

# Seguretat en instal·lacions electrotècniques

Adolf Iglesias Estradé

Electrotècnia



# Índex

<b>Introducció</b>	<b>5</b>
<b>Resultats d'aprenentatge</b>	<b>7</b>
<b>1 Efectes de l'electricitat i riscos associats</b>	<b>9</b>
1.1 Efectes de l'electricitat en persones i materials . . . . .	9
1.1.1 Efectes de l'electricitat en les persones . . . . .	9
1.1.2 Efectes de l'electricitat en els materials . . . . .	13
1.2 Normativa de seguretat i proteccions . . . . .	15
1.2.1 La seguretat en l'REBT . . . . .	15
1.2.2 Proteccions . . . . .	16
1.3 Riscos i accidents . . . . .	21
1.3.1 Riscos en instal·lacions i en treballs elèctrics . . . . .	21
1.3.2 Accidents elèctrics . . . . .	24
<b>2 Secció dels conductors</b>	<b>29</b>
2.1 Secció de conductors en funció de l'escalfament . . . . .	29
2.2 Caiguda de tensió en instal·lacions electrotècniques . . . . .	34
2.3 Secció de conductors en funció de la caiguda de tensió . . . . .	36
<b>3 Informació complementària sobre seguretat</b>	<b>39</b>
3.1 Model elèctric de la impedància del cos humà . . . . .	39



## Introducció

L'ús de l'electricitat és un dels trets més bàsics de la nostra societat actual. Tot tipus d'aparells i dispositius necessiten energia elèctrica per funcionar com, per exemple, llums, màquines basades en motors (rentadores), dispositius per a l'escalfament (forns, cuines, estufes) i la refrigeració (neveres, congeladors) i dispositius electrònics de tot tipus (televisors, telèfons, ordinadors, equipaments d'àudio, joguines). En el món contemporani tot funciona amb electricitat i viure sense aquests aparells no solament seria francament difícil d'imaginar, sinó que equivaldria a retrocedir a condicions pròpies de l'edat de pedra.

A més, l'energia elèctrica és neta i relativament fàcil de transportar i, en alguns casos, d'emmagatzemar. El problema rau en el fet que, tot i ser molt fàcil d'utilitzar, la manipulació de l'electricitat dista molt de ser innòcua: el contacte de l'electricitat amb el cos humà pot esdevenir dolorós, nociu i, fins i tot, mortal.

Tot plegat fa necessària la regulació de la seguretat pel que fa a l'ús i la manipulació de l'electricitat, tant a escala d'instal·lacions com a escala d'usuari final. Hi ha un seguit de normatives relacionades amb la seguretat i la prevenció de riscos en sistemes i instal·lacions electrotècniques que tendeixen a minimitzar l'impacte de l'electricitat sobre la salut.

Al llarg de les dues lliçons de què consta aquesta unitat veureu una sèrie d'aspectes relacionats amb els riscos i perills que comporta el treball elèctric, així com les normes de seguretat més importants que hem de seguir per minimitzar aquests riscos.

La unitat finalitza presentant la manera de dimensionar el gruix dels cables de les instal·lacions per tal que complint la normativa es pugui garantir que siguin segures.

Trobareu una tercera lliçó amb informació complementària que pot ser del vostre interès tot i no formar part del contingut avaluable del mòdul professional.



## Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat l'alumne/a:

1. Reconeix els riscos i efectes de l'electricitat, relacionant-los amb els dispositius de protecció que s'han d'emprar i amb els càlculs d'instal·lacions.
  - Utilitza el REBT i la normativa de seguretat enfront el risc elèctric.
  - Reconeix els inconvenients de l'efecte tèrmic de l'electricitat.
  - Identifica els riscos de xoc elèctric en les persones i els seus efectes fisiològics, així com els factors relacionats.
  - Identifica els riscos d'incendi per escalfament.
  - Reconeix els tipus d'accidents elèctrics.
  - Reconeix els riscos derivats de l'ús d'instal·lacions elèctriques.
  - Elabora instruccions d'utilització de les aules-taller.
  - Interpreta les cinc regles d'or per a la realització de treballs sense tensió.
  - Calcula la secció dels conductors d'una instal·lació, considerant les prescripcions reglamentàries.
  - Identifica les proteccions necessàries d'una instal·lació contra sobreintensitats i sobretensions.
  - Identifica els sistemes de protecció contra contactes directes i indirectes.





## 1. Efectes de l'electricitat i riscos associats

Els sistemes elèctrics presenten riscos tant pel que fa a les fuites d'electricitat com a les possibles conseqüències tèrmiques de la conducció d'electricitat. En aquesta lliçó analitzarem amb detall les característiques i les conseqüències dels efectes elèctrics i tèrmics de l'electricitat des del punt de vista de la seguretat elèctrica.

### 1.1 Efectes de l'electricitat en persones i materials

Pel que fa als riscos i a les mesures de seguretat existents en relació al treball amb electricitat, hem de distingir-ne els efectes que l'electricitat té sobre el cos humà dels efectes que té sobre els materials implicats.

#### 1.1.1 Efectes de l'electricitat en les persones

El cos humà és conductor de l'energia elèctrica. Si un individu se sotmet a una diferència de potencial el cos conduirà l'energia elèctrica i es produirà una circulació de corrent a través seu. La llei d'ohm ens explica quina és la relació entre la intensitat elèctrica que circula per un conductor segons la resistència i el voltatge al que se sotmet:

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

S'anomena **xoc elèctric** al fet que per una persona hi circuli una intensitat elèctrica. Perquè es produeixi un xoc elèctric, segons la llei d'Ohm, serà necessari **que dues parts diferents del cos** entrin en contacte amb qualsevol de les combinacions següents:

- Entre dues línies: L1-L2, L2-L3 o L1-L3
- Entre una línia i neutre: L-N
- Entre una línia i terra: L-CP

Si no hi ha una diferència de potencial (és a dir, si només hi ha contacte elèctric amb una sola part del cos o el contacte es produeix a un mateix potencial), no es produirà circulació de corrent elèctric i, en conseqüència, no es patirà cap xoc elèctric. **El xoc elèctric només existeix quan hi ha circulació d'intensitat elèctrica a través del cos.** Els efectes en el cos humà seran diversos i dependran del valor de la intensitat i la durada d'un xoc elèctric.

## Efectes de l'electricitat en el cos humà

Els efectes del corrent sobre el cos humà poden anar des de lesions físiques indirectes —cops, caigudes, etc.— fins a la mort per electrocució. Segons la gravetat de la lesió es distingeixen diferents efectes fisiològics:

- Cremades
- Tetanització
- Asfíxia
- Fibril·lació

Les **cremades** són alteracions de la pell que dependran de la densitat de corrent ( $\text{mA}/\text{mm}^2$ ) i la durada de l'exposició (s). Al voltant dels  $10 \text{ mA}/\text{mm}^2$  pot aparèixer un envermelliment de la pell amb una inflamació prop de la zona on s'ha produït el contacte elèctric. Fins als  $40 \text{ mA}/\text{mm}^2$  el color de la pell s'enfosquirà i augmentarà la inflació. I a partir dels  $50 \text{ mA}/\text{mm}^2$  hi ha risc de carbonització.

Es coneix per **tetanització** la impossibilitat de poder controlar els moviments del cos a conseqüència del pas de l'electricitat pel cos humà. El mecanisme que té el nostre cos per a poder realitzar qualsevol moviment es basa en corrents elèctrics que circulen a través dels nostres músculs governats pel sistema nerviós. Es tracta de valors d'intensitat molt baixos que no són detectats. Però quan la intensitat de corrent que traspasa el nostre cos des de l'exterior a través d'un xoc elèctric és superior al valor que produeix un moviment, el múscul no podrà actuar de manera voluntària i reaccionarà amb moviments espasmòdics o contraccions musculars.

