bombers

MAN.GRAL.005
v.1

SGO

Manual Operatiu

Manual operatiu bàsic d'electricitat

Generalitat de Catalunya

Control de versions

Versió	
01	**Unitat redactora:** Unitat redactora
	Data de redacció de la versió: 01/02/2026
	Canvis: Redacció inicial del document

Índex

1. Introducció 5
1.1. Objectius del manual 5
1.2. Importància del coneixement elèctric en contextos d'emergència 5
2. Fonaments d'electricitat 6
2.1. Definició d'electricitat 6
2.2. Sentit i tipus de corrent elèctric 6
2.3. Conductors, semiconductors i aïllants 6
3. Magnituds elèctriques bàsiques 7
3.1. Càrrega elèctrica 7
3.2. Intensitat 7
3.3. Tensió (voltatge o diferència de potencial) 7
3.4. Resistència 7
3.5. Potència 8
3.6. Energia (Consum) 8
4. Lleis i fórmules bàsiques de l'electricitat 9
4.1. Llei d'Ohm 9
4.2. Efecte Joule 10
4.3. Potència elèctrica 10
4.4. Relació entre magnituds i aplicacions pràctiques 11
5. Circuits elèctrics simples 11
5.1. Elements d'un circuit bàsic 11
5.2. Tipus de connexions 12
5.2.1. Connexió en sèrie 12
5.2.2. Connexió en paral·lel 13
5.2.3. Combinacions sèrie-paral·lel i circuits complexos 14
6. Símil hidràulic 15
7. Tipus de corrent elèctric 15
7.1. Corrent continu 15
7.2. Corrent alterna 16
7.2.1. Corrent altern monofàsic 17
7.2.2. Corrent altern trifàsic 17
7.2.3. Càrregues en corrent altern 19
7.2.4. Potència en corrent altern 20
7.2.5. El factor de potència: l'eficiència de l'ús de l'energia 20
7.2.6. Consideracions pràctiques sobre la potència aparent 21
7.3. Conversions entre tipus de corrent: el pont entre AC i DC 21
8. Electromagnetisme 22
8.1. Fonaments de l'electromagnetisme 22
8.2. Aplicacions 23

9. Riscos associats a l'electricitat 23
9.1. Efectes de l'electricitat sobre el cos humà 24
9.1.1. El cos humà és conductor 24
9.1.2. El cos humà en el circuit elèctric 25
9.2. Efectes de l'electricitat sobre les instal·lacions i materials 26

En aquest text, per a les referències fetes a col·lectius, s'ha utilitzat el masculí amb valor genèric.

1. Introducció

L'electricitat és present de manera constant en el nostre entorn, tot i que sovint no en siguem conscients fins que apareix una avaria o una situació de perill. En el context de les emergències, aquesta falta de percepció directa la converteix en un factor de risc significatiu. Per això és fonamental disposar de coneixements bàsics que permetin entendre què és l'electricitat, quins perills comporta i com treballar-hi amb seguretat.

Aquest manual pretén oferir una visió introductòria, ordenada i entenedora dels principis essencials de l'electricitat. Al llarg del document s'expliquen les magnituds elèctriques bàsiques, les lleis fonamentals que regulen el comportament dels circuits, els principis bàsics de l'electromagnetisme i els diferents tipus de corrent. També es presenten circuits senzills que permeten visualitzar de manera pràctica com es genera, circula i es distribueix l'energia elèctrica.

1.1. Objectius del manual

Aquest manual té com a finalitat proporcionar els coneixements elèctrics bàsics per actuar de manera segura i eficaç en situacions d'emergència en què l'electricitat tingui un paper rellevant. L'electricitat és una energia que no es veu, no fa soroll i no es percep amb els sentits fins que és massa tard, fet que la fa especialment perillosa i difícil d'entendre sense els coneixements adequats. Per això, comprendre els seus principis és fonamental.

Els objectius principals d'aquest manual són:

- Comprendre els conceptes fonamentals de l'electricitat
- Identificar els riscos elèctrics i com evitar-los

1.2. Importància del coneixement elèctric en contextos d'emergència

En situacions d'emergència, el personal d'intervenció sovint s'enfronta a riscos elèctrics que poden comprometre tant la seva seguretat com l'eficàcia de la intervenció. Un coneixement bàsic de l'electricitat permet:

- **Avaluar riscos**: Identificar situacions perilloses abans que esdevinguin accidents.
- **Prendre decisions informades**: Saber quan és segur intervenir i quan cal esperar els tècnics especialitzats.
- **Protegir vides**: Tant la pròpia com la de les persones afectades.
- **Optimitzar recursos**: Evitar danys innecessaris a equips i instal·lacions.

2. Fonaments d'electricitat

2.1. Definició d'electricitat

L'electricitat és un conjunt de fenòmens físics associats al moviment o a l'acumulació de càrregues elèctriques.
Es manifesta principalment en forma de corrent elèctric, quan les càrregues es desplacen a través d'un conductor, i en forma de camp elèctric, quan les càrregues romanen en repòs. Aquest moviment d'electrons és el que permet generar energia útil per a il·luminar, moure motors o alimentar equips.
En l'àmbit operatiu, l'electricitat s'ha d'entendre com una font d'energia capaç de produir efectes mecànics, tèrmics o electromagnètics, però també com un element potencialment perillós si no es controla adequadament.

2.2. Sentit i tipus de corrent elèctric

Històricament, abans de descobrir l'existència dels electrons, es va establir que el corrent elèctric anava del pol positiu (+) al negatiu (-). No obstant això, en la realitat física, els electrons es mouen des del pol negatiu (on hi ha un excés d'electrons) cap al pol positiu (on hi ha una manca d'electrons).

- **Corrent Continu (*DC-Direct Current*):** Els electrons circulen sempre en el mateix sentit.
  Exemples: Piles, bateries, panells solars.
- **Corrent Altern (*AC-Alternating Current*):** Els electrons canvien de sentit periòdicament, invertint el seu sentit de flux. És el tipus de corrent que arriba a les nostres llars i indústries.
  Exemples: Xarxa elèctrica domèstica i industrial, generadors.

2.3. Conductors, semiconductors i aïllants

Els materials no reaccionen igual davant l'electricitat, i aquesta diferència és clau per comprendre el seu funcionament i la seguretat elèctrica. Es poden classificar segons la seva capacitat de permetre o dificultar el pas del corrent:

- **Conductors:** Permeten el pas fàcil del corrent gràcies a la seva alta conductivitat. Com més curt i gruixut és el conductor, més corrent pot transportar.
  Exemples: coure, alumini, metalls, aigua amb sals.
- **Semiconductors:** Tenen una conductivitat intermèdia que es pot controlar, i són la base dels components electrònics.
  Exemples: silici, germani.
- **Aïllants (dielèctrics):** Impedeixen el pas del corrent en condicions normals. Tot i això, si s'arriba a la seva tensió de ruptura poden comportar-se com conductors.
  Exemples: plàstic, goma, vidre, ceràmica, fusta seca, aire.

3. Magnituds elèctriques bàsiques

Per l'estudi de l'electricitat, es treballa amb diverses magnituds que permeten descriure i quantificar el corrent elèctric. A continuació es presenten les més importants:

3.1. Càrrega elèctrica

La càrrega elèctrica és una propietat fonamental de la matèria. És la quantitat d'electrons, que hi ha o que passen per un punt.

