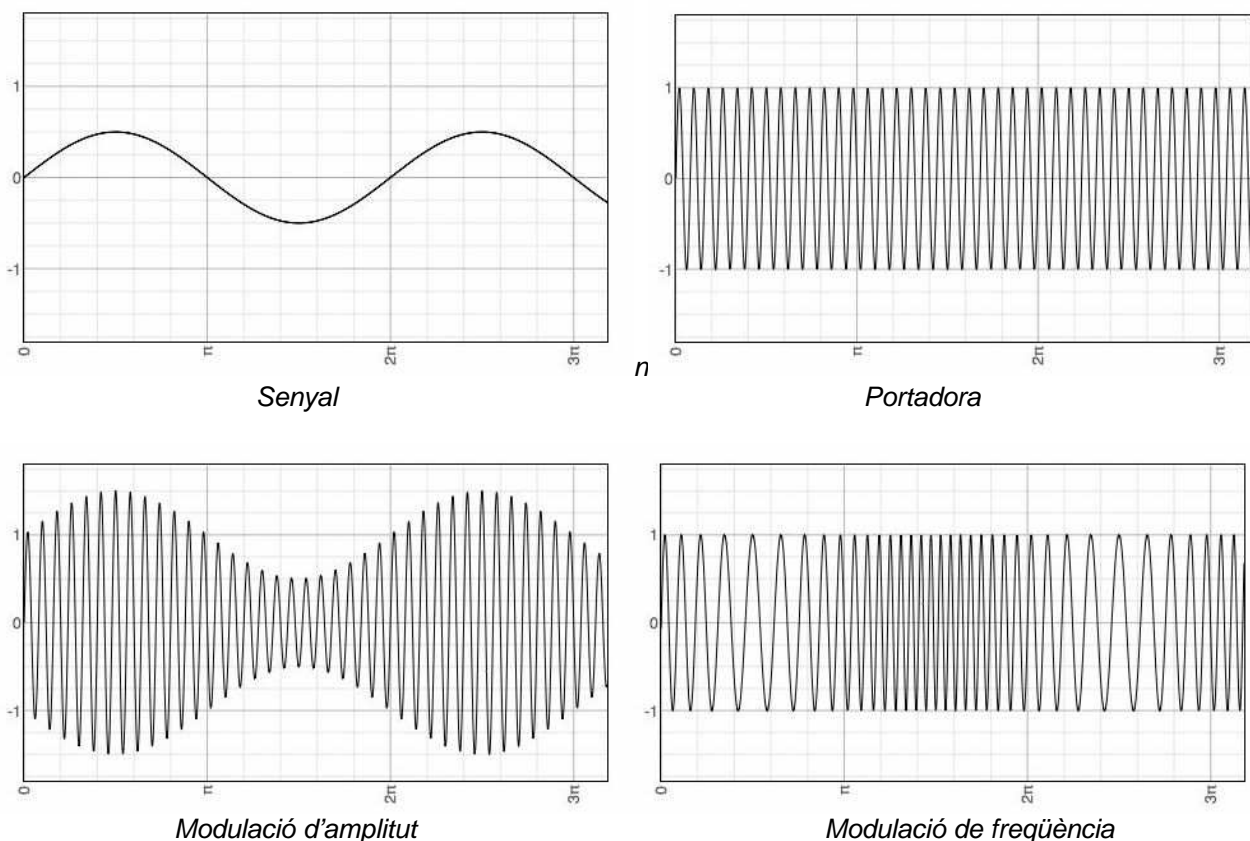
Per realitzar una modulació es disposa de les ones que en realitat es vol enviar, a aquestes ones s'anomenen "senyal" en la que hi ha la informació, es disposa també d'una altra ona, de freqüència més elevada que no té informació es diu ona "portadora", ja que per transformacions d'aquesta portarà inclòs en ella la informació del senyal.

Hi ha dues formes de realitzar aquesta operació; la modulació d'amplitud i la modulació de freqüència. En la modulació d'amplitud la freqüència de la portadora no canvia, però sí canvia la seva amplitud. I canvia d'acord amb la amplitud de la senyal. Quan el senyal té una amplitud gran la portadora també i quan el senyal té una amplitud petita la portadora també. Aquestes transformacions es fan de manera que l'amplitud de la portadora no sigui mai negativa. Fixeu-vos en el gràfic adjunt.

La modulació de freqüència la portadora no canvia d'amplitud però sí canvia de freqüència, de manera que, dins d'un límits estudiats per mantenir una freqüència alta, quan el senyal té l'amplitud gran la portadora tindrà una freqüència baixa, i al revés, quan el senyal té una amplitud petita la portadora tindrà una freqüència gran, mireu els gràfics de sota.

No cal dir que totes aquestes transformacions són realitzades per circuits electrònics complicats. No cal dir que quan es rep les ones hi ha d'haver un altre aparell que pugui separar el senyal de la portadora i poder obtenir la informació tramesa.

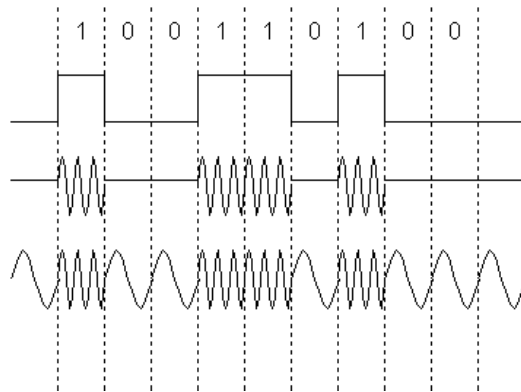
La paraula mòdem és un acrònim de modulació i demodulació, o sigui es tracta d'una aparell que realitza l'operació de modular, posar la informació en una freqüència més alta i al mateix temps fa la operació inversa demodular de separar el senyal de la portadora.