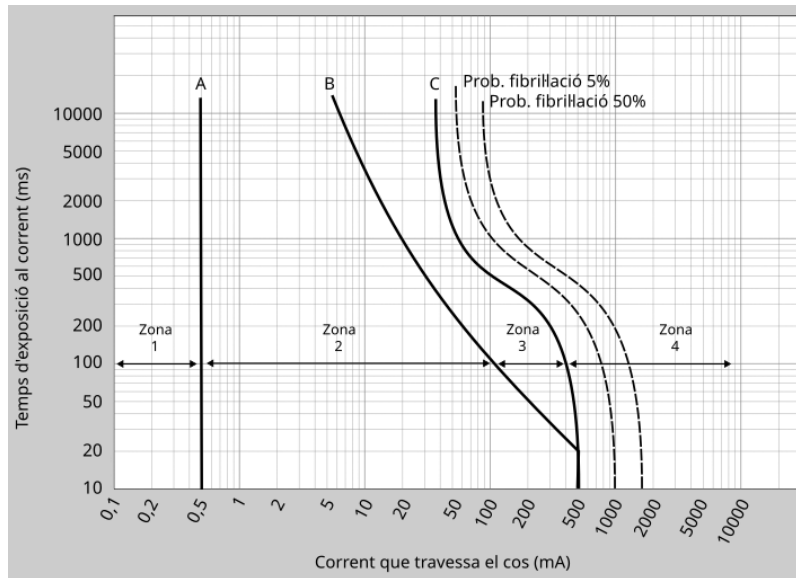
Quan la tetanització afecta els mecanismes de respiració, apareix el fenomen de l'**asfíxia**. És la conseqüència de no poder controlar els moviments dels pulmons i, per tant, deixar de respirar amb normalitat. L'asfíxia pot provocar des d'accidents neurovasculars i fins i tot la mort.

Si l'òrgan que es veu afectat per l'electricitat és, en canvi, el cor, la conseqüència de la pèrdua del control del seu moviment es coneix com a **fibril·lació**. La fibril·lació consisteix en el moviment anàrquic del cor, el qual, deixa d'enviar sang als diferents òrgans i, encara que estigui en moviment, no segueix el seu ritme normal de funcionament.

Per tal de quantificar correctament els efectes comentats anteriorment, es defineixen diferents zones segons la intensitat i la durada del xoc (figura 1.1).

Observem la presència de tres corbes divisòries importants:

1. Corba **A**: llindar de percepció
2. Corba **B**: llindar de no poder deixar anar
3. Corba **C**: llindar de fibril·lació ventricular

**FIGURA 1.1.** Quantificació dels efectes del corrent elèctric sobre les persones

Quan ens afecten petits valors de corrent, el cos no arriba a tenir cap sensació ni serà capaç de notar la circulació d'intensitat de corrent a través seu. Aquesta primera àrea s'anomena **zona sense reaccions** i finalitza al llindar de percepció. El **llindar de percepció** és la línia a partir de la qual l'ésser humà ja és capaç de percebre l'electricitat.

Un cop superat el llindar de percepció, la intensitat serà perceptible però els seus efectes no seran nocius per a l'organisme. Entrarem a la **zona sense efectes fisiològics perillosos** que arribarà fins al **llindar de no deixar anar**. El llindar de no deixar anar es correspon al valor de la intensitat de corrent que impedirà a les persones poder controlar els seus moviments. En aquest moment, la persona no serà capaç d'actuar i, en conseqüència, no tindrà la possibilitat de despendre's dels elements que li provoquin la descàrrega elèctrica. La zona que segueix el llindar de no deixar anar s'anomena **zona de tetanització**.

Si la intensitat que afecta el cos és encara superior i se supera la zona anterior, s'arriba al **llindar de fibril·lació**, a partir del qual apareixen probabilitats que el corrent afecti el funcionament del cor. Aquestes probabilitats augmenten a mesura que s'incrementa la intensitat de corrent elèctric.

Tots aquests efectes i d'altres que completen la llista, estan descrits per a cada zona de la gràfica de quantificació dels efectes de l'electricitat:

- **Zona 1 (a l'esquerra de la corba A):** cap perill. No es produeix cap efecte sobre l'organisme
- **Zona 2 (entre la corba A i la corba B):** es percep el pas de l'electricitat però no es pateix cap dany
- **Zona 3 (entre la corba B i la corba C):** existeix la probabilitat de contraccions musculars no controlades i de dificultat respiratòria. El cor pot patir alteracions de batec, però aquestes són reversibles.
- **Zona 4 (a la dreta de la corba C):** apareix la possibilitat de fibril·lació ventricular, que augmenta amb la quantitat de corrent i amb el temps

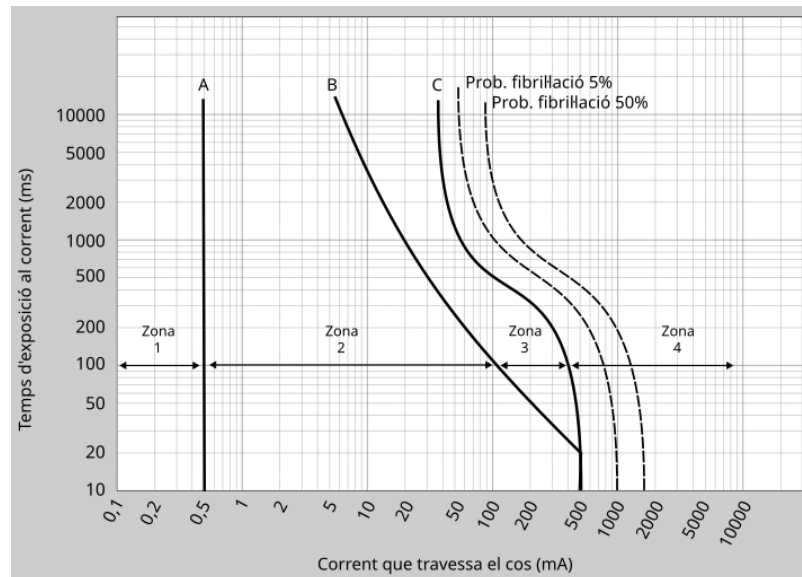
d'exposició (veure corbes secundàries a dintre de la zona). També hi ha una alta probabilitat de patir cremades greus, asfíxia o aturada respiratòria.

Cal tenir en compte que a la figura 1.1 s'indiquen els efectes que produeix un corrent altern amb un recorregut entre la mà esquerra i els dos peus.

### Determinació dels efectes de l'electricitat en les persones

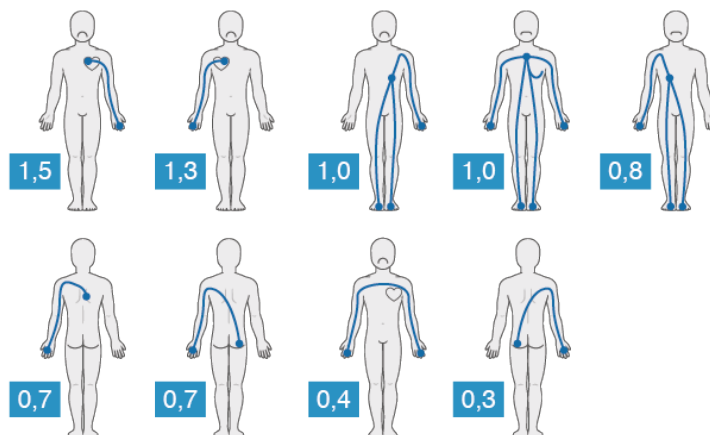
Un cop coneguda la impedància del cos, amb la llei d'ohm ja podem conèixer quina serà la intensitat que circularà pel cos quan es produeixi un xoc elèctric. I amb la informació de la figura 1.2, que ja havíem vist, amb els efectes de l'electricitat sobre el cos humà ja en podríem determinar les conseqüències. Cal recordar que els efectes exposats a la gràfica corresponen a un recorregut entre la mà esquerra i els dos peus.

FIGURA 1.2. Quantificació dels efectes del corrent elèctric sobre les persones



No obstant això, per tal d'extrapolar els valors extrets de la gràfica a qualsevol recorregut, s'utilitza l'anomenat **factor de cor** (figura 1.3).