- **Unitat de mesura**: El **Coulomb (C).**

corregit · DGPEIS 10/2026

Un coulomb equival a més de sis mil milions de milions d'electrons ($6{,}242 \times 10^{18}$). És una magnitud que no es fa servir a la pràctica, però és fonamental per entendre les altres que se'n deriven.

3.2. Intensitat

La **intensitat de corrent** és la quantitat d'electrons (càrrega elèctrica) que passen per un punt d'un circuit en un temps determinat. Representa el "flux" real d'electricitat.

- **Unitat de mesura:** L'**ampere (A)**. Un ampere es defineix com el pas d'un Coulomb de càrrega per cada segon.
  Exemples:
  Una bombeta LED petita: 0,02 - 0,1 A
  Una rentadora domèstica: 8 - 12 A
  Un motor industrial: 50 - 500 A
  Una línia de transport d'alta tensió: Centenars o milers d'amperes

3.3. Tensió (voltatge o diferència de potencial)

La **tensió** o **voltatge** és la "força" que impulsa els electrons a moure's a través d'un conductor. És el que fa que el corrent elèctric circuli. Sense tensió, no hi ha moviment d'electrons.
Entre dos punts que tenen els electrons al mateix potencial (diferencia de potencial = 0) no hi ha "ganes" (impuls) de moure's.

- **Unitat de mesura:** El **volt (V)**.

3.4. Resistència

La **resistència elèctrica** és l'oposició que un material presenta al pas del corrent elèctric. És invers a la conductivitat. Com més resistència, més difícil és que flueixi el corrent a través seu. Els conductors tenen baixa resistència, mentre que els aïllants tenen una resistència molta alta.

La resistència varia amb la temperatura, en la majoria de materials a més temperatura més resistència.

- **Unitat de mesura**: L'**ohm (Ω)**.
  Exemples:
  Els cables conductors d'una instal·lació tenen una resistència molt baixa per permetre el pas eficient del corrent.
  Les fundes d'aïllament dels cables o els aïlladors de les torres elèctriques tenen una resistència extremadament alta per evitar que el corrent surti del conductor.

3.5. Potència

La **potència elèctrica** és la velocitat a la qual es realitza un treball elèctric o la quantitat d'energia que consumeix o genera un aparell per unitat de temps. Ens indica capacitat de treball d'un equip elèctric.

- **Unitat de mesura:** El **watt (W)**.
  Exemples:
  Carregador de telèfon mòbil: 5 – 15 W
  Una bombeta LED: 10 – 40 W
  Forn de cuina: uns 2.000 W (2 kW)
  Tesla Model 3: 200 – 400 kW
  Central nuclear Vandellòs II: 1 GW

3.6. Energia (Consum)

L'energia elèctrica és la quantitat total de treball elèctric que es realitza en un període de temps determinat. És la mesura de la potència consumida al llarg del temps, i és el que realment paguem a la factura elèctrica.

- **Unitat de mesura**: El watt-hora (**Wh**) o, més comunament, el kilowatt-hora (**kWh**).
  Exemples:
  Una bombeta de 10 W encesa durant10 hores consumeix 100 Wh = 0.1 kWh.
  Un termo elèctric de 1000 W escalfant aigua durant 2 hores consumeix 2 kWh.
  Un cotxe elèctric per recórrer 100 km consumeix de 15 a 20 kWh.

També podem parlar d**'energia elèctrica emmagatzemada**, que és la quantitat de treball elèctric que es podrà realitzar. L'energia elèctrica emmagatzemada també es mesura en **Wh**. No confondre amb la capacitat que es mesura en Ah.
Exemples:
Bateria Hilti (de 22V i 5,2 Ah) aproximadament 115 Wh.
Cotxe híbrid endollable (PHEV): típicament entre 10 i 20 kWh.
Cotxe 100% elèctric (BEV): habitualment entre 40 i 90 kWh.

Potència (kW) vs. Energia (kWh)

Són habituals confusions de conceptes i unitats.

- **Potència (kW)** i **Energia o Consum (kWh)** no són el mateix.
- No és correcte parlar de kWh quan ens referim a potència. La **potència** s'expressa en **kW**.
- És erroni parlar de kW quan ens referim al consum (energia consumida). El **consum** s'expressa en **kWh**.
- La unitat kW/h no té gaire sentit en electricitat. L'energia és potència **multiplicada** per temps (kW x h), no dividida.

4. Lleis i fórmules bàsiques de l'electricitat

Les magnituds elèctriques que hem vist es relacionen entre elles amb les lleis fonamentals. Veurem les més bàsiques (**Llei d'Ohm**, **Efecte Joule** i **Potència**). N'hi ha d'altres, com les que expliquen el comportament en circuits més complexes (les Lleis de Kirchhoff) i l'electromagnetisme (les Equacions de Maxwell), però s'escapen de l'abast d'aquest manual.

4.1. Llei d'Ohm

La **Llei d'Ohm** relaciona la tensió, la intensitat i la resistència en un circuit elèctric. És el pilar fonamental de l'electricitat.
"La intensitat de corrent que circula per un conductor és directament proporcional a la tensió aplicada en els seus extrems i inversament proporcional a la resistència del conductor."

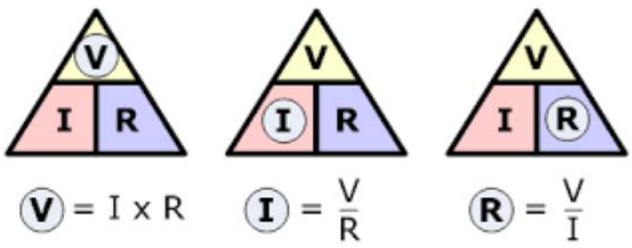
Es pot expressar amb la següent fórmula: $I = V / R$

- ***I*** és la Intensitat de corrent, expressada en Ampere (A)
- ***V*** és la Tensió o voltatge, expressada en Volt (V)
- ***R*** és la Resistència, expressada en Ohm (Ω)

Com interpretar-ho?

- A igual resistència, si la tensió (V) augmenta, la intensitat (I) també augmenta.
- A igual tensió, si la resistència (R) augmenta, la intensitat (I) disminueix.

Fórmules derivades de la Llei d'Ohm:
Podem reordenar l'equació segons el que vulguem calcular: si volem saber la tensió, V = I x R; si volem la resistència, R = V / I. Aquesta flexibilitat fa de la llei d'Ohm una eina molt pràctica.



4.2. Efecte Joule

L'**efecte Joule** és la transformació d'energia elèctrica en calor quan el corrent circula per un conductor amb resistència. Aquest escalfament es produeix pels xocs entre electrons i àtoms del material, i pot ser un efecte útil (com en estufes) o perjudicial (sobreescalfament de cables), a més de representar sempre una pèrdua d'energia.

La calor generada es pot calcular amb la següent fórmula: $Q = I^2 \, x \, R \, x \, t$

- **Q** és la Quantitat de calor generada, expressada en Joules (J)
- **I** és la Intensitat de corrent que circula, expressada en Ampere (A)
- **R** és la Resistència del conductor, expressada en Ohm (Ω)
- **t** és el Temps durant el qual el corrent circula, expressat en segons (s).

Com interpretar-ho?
- La calor augmenta proporcionalment al quadrant de la intensitat (si el corrent es duplica, la calor es quadruplica).
- Com més resistència, més calor es genera.
- Com més temps circula el corrent, més calor s'acumula.

L'augment de temperatura dependrà de la capacitat del conductor per dissipar aquesta calor cap a l'entorn.