Els mòdem casolans agafen el senyal de l'ordinador, o sigui una senya digital i l'aboquen a la xarxa elèctrica telefònica que és un senyal analògic. El gràfics que venen a continuació expliquen clarament aquest procés. Però aquests mòdems també fan el procés invers agafen el senyal de la línia telefònica, que es analògica i el passen a l'ordinador que és digital.

Hi ha diferents formes de fer la modulació analògica-digital el gràfic n'ensenya dues. Es tracta d'enviar un corrent d'alta freqüència si el bit a enviar és 1 i una corrent nul·la si el bit

és zero. O bé, la segona forma s'envia un corrent d'alta freqüència si el bit a enviar és 1 i un corrent de menys freqüència si el bit és 0.



És clar que els aparells de modular i demodular han de tenir uns rellotges amb una extremada precisió per poder detectar on s'acaba cada bit per poder controlar correctament la informació.

### 6.11 Apagada analògica

En l'actualitat les transmissions tant de radio com de televisió a Espanya són analògiques, és a dir abans de la modulació i després de la demodulació les senyals són analògiques i els aparells receptors saben treballar amb aquest tipus de senyals.

S'ha vist que si les emissores i els receptors treballessin amb senyal digital la qualitat del so i de les imatges milloraria, ja que les interferències serien mínimes i es podria obtenir una qualitat igual a la dels DVD.

No cal que per transferir senyals digital s'ha de realitzar una modulació i demodulació com la que exposat a l'última part del paràgraf anterior.

El govern espanyol ha decidit que el dia 3 d'abril de 2010 totes les emissores de radio i de televisió emetin solament en digital, les emissions en analògic hauran desaparegut i el aparell receptors analògics no funcionaran. Si es volen fer funcionar aquests receptors s'haurà de instal·lar-hi un aparell que transformi els senyal digitals a senyal analògica.

### 6.12 Control d'errors bit de paritat

La informació es trameta amb una certa redundància, és a dir que s'envien més dades de les que conté el missatge, aquestes dades de més (redundància) serveixen per què el destinatari pugui esbrinar si les dades recollides són fidedignes o bé contenen errors i, en molts casos, poder-los corregir.

Una forma molt senzilla de control d'errors és l'ús del '*bit de paritat*', a cada byte que s'envia s'hi afegeix un bit més, el que s'anomena bit de paritat, de forma que la suma de tots els dígit sigui parell, d'aquí el nom de paritat. Per exemple:

per enviar '01001110' s'enviarà '01001110'**0**  
per enviar '01001111' s'enviarà '01001111'**1**

Si en la primera de les remeses el receptor hagués rebut '000011100' aquest estaria segur que en aquest byte hi ha un error, ja que la suma dels seus dígit és imparell.

Amb aquest control tant senzill no es pot saber en quin dígit hi ha l'error, o sigui que no es pot corregir automàticament. El que ha de fer el receptor, en aquest cas, és tornar a demanar el mateix byte a l'emissor.

Fixeu-vos que si arriben dos bits erronis, el receptor es pot pensar que tot l'octet és correcta i no ho és.

### 6.13 Control d'errors matriu de paritats

Una forma més sofisticada per controlar errors és la que va unida a la tramesa de dos bytes, 16 bits, que en lloc d'enviar els 16 bits, se'n envien 24 (un 50% més) Imaginem-nos els dos bytes en forma de matriu (files i columnes de bits), les dues primeres files representen el primer byte, i les dues últimes al segon byte.

0	0	1	1
0	1	0	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Doncs, en lloc d'enviar aquesta matriu se enviarà aquesta altre, amb 8 bits més

	0	1	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

El 8 bits de més estan posats de forma que cada fila i cada columna sumin un nombre parell.

En la gran majoria de canals de transmissió s'envien els bits en sèrie, o sigui un darrera l'altre, per això no es pot enviar l'estructura de matriu, sinó que s'han d'enviar una tirallonga seguida de tots els 24 bits, amb una norma preestablerta per poder identificar aquesta estructura. Per exemple, es poden enviar primer el 8 bits de dades

0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,0,1,1,1,1,0

seguits dels bits de paritat començant pels de dalt (paritat de columnes) i seguits dels de l'esquerra (paritat per files). La tramesa quedaria així

0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,0,1,1,1,1,0,0,1,0,1,0,0,1,1

Naturalment, no es poden enviar bits de color, el receptor solament podrà identificar la mena de bits per la posició d'aquests.

Si en el receptor li arriba la sèrie anterior però amb un bit de dades erroni, aleshores, el receptor veurà que hi ha un bit de paritat de columnes i un bit de paritat de files que és erroni, unint la columna i la fila d'aquests dos bits de paritat es trobarà el bit erroni i es podrà corregir.

Si en el receptor li arriba un dels bits de paritat erroni, que també pot ser, veurà que solament hi ha un bit de paritat, o de columnes o de files erroni, i en aquest cas no caldrà corregir res ja que els bits de dades seran correctes.

Si en el receptor li arriben dos bits d'una mateixa columna, o d'una mateixa fila, erronis, veurà que hi ha solament dos bits de paritat de files o de columnes que no corresponen, però no sabrà de quina columna o fila es tracte i no es podrà corregir.

Un altre algoritme molt usat per corregir errors, és una còpia de la coneguda prova del 9, però en lloc de números es fa la prova amb polinomis. Actualment s'empren algoritmes molt més complicats i més eficients que els dos primers explicats per corregir errors.