FIGURA 1.3. Factor de cor



El factor de cor serà el factor de correcció que s'aplicarà al corrent que circuli pel cos humà per obtenir l'equivalent a la figura 1.2.

Per obtenir el valor del corrent de referència ( $I_{ref}$ ) —que serà del qual n'extraurem els efectes a l'organisme— caldrà multiplicar el corrent que circula pel cos ( $I_h$ ) pel Factor de cor ( $f_c$ ):

$$I_{ref} = f_c \cdot I_h$$

Això, de fet, seria el mateix que fer una **segona correcció** del valor de la impedància. El motiu d'aquesta modificació del valor del corrent elèctric a través del cos és expressar la importància que té el fet que el corrent passi (o no) a prop del cor, que com se sap, és un òrgan especialment sensible al pas d'un corrent elèctric. Com podeu veure a la figura 1.3, els corrents que travessen el cor penalitzen molt el valor del corrent de referència (el fan pujar) i els més allunyats fins i tot l'alleugen.

### 1.1.2 Efectes de l'electricitat en els materials

Els **conductors elèctrics** són els materials que, quan es posen en contacte amb un cos carregat elèctricament, transmeten l'electricitat a tots els punts de la seva superfície. Els millors conductors elèctrics són els metalls i els seus aliatges. Hi ha altres materials, no metàl·lics, que també posseeixen la propietat de conduir l'electricitat, com el **grafit**, les **solucions salines** (com, per exemple, l'aigua de mar) i qualsevol material en estat de **plasma**. El coure en forma de cables d'un o diversos fils és el metall més emprat en les instal·lacions d'ús domèstic i industrial i en el transport de l'energia elèctrica. Alternativament es fa servir l'**alumini**, metall que si bé té una conductivitat elèctrica de prop del 60% de la del coure, és un material molt més lleuger, cosa que n'afavoreix l'ús en línies de transmissió d'energia elèctrica en les xarxes d'alta tensió. Per a aplicacions especials es fa servir l'or com a conductor.

Els **dielèctrics** són els materials que no condueixen l'electricitat, per la qual cosa es poden utilitzar com a aïllants. Alguns exemples d'aquest tipus de materials són el vidre, la ceràmica, la porcellana, els plàstics, la goma, la mica, la cera, el paper, la fusta seca, alguns greixos d'ús industrial i electrònic i la baquelita, entre d'altres.

Si bé no hi ha materials absolutament aïllants ni absolutament conductors, hi ha cossos que són millors o pitjors conductors i que s'utilitzen molt per evitar curtcircuits. Per exemple, hi ha materials que es fan servir per folrar conductors elèctrics a fi de mantenir allunyades de l'usuari determinades parts dels sistemes elèctrics que, si es toquessin accidentalment mentre estan en tensió, podrien produir una descàrrega. D'altres s'utilitzen per confeccionar aïllants com, per exemple, els elements que es fan servir en les xarxes de distribució elèctrica per fixar els conductors en els suports sense que es produeixi contacte elèctric.

La distribució de l'energia elèctrica es realitza mitjançant una xarxa de conductors elèctrics amb els suports necessaris perquè pugui arribar a qualsevol receptor. La

#### Aire i aigua

L'aire i l'aigua són aïllants en algunes condicions, però no en d'altres. L'aire, per exemple, és aïllant a temperatura ambient, però en condicions concretes de freqüència del senyal i potència pot esdevenir conductor. L'aigua destil·lada és aïllant, però amb minerals en solució no ho és.

xarxa de distribució pot ser aèria o subterrània. L'energia elèctrica arriba fins als destinataris empena pels efectes del camp elèctric que és el responsable del moviment dels electrons al conductor. Com és sabut, perquè un electró es desplaci d'un àtom a un altre i generi moviment de càrregues —el que es coneix com a intensitat elèctrica—, cal que al material que el transporta la banda d'energia de valència i la banda d'energia de conducció se superposin, és a dir, que sigui un element metàl·lic conductor. La resistivitat d'un material és la característica física que ens descriu la dificultat que troben els electrons per a moure's al seu interior. Els materials metàl·lics conductors com el coure o l'alumini tenen valors de resistivitat baixos. La resistivitat ens determinarà també la resistència d'un conductor en funció de la longitud i la secció:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

El recorregut de l'energia elèctrica dependrà de la resistivitat dels materials que es trobi al seu camí. Les xarxes de transport i distribució de l'electricitat han de garantir l'aïllament suficient respecte al seu entorn per tal d'assegurar que el corrent elèctric no trobarà cap altra via de conducció. Si per alguna forma de defecte o d'accident dels conductors els electrons localitzessin un camí amb menor resistivitat elèctrica ben segur que l'escollirien. És en aquest sentit que caldrà assegurar que els sistemes elèctrics són prou aïllants respecte a l'entorn per tal d'evitar fuites de corrent que puguin afectar altres materials o persones.

D'altra banda, el moviment dels electrons dins del conductor també genera un sobreescalfament al material conductor. L'energia calorífica que genera el moviment dels electrons en un material es quantifica amb la llei de Joule:

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ [kcal]}$$

L'escalfament dels conductors dependrà de la intensitat elèctrica que hi circula, de la resistència del material així com del temps de durada de la conducció de l'energia elèctrica pel seu interior. Si un conductor està sotmès a una intensitat de corrent elevat durant molt de temps es pot arribar a escalfar de manera que assoleixi el roig viu. La calor produïda és susceptible d'iniciar un incendi si en l'entorn s'hi troben els altres elements del triangle del foc: combustible i comburent.

És per això que els defectes en una instal·lació elèctrica poden acabar provocant un incendi. Si recuperem la llei de Joule que acabem de veure, s'observa que tant la resistència del conductor com la intensitat i el temps poden incrementar la calor generada. En conseqüència, caldrà reduir qualsevol dels tres factors per assegurar que la instal·lació sigui segura. Atès que el temps d'utilització no podrà ser reduït, caldrà que la resistència del material sigui suficient per a poder suportar la intensitat requerida.

A l'expressió amb què calculàvem la resistència d'un conductor trobem que els paràmetres que determinen la resistència dels materials són:

- Longitud
- Resistivitat

- Secció

Serà, per tant, aquesta darrera, la **secció del conductor**, la que podrem dimensionar correctament per tal d'assegurar que l'escalfament del conductor no esdevindrà cap risc a la instal·lació. El procediment de càlcul es determinarà més endavant en aquesta unitat.

## 1.2 Normativa de seguretat i proteccions

Una instal·lació elèctrica és el conjunt d'elements i dispositius encarregats de fer arribar energia elèctrica a uns receptors que la transformaran en altres formes d'energia per obtenir llum (làmpades), moviment (motors), etc. Les magnituds fonamentals de l'energia elèctrica són la intensitat i el voltatge. Qualsevol paràmetre elèctric és derivat d'aquestes dues magnituds. Les instal·lacions elèctriques són dissenyades per a poder conduir uns valors determinats de voltatge i intensitat. Qualsevol alteració d'aquests valors —bé siguin sobretensions o sobreintensitats— pot provocar danys en la instal·lació i/o a les persones. El transport i la distribució de l'energia elèctrica requereixen, per tant, diferents dispositius de protecció per a evitar que es produeixin accidents fruit d'augmentos no previstos tant de voltatge com d'intensitat. En una instal·lació elèctrica serà prescriptiu comptar amb elements de protecció contra sobretensions i sobreintensitats tant per als conductors elèctrics com per als diferents receptors.

### 1.2.1 La seguretat en l'REBT

El Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT) es va aprovar amb el Real Decret 842/2002, de 2 d'agost i és una normativa de compliment obligat que prescriu les condicions de muntatge, explotació i manteniment d'instal·lacions de baixa tensió. Qualsevol instal·lació elèctrica ha de satisfer els requeriments del REBT per garantir tant la seguretat de les persones com de la instal·lació.