4.3. Potència elèctrica

La potència elèctrica és la quantitat de treball o energia consumida o generada per un aparell per unitat de temps. Indica la capacitat de realitzar feina: un equip més potent pot fer més treball en menys temps. Es mesura en watts (W).

La formula (bàsica) per calcular la potència elèctrica és vàlida en corrent continu o per càrregues purament resistives en corrent altern:

$$P = V \times I$$

Combinant la Llei d'Ohm i la fórmula de la potència, si substituïm V = I × R a la fórmula anterior, la potència és:

$$P = I^2 \times R$$

- **P** és la Potència, expressada en Watts (W).
- **V** és la Tensió o voltatge, expressada en Volts (V).
- **I** és la Intensitat de corrent, expressada en Ampere (A).
- **R** és la resistència, expressada en Ohm (Ω).

Com interpretar-ho?

- A la mateixa tensió, més potència implica més intensitat.
- Per obtenir la mateixa potència amb menys tensió, cal més intensitat.
- La calor generada (efecte Joule) creix de forma quadràtica amb la intensitat que circula.

4.4. Relació entre magnituds i aplicacions pràctiques

A la pràctica, treballar amb baix voltatge és més segur, però si es requereixen potències elevades, la intensitat necessària també augmenta, cosa que comporta:

- Pèrdues importants per efecte Joule (calor).
- Necessitat de cables de gran secció, que encareixen i compliquen la instal·lació.

Per això, en transmissió de grans potències s'utilitzen voltatges alts: permeten transportar la mateixa potència amb intensitats més baixes, reduint pèrdues i permetent cables més prims. En general, és més senzill aïllar voltatges elevats que gestionar intensitats molt altes.

Exemples:
Els camions utilitzen sistemes de 24 V per obtenir més potència amb el mateix cablejat.
Els vehicles elèctrics treballen amb 400 o 800 V per moure grans potències amb intensitats controlables.
Les línies de transport d'electricitat arriben fins als 400 kV per minimitzar pèrdues en grans distàncies. Això redueix dràsticament la intensitat (tot i seguir sent elevades) i, per tant, les pèrdues en les línies, fent el transport eficient.

5. Circuits elèctrics simples

Perquè s'estableixi la circulació del corrent elèctric cal que hi hagi:

- Tensió o diferència de potencial.
- Un circuit conductor **tancat.**

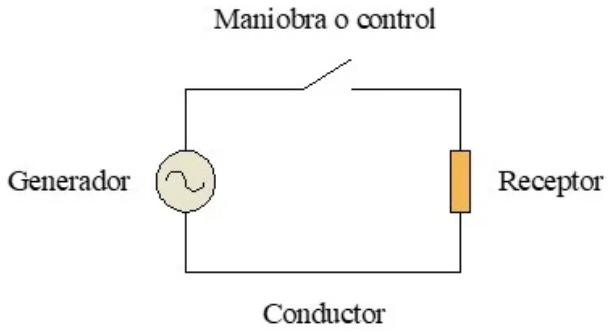
Entre dos punts que hi hagi diferència de potencial, és a dir, voltatge, si els unim amb un camí continu format per materials conductors, els electrons circularan. Si el circuit s'obre, el corrent s'interromp.

5.1. Elements d'un circuit bàsic

Tot circuit elèctric simple consta d'almenys quatre components essencials:

- **Font de tensió**: Genera l'energia elèctrica i crea la diferència de potencial.
- **Conductors**: Cables que transporten el corrent amb mínima resistència.

- **Receptor o càrrega**: Converteix l'energia elèctrica en llum, calor, moviment, etc. (ex. bombeta, motor).
- **Interruptor o element de control**: Obre o tanca el circuit per permetre o bloquejar el pas del corrent.



No sempre els conductors en un circuit són cables amb baixa resistència. Quan l'electricitat busca camins no desitjats, pot circular per l'aire (arc elèctric, llamp), pel terra o fins i tot pel cos humà.

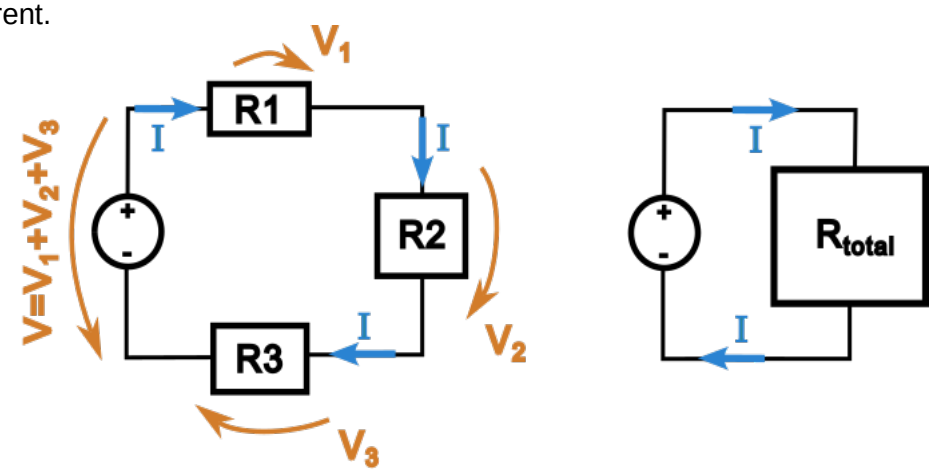
En un curtcircuit, sense una càrrega prevista, el propi conductor dissipa l'energia com a calor intensa. En una electrocució, el cos humà actua com a conductor i receptor alhora.

5.2. Tipus de connexions

En un circuit hi pot haver més d'un generador, més d'un receptor i més d'un element de maniobra, i els conductors que calgui per connectar-los. La manera com es connecten entre ells determina el comportament general del circuit.
Les configuracions fonamentals són en sèrie i en paral·lel, i també es poden fer combinacions d'aquestes. Per fer-ho senzill parlarem de receptors, però és aplicable als altres elements.

5.2.1. Connexió en sèrie

En una connexió en sèrie, els receptors es connecten un darrere l'altre, formant un únic camí per al corrent.



Característiques principals:
- La intensitat (I) és la mateixa per a tots els elements.
- La tensió (V) es reparteix entre els receptors.
- Si un receptor es desconnecta o falla, el circuit s'obre i tots deixen de funcionar.

Caiguda de Tensió en una Càrrega:
- En un circuit elèctric, quan el corrent travessa un receptor, es produeix una "caiguda de tensió" a través d'aquest component.
- A la sortida, després de travessar la càrrega, disposem de menys potencial o tensió.

$$Vi=I\times Ri$$

Resistència Total en Sèrie (R_{total}):
Quan varis receptors es connecten en sèrie, la resistència total del circuit és la suma de les resistències individuals de cada receptor. Això és degut a que el corrent ha de travessar totes les resistències una darrere l'altra, trobant més oposició al seu pas.