El REBT es troba organitzat en Instruccions Tècniques Complementàries (ITC). Cada ITC tracta diferents aspectes de les instal·lacions elèctriques. A més, descriu i regula les diferents tipologies d'instal·lacions segons la seva ubicació dins del sistema elèctric, segons la seva funcionalitat o segons les condicions ambientals en les quals es troba ubicada. Les instal·lacions elèctriques regulades pel REBT descriuen els elements necessaris per a la seguretat elèctrica així com els dispositius de protecció.

Com hem dit, el REBT és de compliment obligat. Juntament amb el REBT s'hi troben les Guies Tècniques, que són documents que desenvolupen les regulacions del reglament, amb exemples d'aplicació juntament amb referències dels dispositius i els elements exposats. Les guies no són documents normatius i, en conseqüència,

no són de compliment obligat. Tanmateix, és important seguir les recomanacions que s'hi troben perquè faciliten l'aplicació de cada instrucció.

Des del punt de vista de la seguretat elèctrica i les proteccions cal destacar les ITC següents:

**ITC-BT-08. Sistema de connexió del neutre i de les masses a les xarxes de distribució d'energia elèctrica.**

Per determinar les característiques de les mesures de protecció contra xocs elèctrics en cas de defecte (contactes indirectes) i contra sobreintensitats, així com de les especificacions de l'aparellatge encarregat d'aquestes funcions, cal tenir en compte l'esquema de distribució emprat.

**ITC-BT-18. Instal·lacions de posada a terra.**

Les posades a terra s'estableixen principalment a fi de limitar la tensió que, pel que fa a terra, puguin presentar en un moment donat les masses metàl·liques, assegurar l'actuació de les proteccions i eliminar o disminuir el risc que suposa una avaria als materials elèctrics utilitzats.

**ITC-BT-22. Proteccions contra sobreintensitats.**

Qualsevol circuit estarà protegit contra els efectes de les sobreintensitats que s'hi puguin presentar, per a la qual cosa la interrupció d'aquest circuit es realitzarà en un temps convenient o estarà dimensionat per a les sobreintensitats previsibles.

Les sobreintensitats poden estar motivades per:

- Sobrecàrregues degudes als aparells d'utilització o defectes d'aïllament de gran impedància.
- Curtcircuits.
- Descàrregues elèctriques atmosfèriques

**ITC-BT-23. Proteccions contra sobretensions.**

Aquesta instrucció tracta de la protecció de les instal·lacions elèctriques interiors contra les sobretensions transitòries que es transmeten per les xarxes de distribució i que s'originen, fonamentalment, com a conseqüència de les descàrregues atmosfèriques, commutacions de xarxes i defectes.

**ITC-BT-24. Proteccions contra els contactes directes i indirectes.**

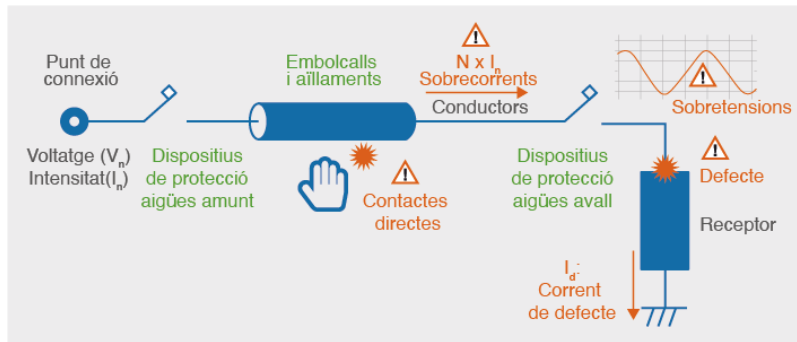
Aquesta instrucció descriu les mesures destinades a assegurar la protecció de les persones i animals domèstics contra els xocs elèctrics.

## 1.2.2 Proteccions

Una instal·lació elèctrica es pot esquematitzar amb els elements que apareixen a la figura 1.4 on s'hi identifiquen els diferents riscos que existeixen.



FIGURA 1.4. Elements i riscos principals en una instal·lació elèctrica



Des del punt de connexió o de servei, alimentarem la instal·lació amb un sistema elèctric d'unes característiques concretes:  $U_n$  i  $I_n$ . Aquests seran els paràmetres que caldrà assegurar. Tot seguit ens trobarem amb els primers dispositius de protecció, aigües amunt, la funció dels quals serà protegir contra sobrecorrents i sobreintensitats, i també contra els corrents de fuga. Els conductors i la resta dels elements de transport de l'energia elèctrica (com embarrats o platines) es trobaran coberts amb embolcalls i aïllants que evitaran els accidents per contacte directe. Aigües avall de la instal·lació, es repetiran els dispositius de protecció, en aquest cas per a evitar danys al receptor o a les persones que el manipulin.

Els elements de protecció en una instal·lació elèctrica són els següents:

- **Interruptor magnetotèrmic:** Dispositiu automàtic que talla el subministrament elèctric de la instal·lació si se supera la intensitat nominal ( $I_n$ ).
- **Protectors de sobretensió:** Dispositiu electrònic que drena cap al terra de la instal·lació els increments de voltatge per sobre de  $U_n$  per tal d'evitar danys als elements o a les persones.
- **Interruptors diferencials:** Dispositiu automàtic que talla el subministrament elèctric de la instal·lació si es detecta una diferència entre el corrent que hi entra respecte el corrent que hi surt, cosa que identificaria una fuga de corrent ( $I_d$ ).

## Esquemes de neutre

En una instal·lació elèctrica poden aparèixer accidents per un contacte accidental entre les fases i la terra o entre les fases i les masses que poden produir una conducció d'electricitat per un camí no desitjat i generar corrents elevats. Es coneix com un bucle de defecte de la instal·lació al circuit format per la impedància de defecte i el corrent de defecte en cas de fallada.

Per poder determinar les mesures de protecció necessàries contra les intensitats de defecte, caldrà conèixer el sistema de connexió a terra de la xarxa de distribució i de l'alimentació, per una banda, i de les masses de la instal·lació protectora per una altra i, en conseqüència, quin serà el bucle de defecte. La ITC-BT-08 detalla els diferents sistemes de connexió basant-se en una codificació de dues lletres segons el següent esquema:

- **Primera lletra.** Es refereix a la situació de l'alimentació respecte a la terra
  - **T.** Connexió directa d'un punt de l'alimentació la terra
  - **I.** Aïllament de totes les parts de la instal·lació respecte de la terra o connexió d'un punt mitjançant una impedància
- **Segona lletra.** Es refereix a la situació de les masses de la instal·lació receptora respecte a la terra
  - **T.** Masses connectades directament a la terra, independentment de la possible posada a terra de l'alimentació
  - **N.** Masses connectades al punt de l'alimentació posat a terra.

A les connexions de les masses tipus N, atès que la connexió al terra es realitza indirectament a través de l'alimentació, ens podem trobar les següents configuracions secundàries:

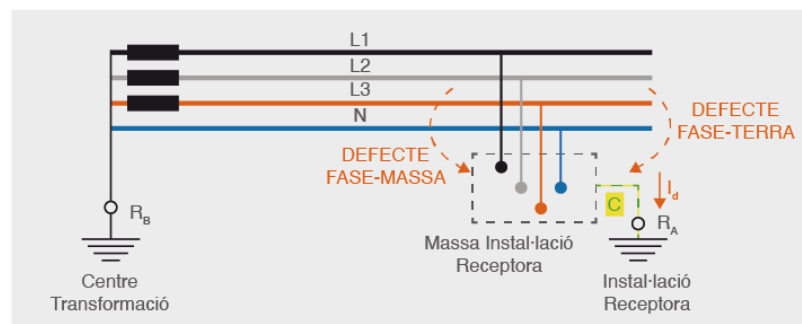
  - \* **S.** Les funcions del neutre (N) i del conductor de protecció (CP) se separen en conductors diferents
  - \* **C.** Les funcions del neutre (N) i del conductor de protecció (CP) es combinen en un sol conductor

De la combinació de les dues lletres es dedueix que haurien de ser quatre les configuracions existents a la connexió del neutre i les masses a les xarxes de distribució. No obstant això, una d'elles, la formada per les lletres IN, és a la pràctica inutilitzable, ja que es tracta d'una configuració sense una connexió directa a la terra per enlloc, cosa que es tradueix en un elevadíssim risc de xoc elèctric.