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + ...$$

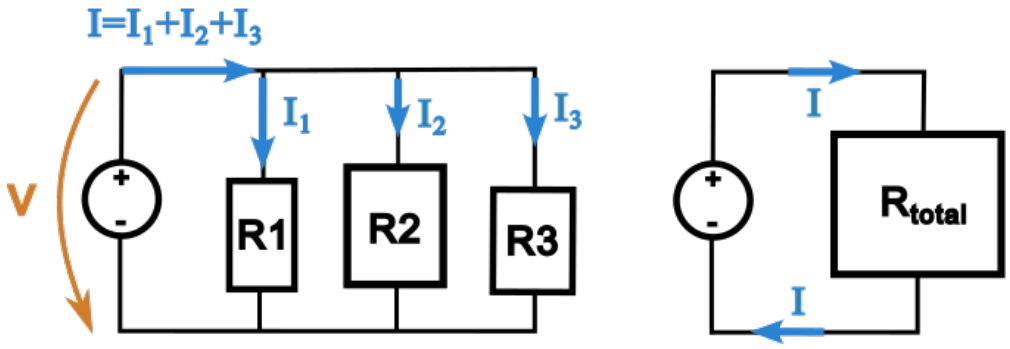
- Aplicant la Llei d'Ohm al conjunt podem calcular el corrent que circula pel circuit.

$$Itotal = V / Rtotal$$

Els Equips de Protecció, guants i botes dielèctriques(EPI), la perxa i la banqueta dielèctrica (EPC) són elements que posem en sèrie amb el nostre cos per augmentar moltíssim la resistència total, de manera que el corrent que passi sigui insignificant i imperceptible.

5.2.2. Connexió en paral·lel

En una connexió en paral·lel, els receptors es connecten de manera que cada un té el seu propi camí independent des de la font de tensió. El corrent es divideix per fluir a través de cada receptor.



Característiques principals:

- La tensió (V) és la mateixa en tots els receptors i coincideix amb la de la font.
- La intensitat total (I_{total}) que subministra la font es divideix entre les branques segons la resistència de cada receptor.

  Per a una branca concreta: $I_i = V / R_i$

  La intensitat total del circuit és la suma de les intensitats de cada branca:

  $$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + ...$$

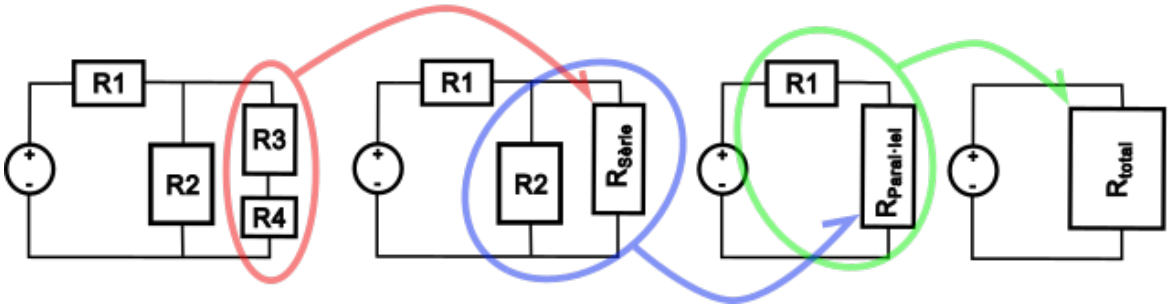
- Si un receptor es desconnecta o falla, els altres continuen funcionant, ja que els seus circuits no es veuen interromputs. La intensitat total disminueix, perquè hi ha una branca menys per on circula corrent.

Resistència Total o Equivalent en Paral·lel: La resistència equivalent de varies càrregues connectades en paral·lel es calcula:

$$1/ R_{total} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + ...$$

5.2.3. Combinacions sèrie-paral·lel i circuits complexos

A la pràctica, és habitual trobar circuits que no són purament en sèrie ni purament en paral·lel, sinó una combinació d'ambdós tipus. Aquests s'anomenen circuits mixtos o complexos.



Els circuits que no són excessivament complicats, es poden simplificar de manera sistemàtica fent agrupacions i calculant les resistències equivalents de cada secció fins a trobar la resistència total del conjunt.

Per l'anàlisi de circuits molt més complexos (múltiples fonts, malles, ..) es requereixen mètodes avançats, com les Lleis de Kirchhoff, que queden fora de l'abast d'aquest manual bàsic.

6. Símil hidràulic

Els conceptes elèctrics poden ser difícils de visualitzar ja que l'electricitat és una energia que no es pot veure directament. Per facilitar la seva comprensió, és molt habitual fer l'analogia amb un sistema que ens és més familiar i tangible: un circuit hidràulic.

Així, per exemple tenim una bomba impulsora, circuit tancat de canonades (en el sentit que l'aigua acaba retornant a l'aspiració de la bomba, no es llença al desguàs) amb les corresponents vàlvules i elements receptors per transformar l'energia (turbines, pistons)

Concepte elèctric	Equivalent hidràulic
Tensió, Voltatge (V)	Pressió de l'aigua (alçada columna d'aigua)
Intensitat, corrent (A)	Cabal (quantitat d'aigua per unitat de temps)
Resistència (Ω)	Escanyament o rugositat de la canonada
Caiguda de tensió (V)	Pèrdua de càrrega
Càrrega elèctrica (C)	Quantitat o volum d'aigua
Potència (W, kW))	Reacció del raig d'aigua (pressió x cabal)
Energia / Consum (kWh)	Volum total d'aigua que ha circulat en un temps determinat
Generador, font	Bomba d'aigua
Interruptor	Vàlvula
Motor	Turbina
Circuit obert	Vàlvula tancada, no hi ha circulació d'aigua
Circuit tancat	Vàlvula oberta, hi ha circulació d'aigua

Atenció al funcionament contraposat de vàlvula i circuit, que poden portar a confusions, és contra-intuïtiu. Una **vàlvula oberta** equival a **circuit tancat**, i a l'inrevés.

7. Tipus de corrent elèctric

Un cop entesos els conceptes fonamentals de l'electricitat i el comportament dels circuits, és essencial conèixer els dos grans tipus de corrent elèctric presents en la majoria d'aplicacions: el **corrent continu** i el **corrent altern**. Cadascun presenta característiques pròpies, amb avantatges i limitacions segons l'ús, i sovint és necessari convertir un tipus de corrent en l'altre mitjançant dispositius d'electrònica de potència.

7.1. Corrent continu

El **corrent continu (DC o CC)** es caracteritza perquè el flux d'electrons circula sempre en el mateix sentit. Això no implica que la seva magnitud sigui constant: la tensió o la intensitat poden variar, però la **polaritat no canvia**. El que defineix el corrent continu és que la seva polaritat (la direcció del flux) no canvia mai. Per exemple, la tensió d'una bateria disminueix amb la descàrrega, però continua essent corrent contínua.

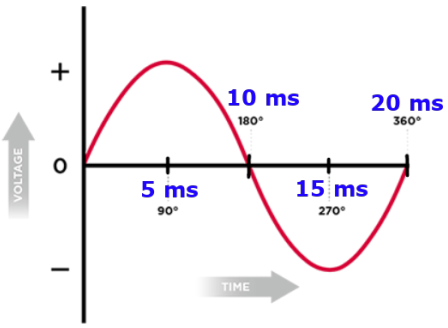
Exemples d'ús del corrent continu:

- **Dispositius a Bateries:** La majoria d'aparells electrònics portàtils (mòbils, portàtils, llanternes, rellotges), vehicles elèctrics (cotxes EV, bicicletes i patinets elèctrics) i sistemes d'alimentació ininterrompuda (SAI/UPS) funcionen amb bateries i, per tant, utilitzen corrent continu. Cal tenir en compte que en alguns d'aquests aparells, la tensió DC de la bateria pot acabar sent convertida a algun tipus de corrent alterna per al seu ús final en el motor de tracció (com en molts cotxes elèctrics o alguns trens).
- **Electrònica Digital:** Tots els circuits integrats, microprocessadors i components electrònics d'ordinadors, televisors, etc., funcionen amb corrent continu de baixa tensió.
- **Ferrocarrils:** Una part significativa de les línies de ferrocarril (tren, metro, tramvia) utilitzen corrent continu per alimentar els motors de tracció, sovint a tensions elevades (per exemple, 750V, 1500V o 3000V DC).
- **Energia fotovoltaica:** Les plaques fotovoltaiques generen corrent continu directament de la llum solar.