### Esquema de distribució TT

Un punt de l'alimentació, generalment el neutre, va connectat directament a la terra i les masses de la instal·lació van connectades directament a una presa de terra separada de la presa de terra de l'alimentació (figura 1.5). Les intensitats de defecte fase-massa i fase-terra tindran valors inferiors al corrent de curtcircuit, però poden generar tensions elevades a la instal·lació.

FIGURA 1.5. Esquema de distribució TT



### Esquema de distribució TN

Un punt de l'alimentació, generalment el neutre (N), va connectat directament a la terra i les masses de la instal·lació receptora van connectades a aquest punt a

través del conductor de protecció (CP) (vegeu les diferents variants d'aquest tipus de distribució a la figura 1.6, figura 1.7 i figura 1.8). Qualsevol intensitat de defecte fase-massa genera corrents de curtcircuit.

FIGURA 1.6. Esquema de distribució TN-S

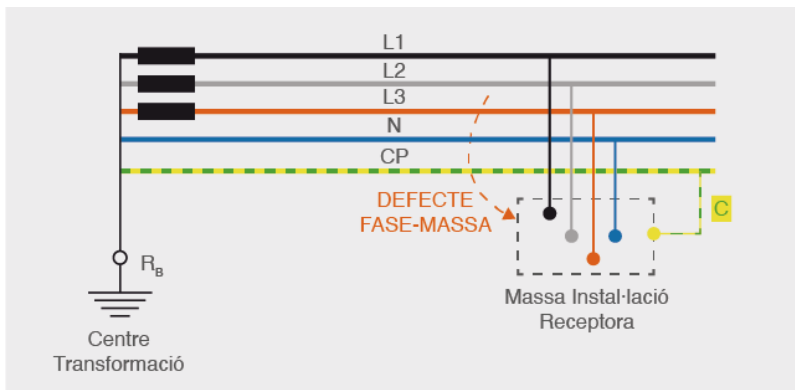


FIGURA 1.7. Esquema de distribució TN-C

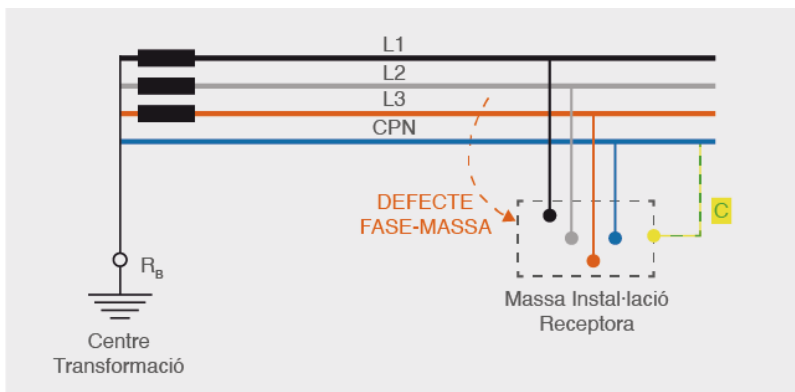
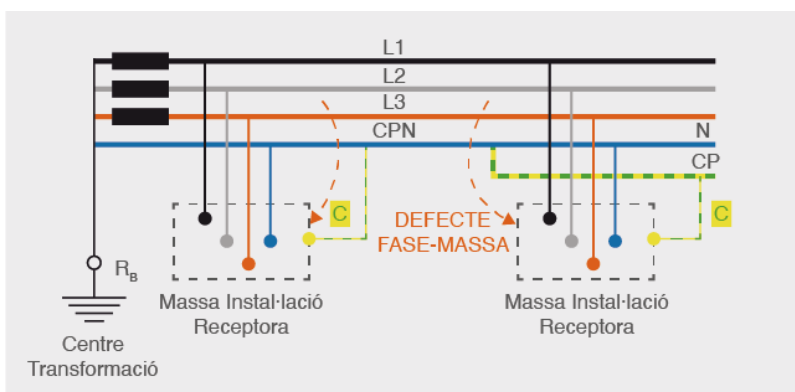


FIGURA 1.8. Esquema de distribució TN-C-S

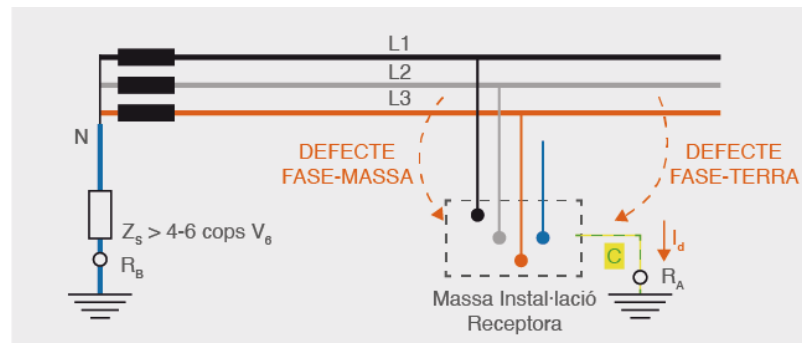


## Esquema de distribució IT

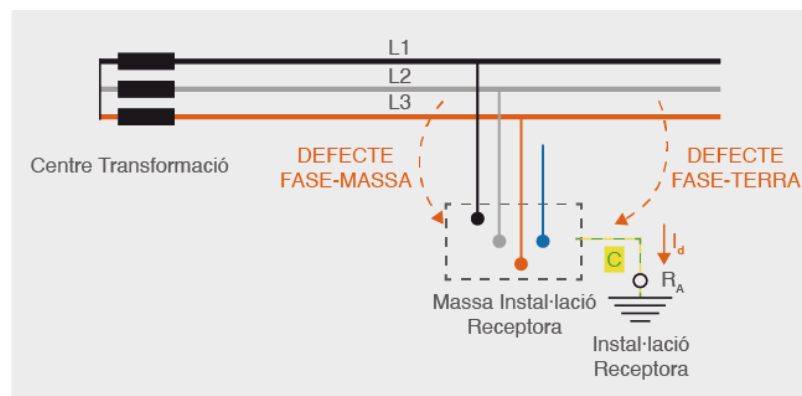
No té cap punt de l'alimentació connectat directament a terra. Les masses de la instal·lació, això sí, es troben posades directament a terra (figura 1.9 i figura 1.10). Les intensitats de defecte fase-massa o fase-terra en una primera instància presenten un valor prou reduït per no generar cap tensió de contacte perillosa. No obstant això, cal monitorar la impedància d'aïllament de les fases respecte a la

terra perquè si es produís un primer defecte, la instal·lació es comportaria com si es tractés d'un esquema TN i, en conseqüència, els corrents del segon defecte sí que serien perillosos per a les persones.

**FIGURA 1.9.** Esquema de distribució IT amb impedància



**FIGURA 1.10.** Esquema de distribució IT amb aïllament



La selecció d'un dels tres tipus d'esquemes s'ha de fer segons les característiques tècniques i econòmiques de cada instal·lació. Tanmateix, cal tenir en compte els principis següents:

1. Les xarxes de distribució pública de baixa tensió tenen un punt posat directament a terra per prescripció reglamentària. Aquest punt és el punt neutre de la xarxa. L'esquema de distribució per a instal·lacions receptores alimentades directament d'una xarxa de distribució pública de baixa tensió és l'esquema TT.
2. En instal·lacions alimentades en baixa tensió, a partir d'un centre de transformació d'abonat, es pot triar qualsevol dels tres esquemes esmentats.
3. No obstant el que s'ha dit al punt 1 d'aquesta llista, es pot establir un esquema IT en part o parts d'una instal·lació alimentada directament d'una xarxa de distribució pública mitjançant l'ús de transformadors adequats, sempre que al secundari i a la part de la instal·lació afectada s'estableixin les disposicions que per a aquest esquema que se citen anteriorment.

### 1.3 Riscos i accidents

S'anomena **risc** a la possibilitat que un determinat esdeveniment succeeixi. Quan aquest esdeveniment és negatiu i pot causar danys a béns o a persones, es parla de **risc d'accident**.

Els riscos apareixen quan no s'han pres les mesures de prevenció necessàries per evitar-los. Per exemple, si es col·loca una eina sobre una prestatgeria sense cap subjecció, existeix la possibilitat que l'eina caigui a terra i, si hi ha alguna persona o algun bé al recorregut de la caiguda, l'eina el pot malmetre o ferir la persona. En aquest cas, doncs, es parlaria que hi ha el *risc de caiguda d'objectes*. Si es prenen les mesures per no desfer cap eina sense subjecció, el risc haurà desaparegut i, en conseqüència, cap bé ni cap persona podrà patir danys.

#### 1.3.1 Riscos en instal·lacions i en treballs elèctrics

Quan l'accident s'origina en una instal·lació elèctrica es parla d'**accident elèctric**. Un accident elèctric es produeix quan una persona pateix un xoc elèctric.

A la lliçó 1 hem après quins són els efectes de l'electricitat al cos humà. Un risc elèctric s'esdevé quan apareix la possibilitat que una persona pateixi un xoc elèctric. Durant els treballs elèctrics cal prendre un seguit de mesures per evitar els riscos elèctrics.

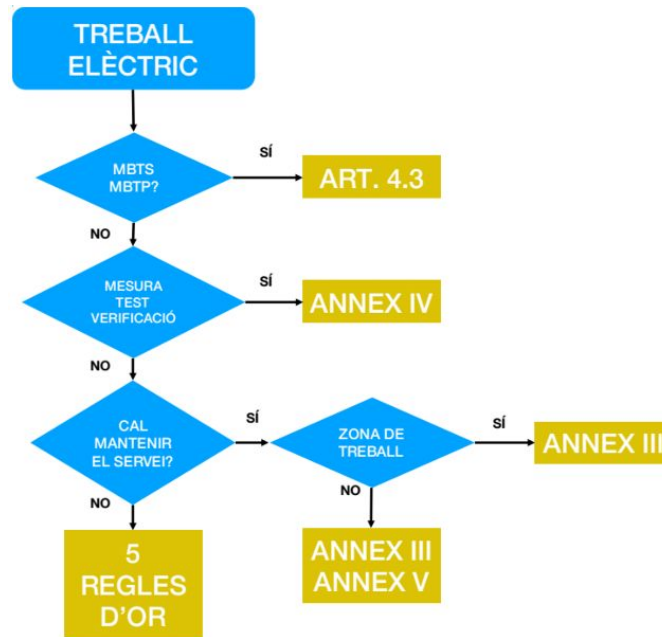
El Reial Decret 614/2001, de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors davant del risc elèctric, publicat al BOE 148 del 21-06-2001, exposa amb detall quines han de ser les mesures que cal prendre per evitar els accidents elèctrics. La figura 1.11 representa el protocol que s'ha de seguir quan s'inicia un treball elèctric.

El diagrama de procés ens dirigeix als diferents apartats del RD 614/2001 segons les característiques del treball elèctric que cal realitzar.

És permès de treballar amb tensió només en les situacions següents:

- **Treball en tensions de seguretat** —Molt Baixa Tensió de Seguretat (MBTS) o Molt Baixa Tensió de Protecció (MBTP)—, quan el voltatge de servei és inferior als 75 V en cc o 50 V en ca. En aquest cas, no apareixerà cap risc elèctric perquè els efectes d'un xoc pertanyen a la zona de no percepció i el treballador no en patiria cap dany.
- **Mesura, test o verificació**, quan el treball que s'ha de realitzar requereix mantenir la tensió de servei per a poder-lo realitzar com, per exemple, l'obertura i tancament d'interruptors o seccionadors, el mesurament d'una intensitat, la realització d'assajos d'aïllament elèctric, o la comprovació de la concordança de fases.

FIGURA 1.11. Protocol de preparació d'un treball elèctric



Qualsevol treball en una instal·lació elèctrica, o en la seva proximitat, que comporti un risc elèctric s'haurà d'efectuar sense tensió. Per deixar la instal·lació elèctrica sense tensió, abans de realitzar el treball, i per a la reposició de la tensió, en finalitzar-lo, se seguiran les disposicions generals establertes a l'annex II.A i, si escau, les disposicions particulars establertes a l'annex II.B. Són les conegudes com a 5 regles d'or (figura 1.12):

### 1. 1a regla d'or: desconnectar.

Desconnectar la instal·lació de la font d'energia. L'obertura dels circuits s'ha de fer en cadascun dels conductors per tal d'aïllar-los de totes les fonts de tensió que puguin alimentar la instal·lació en la qual es treballarà. **El tall efectiu ha de ser visible.** Això és totalment vàlid per a BT i AT. Per a BT sense tensió, l'obertura s'ha de realitzar en cadascun dels conductors, inclòs el neutre.

### 2. 2a regla d'or: assegurar.

Assegurar que la desconnexió anterior no es podrà tornar a connectar de manera accidental. La segona regla de seguretat elèctrica consisteix en desconnectar qualsevol possible retroalimentació. Bàsicament, això significa que els dispositius s'han de protegir **contra qualsevol possible reconnexió**, com ara algú que entra i acciona l'interruptor i torna a engegar mentre s'està treballant en un aparell o cablejat.

### 3. 3a regla d'or: mesurar.

Mesurar la instal·lació per **verificar que no hi hagi tensió** fruit d'algun origen desconegut, si hi ha o no presència de tensió elèctrica. Encara que tot estigui desconnectat i s'ha assegurat que no hi ha cap possibilitat de reconnexió, cal comprovar que no hi hagi voltatge només per assegurar-vos-en!

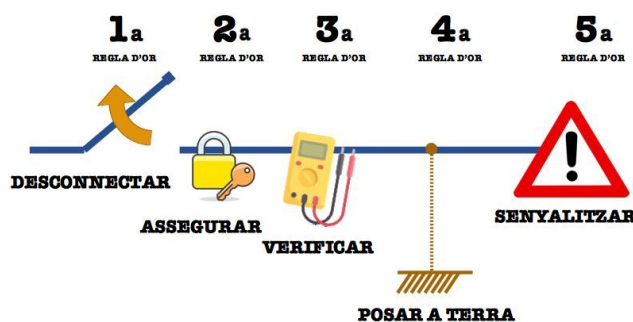
#### 4. 4a regla d'or: curtcircuitar i posar a terra.

Curtcircuitar tots els conductors i posar-los a terra en un terra local proper a la instal·lació. Encara que s'hagin pres tots els passos anteriors, és fonamental que **curtcircuiteu la instal·lació i la poseu a terra** perquè en cas que comenci a circular corrent, la descàrrega no arribi ni a l'operari ni a cap altra persona.

#### 5. 5a regla d'or: senyalitzar.

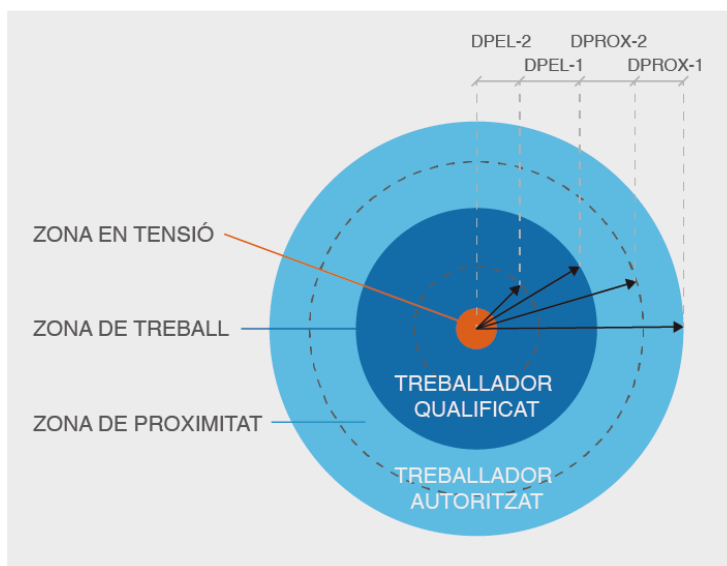
Assenyalar de manera ben visible el treball que s'està realitzant. Assegureu-vos d'acordonar la zona i utilitzar la **senyalització per informar tothom**. Si hi ha un risc, assegureu-vos que la gent s'allunyi d'ell.