7.2. Corrent alterna

A diferència del corrent continu, on els electrons flueixen sempre en la mateixa direcció, el **Corrent Altern (AC)** es caracteritza perquè el sentit del flux d'electrons canvia periòdicament. Els electrons no van lluny d'una punta a l'altra, sinó que **oscil·len endavant i endarrere dins del conductor**.

Per posar un símil hidràulic, seria el cas de les onades del mar, que es generen en un extrem del mar i fan oscil·lar una boia a l'altra punta. Però les gotes d'aigua no han viatjat amb l'onada, s'han transmès l'energia les unes a les altres.
La manera més habitual de generar corrent altern (mitjançant alternadors en centrals elèctriques) fa que la seva magnitud (tensió i intensitat) variï de forma regular seguint una **ona sinusoïdal**. Aquesta ona canvia contínuament de valor i de polaritat.
Una característica fonamental del corrent altern és la seva **freqüència**, que indica quants **cicles complets** l'ona realitza per segon. A Europa, la freqüència estàndard és de **50 Hertz (Hz)**, el que significa que la tensió i la intensitat completen 50 cicles per segon, i cada cicle dura 20 ms (mil·lisegons). Dins de cada cicle, la polaritat canvia dues vegades (passant per zero), de manera que el sentit del corrent s'inverteix 100 vegades per segon.



Segons la manera com es genera i la disposició dels conductors, podem tenir diferents configuracions de corrent altern. Les més habituals són el monofàsic i el trifàsic.
Tot i que la forma sinusoïdal és la més important per a la generació i distribució elèctrica, en el camp de l'electrònica podem trobar moltes altres formes d'ona de corrent altern (ones quadrades, dent de serra o triangulars...).

7.2.1. Corrent altern monofàsic

El corrent altern monofàsic és la més comú en els habitatges i petits negocis. Utilitza un circuit format per dos conductors principals:

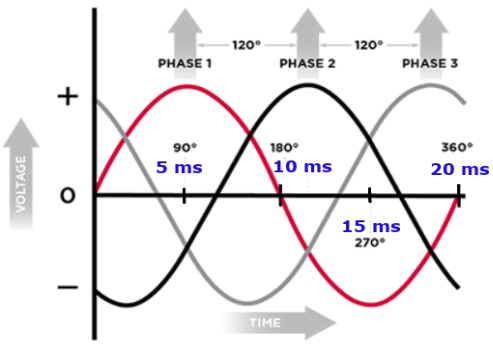
- **Fase (Línia, L):** És el conductor que transporta la tensió activa. És el punt d'on "surt" l'energia que farà funcionar els aparells.
- **Neutre (N):** És el conductor que tanca el circuit i serveix de “retorn” per al corrent.

Cal entendre que, en realitat per la naturalesa oscil·lant de l’AC, els electrons ni “venen” per la fase ni "tornen" físicament al generador pel neutre, és una manera de parlar. Com sabem, per tal que s’estableixi circulació de corrent cal un circuit tancat, el neutre és necessari per completar el circuit, permetent el moviment d'oscil·lació dels electrons. El neutre sol estar connectat a terra (a la central de transformació o a la derivació d'entrada de l'edifici) i, en condicions normals, no té tensió respecte a terra. Això el converteix en un punt de referència de voltatge per a la fase.

A Europa la tensió eficaç entre fase i neutre és de **230 V**. Però en una ona sinusoïdal de corrent altern, la tensió puja i baixa i no es manté constant en aquests 230 V. El voltatge màxim de pic al que arriba la ona sinusoïdal són aproximadament 325 V. La tensió eficaç (o també anomenada RMS – *Root Mean Square*, mitjana quadràtica) és el valor de tensió en contínua (DC) que produiria el mateix efecte en calor o treball en una càrrega resistiva.
A les xarxes de distribució elèctrica de Catalunya (i en general a Europa), el neutre està connectat a terra al centre de transformació, i això fa que, en cas de fallada d’aïllament o contacte accidental, el corrent pugui retornar a través de la presa de terra, completant el circuit.

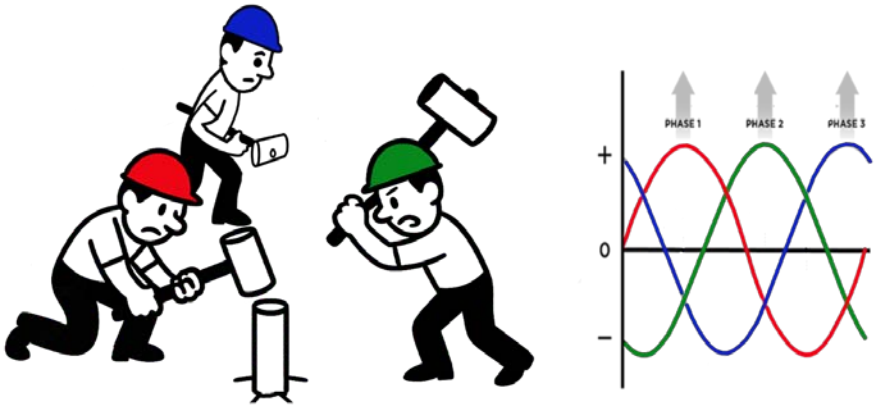
7.2.2. Corrent altern trifàsic

El corrent trifàsic és el sistema més utilitzat en la distribució d’electricitat a gran escala (indústria, grans edificis, xarxa elèctrica) gràcies a la seva major eficiència i capacitat de potència respecte a la monofàsica. Es basa en tres corrents alterns **desfasats** entre sí **120**°.



Conceptes clau:

- **Fase:** en AC, indica la posició d'una ona dins del seu cicle (en graus o temps). En un sistema trifàsic, les tres ones estan perfectament desfasades 120°.
- **Símil**: com tres operaris que colpegen una estaca, cadascun en un moment diferent del cicle, produint un treball constant i uniforme.



Què implica aquest desfasament? Avantatges del Trifàsic:

- **Potència uniforme**: la suma de potències instantànies és estable, reduint vibracions i millorant l'eficiència, especialment en motors.
- **Més potència amb menys conductor**: transporta més potència amb menys secció de cable. Per exemple, per la mateixa potència, un sistema trifàsic pot necessitar només tres o quatre conductors, mentre que un monofàsic requeriria cables molt més gruixuts o més parells de cables En condicions equilibrades, el corrent pel neutre és pràcticament zero.
- **Camps magnètics rotatoris**: generen motors més robustos i eficients, amb arrencades suaus.

Conductors en Trifàsic: Un sistema trifàsic complet pot tenir quatre conductors:

- **Tres Fases (L1, L2, L3, o també anomenades R, S, T):** Cadascuna transporta un dels corrents alterns desfasats. La tensió mesurada entre dues fases (anomenada **tensió de línia**) és de 400 V a Europa (566 V de pic).
- **Neutre (N):** Conductor de retorn i de referència, similar al del monofàsic, utilitzat quan hi ha càrregues monofàsiques connectades al sistema trifàsic o en sistemes desequilibrats.