FIGURA 1.12. Les 5 regles d'or del treball elèctric



Si per les condicions del treball a realitzar no és possible desconnectar la tensió del servei, aleshores caldrà definir amb claredat la zona de treball (figura 1.13) i assenyalar-la de manera ben visible perquè només hi puguin accedir els treballadors qualificats.

FIGURA 1.13. Zona de treball en treballs elèctrics



Un treballador qualificat és un treballador autoritzat per l'empresari per realitzar determinades feines amb risc elèctric i que posseeix coneixements especialitzats en matèria d'instal·lacions elèctriques, per la seva formació acreditada, professio-

nal o universitària, o per la seva experiència certificada de dos anys o més.

La taula 1.1 indica quines seran les distàncies de seguretat assenyades en la figura 1.13 en funció de la tensió del servei.

**TAULA 1.1.** Distàncies de seguretat en funció de la tensió del servei (font: INSST)

$U_n$ (kV)	DPEL-2 (cm)	DPEL-1 (cm)	DPROX-2 (cm)	DPROX-1 (cm)
1	50	50	70	300
3	52	62	112	300
6	53	62	112	300
10	55	65	115	300
15	57	66	116	300
20	60	72	122	300
30	66	82	132	300
45	73	98	148	300
66	85	120	170	300
110	100	160	210	500
132	110	180	330	500
220	160	260	410	500
380	250	390	540	700

A la taula 1.1 es presenten els següents paràmetres:

- **$U_n$** : tensió nominal de la instal·lació (kV)
- **DPEL-1**: distància fins al límit exterior de la zona de perill quan hi hagi risc de sobretensió per raig (cm)
- **DPEL-2**: distància fins al límit exterior de la zona de perill quan no hi hagi el risc de sobretensió per raig (cm)
- **DPROX-1**: distància fins al límit exterior de la zona de proximitat quan sigui possible delimitar amb precisió la zona de treball i controlar que aquesta no se sobrepassa durant la seva realització (cm)
- **DPROX-2**: distància fins al límit exterior de la zona de proximitat quan no sigui possible delimitar amb precisió la zona de treball i controlar que aquesta no se sobrepassa durant la seva realització (cm)

### 1.3.2 Accidents elèctrics

Un **accident elèctric** és qualsevol dany conseqüència d'un xoc elèctric. La relació entre l'accident i el xoc elèctric pot ser directa o indirecta:

- **Accident directe**: quan el dany és provocat directament per l'efecte de la intensitat elèctrica sobre el cos humà.
- **Accident indirecte**: quan l'origen serà el xoc elèctric, però aquest no és la causa principal del dany.



La taula 1.2 i taula 1.3 categoritzen i classifiquen els accidents elèctrics.

**TAULA 1.2.** Classificació dels accidents elèctrics directes

<b>Accidents directes</b>		
Immediats	Tèrmics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Per contacte</li> <li>• Per arc elèctric</li> </ul>
	Musculars	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contraccions</li> <li>• Tetanització</li> <li>• Asfíxia</li> <li>• Fibril·lació</li> <li>• Electrocució</li> </ul>
No immediats	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemes mentals</li> <li>• Neurosi</li> <li>• Accidents vasculars</li> </ul>	

**TAULA 1.3.** Classificació dels accidents elèctrics indirectes

<b>Accidents indirectes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talls</li> <li>• Fractures</li> <li>• Caigudes al mateix nivell</li> <li>• Caigudes a diferent nivell</li> <li>• Despreniment d'objectes</li> <li>• Cremades per contactes amb elements no desitjats</li> </ul>

Els xocs elèctrics poden tenir dos orígens diferents:

- **Contacte directe**, en cas de tocar involuntàriament una part *activa* del sistema, entenent per part activa tot punt que estigui conduint corrent elèctric *perquè ho ha de fer*.
- **Contacte indirecte**, en cas de tocar una part del sistema que no hauria d'estar amb tensió elèctrica però que ho està per alguna avaria o defecte en l'aïllament del sistema.

### Contactes directes

Un **xoc elèctric per contacte directe** apareix quan el contacte es realitza amb una part activa de la instal·lació, és a dir, aquelles parts que han de ser conductores d'energia elèctrica. Són parts actives d'una instal·lació, entre d'altres:

- els mateixos conductors elèctrics
- platines
- embarrats
- bases de presa de corrent

Es tracta d'elements que formen part del sistema elèctric de la instal·lació i que per disseny han de transportar l'electricitat, i durant el funcionament normal de la instal·lació es troben en tensió.

Un **contacte elèctric directe** es produirà quan es toquin conjuntament:

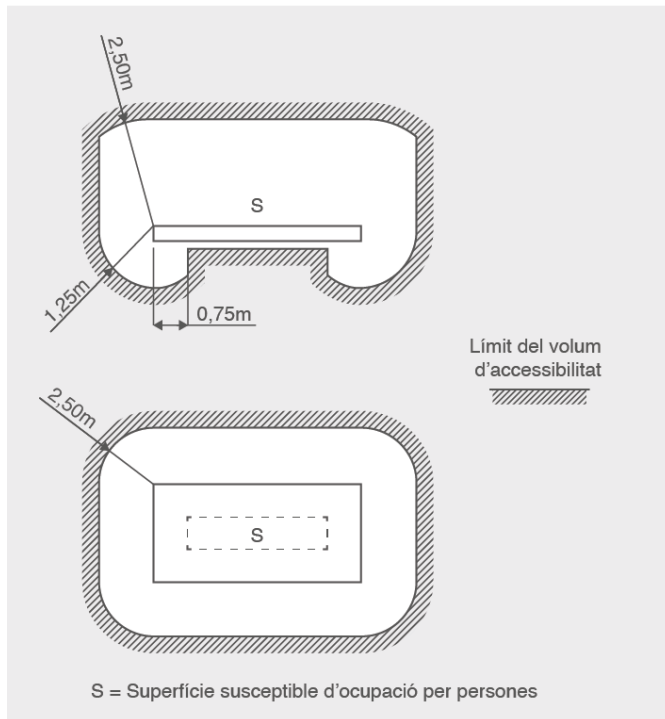
- Dues línies d'un sistema de distribució trifàsic: L1-L2, L2-L3 o L1-L3
- Una línia i neutre: L-N

- Una línia i terra: L-CP

Els efectes d'un xoc elèctric per contacte directe són molt perillosos, atès que la intensitat de corrent que circularia per la persona dependria tan sols de la seva impedància corporal i seria molt elevat. Aquestes conseqüències són sempre molt greus.