Càlcul de Potència en Sistemes Trifàsics:

En un sistema trifàsic, la potència total del sistema es calcula generalment com la suma de les potències de cada fase. Si considerem un sistema equilibrat (on la tensió i la intensitat són iguals en les tres fases), la **potència total es pot calcular com el triple de la potència d'una sola fase**.

És a dir: $P_{total} = 3 \times P_{fase}$

7.2.3. Càrregues en corrent altern

Quan el corrent altern flueix per un circuit, no només importa la magnitud de la **tensió (V)** i la **intensitat (I)**, sinó de la relació temporal entre elles i del tipus de càrrega. Aquesta diferència influeix directament en el consum d'energia i l'eficiència del sistema. Les càrregues en AC es classifiquen en tres tipus principals:

a) **Càrregues resistives (òhmiques)**
   Transformen tota l'energia en calor o llum, sense emmagatzematge.
   Exemples: bombetes incandescents, estufes, torradores, resistències.
b) **Càrregues inductives**
   Contenen bobines que generen camps magnètics i s'oposen als canvis de corrent. *Exemples: motors, transformadors, fluorescents amb balast, solenoides.*
c) **Càrregues capacitives**
   Emmagatzemen energia en camps elèctrics i s'oposen als canvis de tensió. *Exemples: condensadors de correcció de factor de potència, fonts d'alimentació, llums LED.*

Desfasament entre tensió i intensitat

En AC, tensió i intensitat poden estar **desfasades**, és a dir, no assolir els seus pics al mateix temps. Aquest desfasament (angle φ) és la diferència de temps (o fase) entre els pics de tensió i de corrent, i depèn del tipus de càrrega:

Per entendre-ho, podem utilitzar el símil del cotxe (tensió) que estira un remolc (corrent):

a) **Càrregues resistives (barra rígida):** La tensió i intensitat estan en fase.
   Cotxe i remolc es mouen sincronitzats: quan el cotxe accelera o frena, el remolc ho fa al mateix instant → Tensió i intensitat estan **en fase** (sense desfasament). Tota l'energia es transforma directament en treball útil.
b) **Càrregues inductives (barra elàstica o molla):** la intensitat va endarrerida
   Quan el cotxe accelera, la molla s'estira abans que el remolc comenci a moure's. Quan el cotxe frena, la molla encara impulsa el remolc. → La intensitat **s'endarrereix** respecte a la tensió. L'energia es guarda temporalment en un **camp magnètic** abans de fer feina útil i es retorna parcialment al sistema.
c) **Càrregues capacitives: la intensitat va avançada respecte a la tensió**
   El comportament és l'invers a l'inductiu: el corrent flueix abans que la tensió arribi al seu pic. → La intensitat s'avança respecte a la tensió, perquè s'està carregant el camp elèctric del condensador.

Aquest desfasament és fonamental per entendre com es consumeix i es retorna energia en sistemes de corrent altern.

7.2.4. Potència en corrent altern

En corrent continu (DC), la potència es calcula simplement com (P = V×I). En corrent altern (AC) però, el desfasament entre tensió i intensitat fa que no tota la potència subministrada es converteixi en treball útil. Per això, distingim tres tipus de potència:

a) Potència activa o real (P)
És la potència que realment es transforma en moviment, calor o llum. **Unitat:** Watts (W) o kilowatts (kW).

b) Potència reactiva (Q)
És l'energia que s'intercanvia cíclicament entre font i càrrega (inductiva o capacitiva) per generar camps magnètics o elèctrics. No produeix treball útil directe. **Unitats:** Volt-ampere reactius (var) o kilovolt-ampere reactius (kvar).

c) Potència aparent (S)
És la combinació de P i Q: representa tota la potència que la xarxa ha de subministrar. **Unitats:** Volt-amperes (VA) o kilovolt-amperes (kVA).

Per entendre-ho, podem utilitzar el símil del got de cervesa:
- **P (activa):** la part líquida que pots beure — la que realment serveix.
- **Q (reactiva):** l'escuma que ocupa espai però no té utilitat directa.
- **S (aparent):** el volum total del got (líquid + escuma) — la capacitat total necessària.



7.2.5. El factor de potència: l'eficiència de l'ús de l'energia

El **factor de potència** és una mesura de l'eficiència amb què s'utilitza la potència elèctrica. És la relació entre la potència activa (la que realment fa treball) i la potència aparent (la potència total que es subministra). Es representa amb el cosinus de l'angle de desfasament entre la tensió i la intensitat (cos(ϕ)).

Valors del factor de potència:
- **FP proper a 1 (ideal):** Càrregues resistives, tensió i intensitat en fase → energia eficientment utilitzada.
- **FP baix:** Càrregues inductives o capacitives, tensió i intensitat desfasades → més energia reactiva, menys eficiència.

Per què cal mantenir un bon factor de potència?
Un factor de potència baix implica que la instal·lació necessita més intensitat per a la mateixa potència útil (activa), cosa que provoca:

- **Més pèrdues** en línies i transformadors (ja que les pèrdues depenen de I^2).
- **Infraestructura sobredimensionada:** generadors, cables i transformadors han de suportar la potència aparent total, no només la potència activa que realment es consumeix.
- **Penalitzacions econòmiques**, especialment per a grans consumidors industrials, per aquest sobredimensionament.

Per millorar el factor de potència i evitar aquestes penalitzacions, s'utilitzen habitualment els condensadors (càrregues capacitives), que generen potència reactiva "oposada" a la que consumeixen les càrregues inductives (com els motors). Això permet compensar la potència reactiva total del sistema. És per això que moltes indústries amb una gran quantitat de motors tenen instal·lades **bateries de condensadors** per corregir el seu factor de potència.

7.2.6. Consideracions pràctiques sobre la potència aparent

És important tenir en compte que quan mesurem la tensió eficaç (V) i la intensitat eficaç (I) d'un circuit i les multipliquem directament (V × I), obtenim la **potència aparent (S)**, expressada en VA o kVA. Aquest valor representa la potència total que ha de subministrar la xarxa o un equip generador, però no sempre es correspon amb la potència realment útil o activa. Per calcular aquesta **potència activa (P)**, mesurada en W o kW, caldria multiplicar la tensió i el corrent **instantanis** al llarg de tot un cicle de l'ona, tenint en compte el desfasament entre ells, cosa que complica el càlcul. Ara bé, si la càrrega és principalment resistiva i el **factor de potència** és proper a 1, la potència aparent i la potència activa pràcticament coincideixen, i podem aproximar P amb la fórmula P = V × I, com si es tractés de corrent continu. Per aquest motiu, en equips com generadors, transformadors o inversors, és habitual indicar la seva capacitat màxima en **kVA**, que correspon a la potència aparent que poden subministrar.

Tanmateix, si la càrrega és molt inductiva i genera potència reactiva, el generador no podrà proporcionar tota aquesta potència com a energia útil: així, un equip de 10 kVA podria subministrar només 8 o 9 kW de potència activa si alimenta motors o electrobombes amb un factor de potència baix.

7.3. Conversions entre tipus de corrent: el pont entre AC i DC

En el món actual, tant el corrent continu (DC) com el corrent altern (AC) són indispensables. La AC és la base de la generació i transport d'energia a llarga distància, mentre que molts dispositius electrònics i electrodomèstics funcionen internament amb DC.
Això fa que la conversió entre DC i AC sigui essencial en els sistemes elèctrics i electrònics.

Tipus de conversió:

a) Rectificació (AC → DC)
La rectificació transforma el corrent altern en continu. Es fa principalment amb díodes, que deixen passar el corrent en un sol sentit. Per suavitzar la tensió DC resultant s'utilitzen condensadors, que actuen com a dipòsits d'energia.
Aplicacions comunes:
Carregadors de mòbil o portàtil.
Fonts d'alimentació d'equips electrònics.
Automoció: l'alternador del cotxe genera AC, que després es rectifica a DC per carregar la bateria.

b) Inversió (DC → AC)
La inversió converteix la DC en AC. Els **inversors** (o onduladors) commuten el corrent DC ràpidament perquè simuli una ona AC, sovint sinusoïdal i amb potència i freqüència controlables.
Aplicacions comunes:
Energia solar fotovoltaica: per injectar l'energia a la xarxa o alimentar consumidors.
Vehicles elèctrics: converteixen la DC de la bateria en AC per als motors.
SAI: mantenen l'alimentació en caigudes de tensió.
Eòlica i altres renovables: converteixen energia generada en DC per al seu ús en xarxa AC.

Altres conversions:
- **DC/DC**: per elevar o reduir la tensió contínua (convertidors *step-up* o *step-down*).
- **AC/AC**: per modificar voltatge i/o freqüència (variadors de velocitat), sovint mitjançant un procés AC→DC→AC.

Aquestes conversions són el nucli de la flexibilitat dels sistemes elèctrics actuals, permetent-nos aprofitar els avantatges de la AC i la DC segons el context.

8. Electromagnetisme

El **magnetisme** és la capacitat que tenen certs cossos d'exercir forces a distància, que poden atreure o repel·lir altres materials. A la natura trobem certs materials que tenen aquesta propietat intrínsecament: els imants permanents.
Però també hi ha una estreta relació entre el corrent elèctric i el magnetisme, que és la base de molta de la nostra tecnologia elèctrica. Aquesta relació és el que anomenem **electromagnetisme**.

8.1. Fonaments de l'electromagnetisme

L'electromagnetisme es basa en dos principis fonamentals, que són la base de la majoria d'aparells elèctrics que coneixem:

1. Un corrent elèctric genera un camp magnètic al voltant del conductor.

- La força d'aquest camp magnètic és proporcional a la intensitat del corrent que circula pel cable: com més corrent, més fort és el camp magnètic generat.
- La seva força disminueix ràpidament a mesura que ens allunyem del conductor (és inversament proporcional a la distància).
- Si el corrent elèctric és variable (com el corrent altern), el camp magnètic generat també serà variable.

2. La variació d'un camp magnètic "indueix" (genera) un corrent elèctric variable.

- La magnitud del corrent induït depèn de la intensitat i de la velocitat de canvi del camp magnètic.

8.2. Aplicacions

Electroimants i bobines: si enrotllem el mateix conductor formant espires se suma la intensitat del camp magnètic de cada espira, per obtenir més força magnètica. Les bobines són la base de moltes màquines elèctriques.

Motors elèctrics: Converteixen energia elèctrica en energia mecànica (moviment). En les bobines del motor, el corrent elèctric genera camps magnètics variables que interactuen amb imants (permanents o electroimants), provocant forces d'atracció o repulsió que els fan girar.

Generadors elèctrics: Fan el procés invers als motors: converteixen energia mecànica (moviment) en elèctrica. Això s'aconsegueix quan un camp magnètic que gira és "vist" com a variable per una bobina que està quieta, induint així un corrent elèctric.

Transformadors: Són dues bobines que comparteixen un camp magnètic. Quan s'aplica corrent altern a una bobina (primària), aquesta genera un camp magnètic variable que, al seu torn, indueix corrent a la segona bobina (secundària). Són reversibles i només funcionen amb corrent altern. Variant el nombre d'espires de cada bobina s'aconsegueix "pujar" o "baixar" la tensió (relació de transformació).

9. Riscos associats a l’electricitat

L'electricitat, malgrat ser fonamental per la vida moderna, és una forma d’energia extremadament perillosa. A diferència d'altres riscos, no la podem veure, olorar ni sentir amb els nostres sentits fins que és massa tard. Aquesta invisibilitat la fa especialment perillosa i mortal.
Els riscos elèctrics no només afecten les persones, sinó també les instal·lacions i els béns materials.

9.1. Efectes de l'electricitat sobre el cos humà

Quan el corrent elèctric travessa el nostre cos, es produeix un **xoc elèctric**. Si el dany és suficient per causar la mort, parlem d'**electrocució**. Els efectes més perillosos són:

- **Fibril·lació Ventricular:** Corrents alterns (AC) de pocs mil·liamperes (mA) que travessin el cor poden provocar contraccions desorganitzades, i el cor deixa de bombar sang de manera efectiva. Això condueix ràpidament a una aturada cardiorespiratòria.
  - S'ha establert el llindar crític de **30 mA** (a 50 Hz): per sota d'aquest valor, tot i que es pot experimentar dolor, contraccions musculars o dificultat per respirar, la probabilitat de fibril·lació ventricular és menor en un percentatge elevat de la població.
  - Amb corrent continu (DC), no es produeix fibril·lació ventricular. No obstant això, amb intensitats superiors, sí que pot haver-hi una contracció involuntària del cor que resulti en una aturada cardíaca.
- **Cremades:** El corrent elèctric que travessa el cos es converteix en calor (efecte Joule), provocant cremades internes i externes molt greus, sovint devastadores, en els punts d'entrada i sortida del corrent i al llarg del seu recorregut.
- **Contraccions musculars:** Els músculs es contreuen de manera incontrolable i violenta, fent que la persona no es pugui deixar anar de l'element en tensió, pateixi caigudes o, si afecten a la musculatura de la caixa toràcica, entri en parada respiratòria.

9.1.1. El cos humà és conductor

Per a l'electricitat, **el cos humà és una càrrega més dins d'un circuit elèctric**, i apliquen les mateixes lleis que hem vist anteriorment.
La resistència del cos humà és difícil de saber amb exactitud perquè depèn de molts factors que la fan variar molt:

- La humitat de la pell: Una pell humida o suada baixa moltíssim la resistència, permetent el pas d'un corrent molt més gran amb la mateixa tensió.
- El recorregut del corrent pel cos: La resistència varia segons el camí que prengui el corrent, ja que els diferents teixits interns tenen resistències molt diferents. Els recorreguts que inclouen el cor (com de mà a mà o de mà a peus) són els més perillosos.
- La tensió aplicada: A més tensió aplicada, la resistència del cos tendeix a disminuir, la qual cosa facilita encara més el pas de corrent.

En la normativa internacional es consideren tensions segures per sota de 50V AC i 120 V DC en condicions normals (ambient sec). Si l'ambient és humit o la pell pot estar mullada (baixa la resistència), les tensions segures es redueixen a la meitat, 25 V AC i 60 V DC. Amb aquests valors de tensió es considera que en cas de contacte directe el risc per les persones és acceptablement baix i no calen mesures addicionals de protecció.

9.1.2. El cos humà en el circuit elèctric

Perquè el corrent elèctric ens faci mal, el nostre cos ha de formar part d'un **circuit tancat**, permetent que el corrent hi circuli. Segons com el nostre cos interactuï amb el circuit, distingirem tres situacions principals:

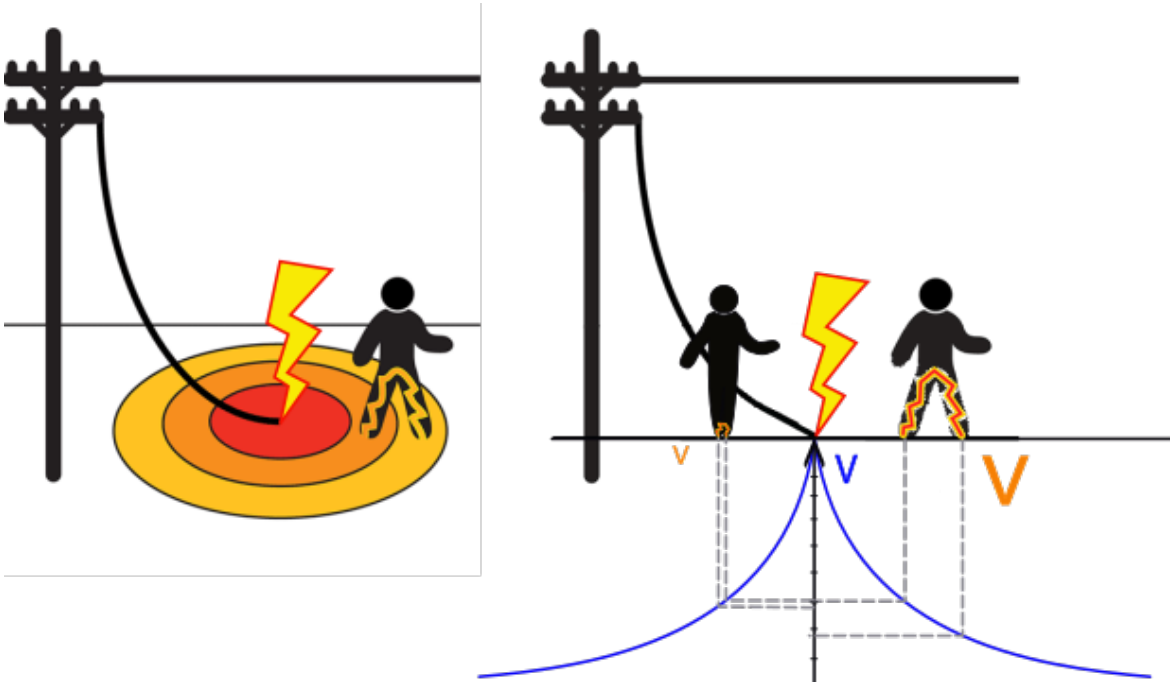
- **No formem part del circuit:** Si toquem només un element energitzat, però no tanquem el circuit, que permeti que el corrent circuli a través del nostre cos. El corrent no "té on anar", i per tant, no circula. Estem al mateix potencial de l'element que toquem, però mentre estiguem aïllats d'elements a potencials diferents, estem "salvats". No obstant l'anterior, el risc és alt si estem propers a elements amb diferent potencial, ja que accidentalment podem entrar en contacte i tancar el circuit. Cal recordar que en les xarxes de distribució el terra està connectat al neutre i fa de conductor de retorn.
  Exemples: L'ocell al cable. El bomber sobre l'estora aïllant.

- **Som el circuit (circuit en sèrie):** Quan el nostre cos tanca el circuit i es converteix en l'únic camí disponible perquè el corrent circuli, tot el corrent del circuit ha de passar per nosaltres.
  Es tracta d'una situació de màxim risc, ja que el corrent que circula pel cos només queda limitat per la nostra resistència ($V = I \times R$).
  A menys que la tensió sigui molt baixa, l'única protecció efectiva en aquest escenari és l'ús d'equips de protecció aïllants (eines, guants, botes, estores, perxes, etc.) que incrementen la resistència total i redueixen el corrent que podria circular a través del cos.
  Exemples: Contacte directe amb dos conductors a diferent potencial: positiu i negatiu en contínua, o dues fases, una fase i el neutre o una fase i el terra, en alterna.

- **Som part del circuit (circuit en paral·lel):** El nostre cos proporciona un camí addicional pel corrent, en paral·lel amb altres càrregues o camins ja existents en el circuit.
  La quantitat de corrent que ens travessa depèn de la nostra resistència en comparació amb la dels altres camins (connexió en paral·lel). Si la nostra resistència és comparativament baixa, podem rebre una descàrrega important. Que els altres circuits en paral·lel tinguin una resistència molt baixa ajuda a que per nosaltres passi poc corrent, però no és garantia d'estar fora de perill. Com en el cas anterior, la garantia de seguretat és afegir resistència al nostre circuit.
  Exemples: Un camió grua toca accidentalment una línia elèctrica. L'elevada resistència dels pneumàtics fa que el corrent que passa cap a terra sigui petit. Tanmateix, si una persona toca el camió, el seu cos "ofereix" un camí més fàcil (menys resistència que els pneumàtics).

Tensió de pas: Aquest fenomen es produeix quan un llamp, un cable nu en tensió cau a terra, una màquina toca un cable, el punt de contacte s'energitza, el terra actua com a conductor i el corrent elèctric es dispersa per la superfície del terreny, creant un gradient de tensió: la diferència de potencial és més gran a prop del cable i disminueix progressivament a mesura

que ens n'allunyem. Com que el terra té una resistència elevada, entre dos punts separats hi ha una diferència de potencial gran, i com més a prop del cable, més corrent circuli i més separats estan els punts de contacte amb el terra, més diferència de potencial hi haurà.



Si una persona camina pels voltants, la diferència de potencial en els seus peus serà més gran com més grans faci les passes i més a prop del cable es trobi. I com més diferència de potencial entre els peus, més corrent passarà pel seu cos.
En aquests casos es recomana fer passos petits amb els peus ben junts i tocant-se, i mai estirar-se a terra ni caure.
Com a curiositat, en els centres de transformació, el terra de formigó està fortament mallat amb barres d'acer o altres conductors, i connectat a tots els elements metàl·lics no conductors (torres, carcasses, tanques...), amb l'objectiu de crear el millor circuit possible pels corrents de fuita que puguin produir-se. Així la resistència del terra és molt baixa, i es minimitza la tensió de pas.

9.2. Efectes de l'electricitat sobre les instal·lacions i materials

L'electricitat no només amenaça la vida, sinó que també pot causar danys materials significatius:

- **Arc elèctric:** Es produeix quan el corrent "salta" per l'aire entre dos punts amb diferent tensió, l'aire es ionitza i es converteix en conductor (plasma). Genera calor i llum intensa, capaç de fondre metalls, provocar cremades greus a distància, llançar material projectat a gran velocitat i lesions a la vista.

- **Calor (Incendi):** Per efecte Joule, un excés de corrent o un mal contacte (augment de resistència) pot sobreescalfar els conductors fins a provocar la fusió de l'aïllament i l'incendi de materials combustibles propers. És una causa freqüent d'incendis.
- **Explosions:** En ambients amb gasos, vapors o pols inflamables, una espurna o un arc elèctric pot provocar una explosió devastadora.
- **Sobretensions:** Les sobretensions poden danyar o destruir l'aïllament dels cables i components, la qual cosa provoca fuites de corrent i augmenta el risc de xoc elèctric i curtcircuits. A més, l'excés de tensió pot causar un increment perillós de la intensitat, escalfant els components (efecte Joule) i podent generar incendis.
  Paradoxalment, una **subtensió** (un voltatge més baix del normal) també pot ser perillosa. En molts aparells, el corrent s'incrementa per intentar mantenir la potència constant, cosa que pot sobreescalfar-los.