Els accidents per contacte directe cal evitar-los amb l'aïllament o la separació de les parts actives respecte les persones. La ITC-BT-24 distingeix diferents estratègies per a la protecció contra els contactes directes:

- Protecció per **aïllament de les parts actives**. Les parts actives han d'estar recobertes d'un aïllament que no es pugui eliminar més que destruint-lo. Les pintures, vernissos, laques i productes similars no es considera que constitueixin un aïllament suficient en el marc de la protecció contra els contactes directes. Un exemple d'aquest tipus de protecció són els plàstics aïllants que cobreixen els conductors elèctrics de les instal·lacions de baixa tensió.
- Protecció per mitjà de **barreres o embolcalls**. Les parts actives han d'estar situades a l'interior d'embolcalls o darrere barreres que tinguin, com a mínim, el grau de protecció IP XXB, segons UNE 20.324. Es tracta d'una estratègia necessària quan les dimensions de les parts actives són suficientment voluminoses com per impedir el seu aïllament directe. Els quadres elèctrics de les centralitzacions de comptadors que cobreixen els embarrats de distribució de la LGA en una instal·lació d'enllaç en serien un exemple.
- Protecció mitjançant **obstacles**. Destinats a evitar contactes involuntaris i accidentals però no els contactes voluntaris per una temptativa deliberada de salvar l'obstacle. Els obstacles poden ser desmuntables sense l'ajuda d'una eina o clau. No obstant això, han d'estar fixats de manera que s'impedeixi qualsevol desmuntatge involuntari. Els obstacles han d'impedir:
  - un acostament físic no intencionat a les parts actives
  - els contactes no intencionats amb les parts actives en cas d'intervencions en equips sota tensió durant el servei
- Protecció per **posada fora d'abast per allunyament**. Aquesta mesura no garanteix una protecció completa i la seva aplicació es limita, a la pràctica, als locals de servei elèctric només accessibles al personal autoritzat. Les parts accessibles simultàniament, que es troben a tensions diferents, no s'han de trobar dins del volum d'accessibilitat. El volum d'accessibilitat de les persones es defineix com el situat al voltant dels emplaçaments en els quals poden romandre o circular persones, els límits dels quals no poden ser aconseguits per una mà sense mitjans auxiliars. Per conveni, aquest volum està limitat conforme a la figura 1.14, entenent que l'alçada que limita el volum és de 2,5 m.

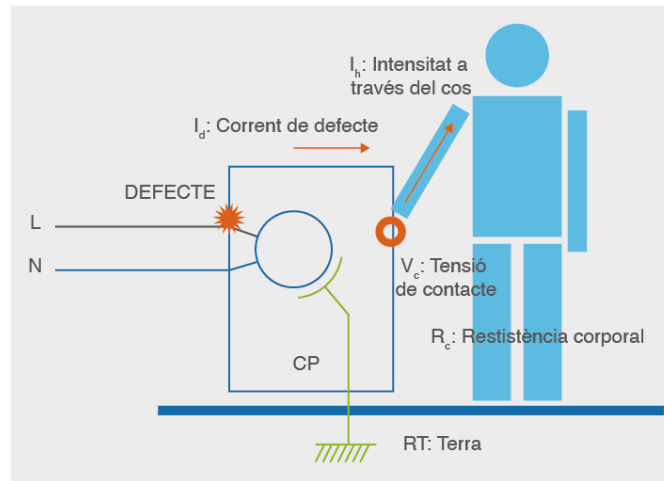
**FIGURA 1.14.** Volum d'accessibilitat

- Protecció complementària per dispositius de corrent diferencial residual. Aquesta mesura de protecció està destinada només a complementar altres mesures de protecció contra els contactes directes. L'ús de dispositius de corrent diferencial-residual, el valor del qual de corrent diferencial assignat de funcionament sigui inferior o igual a 30 mA, es reconeix com a mesura de protecció complementària en cas de fallada d'una altra mesura de protecció contra els contactes directes o en cas de imprudència dels usuaris.

### Contactes indirectes

Es coneix com a **xoc elèctric per contacte indirecte** el xoc elèctric que es produeix a través d'una part de la instal·lació que no hauria d'estar activa, però que es troba en tensió per un defecte en l'aïllament d'alguna part de la instal·lació. Normalment s'esdevé amb una massa o xassís metàl·lic d'un receptor que no hauria de conduir electricitat, però que es troba en tensió per algun defecte.

En un contacte indirecte la intensitat que circularà per la persona serà molt menor que la que es patirà en un contacte directe, sempre que la instal·lació de terra sigui l'adequada. A la figura 1.15 i l'equació que la segueix s'observa que la intensitat que circularà per una persona en cas d'un contacte indirecte resta limitada per la resistència de terra. Com més baixa sigui la resistència de la instal·lació de posada a terra, menor serà el corrent que travessarà el cos humà.

**FIGURA 1.15.** Xoc per contacte indirecte

En un xoc per contacte indirecte la intensitat de defecte es calcula a partir de la tensió de línia i la resistència de defecte més la resistència de terra:

$$I_d = \frac{V_L}{R_d + R_T}$$

La tensió de contacte resultarà de multiplicar la intensitat de defecte per la resistència de terra:

$$V_c = I_d \cdot R_T$$

Finalment, la intensitat que circularà pel cos de la víctima dependrà de la tensió de contacte i la suma de la resistència corporal més la resistència de terra:

$$I_h = \frac{V_c}{R_c + R_T}$$

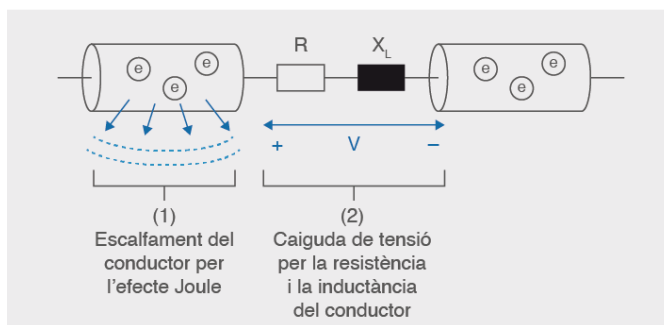
En una instal·lació elèctrica sense presa de terra o en la qual la massa es troba aïllada del terra, els efectes del contacte directe serien idèntics als dels contactes directes atès que la tensió de contacte coincideix amb la tensió de la línia.

## 2. Secció dels conductors

Per al càlcul de la secció d'un conductor haurem de tenir en compte diferents criteris segons les característiques elèctriques del servei que volem prestar. Per comprendre el sentit dels càlculs que farem a continuació, recordem primer com circula el corrent elèctric per un conductor. Com recordarem, es defineix el corrent elèctric com el desplaçament dels electrons per dins un material conductor. El moviment dels electrons a l'interior del conductor produeix diferents efectes, com es pot veure a la figura 2.1:

1. Escalfament del metall (en relació amb el màxim corrent admissible)
2. Caiguda de tensió als extrems

**FIGURA 2.1.** Efectes del corrent elèctric en un conductor



Hem de tenir en compte que no es pot utilitzar qualsevol secció de cable, sinó que existeixen unes seccions concretes anomenades *seccions normalitzades*. Un cop coneguda la secció necessària, haurem de triar, de les normalitzades, la immediatament superior a la necessària.

Les seccions de cable normalitzades, de més petites a més grans, són les següents: 0,5, 0,75, 1, 1,5, 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400, 500 i 630.  
Són mesures en mm<sup>2</sup>.

### 2.1 Secció de conductors en funció de l'escalfament

Per tal de garantir que els conductors que transportaran l'energia elèctrica son capaços de suportar l'escalfament produït per l'efecte Joule, el REBT a través de les instruccions tècniques complementàries determinen el valor de la intensitat

màxima admissible per a cada secció diferent del cable en funció del tipus i les característiques de cada instal·lació i les seues condicions ambientals.

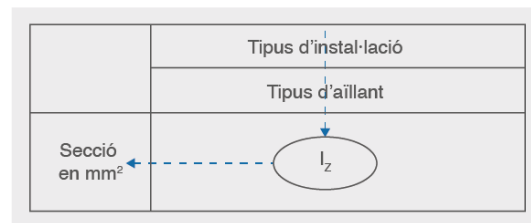
La qualitat que limita la temperatura màxima a què és capaç de treballar el cable és l'**aïllament**, que generalment és d'un material plàstic. Les temperatures màximes admissibles per als diversos tipus d'aïllament es recullen en la taula 2.1.

TAULA 2.1. Temperatures dels aïllaments

Material	Temperatura de servei (°C)	Temperatura de curtcircuit (°C)(t < 5 s)
PVC	70	160
Polietilè reticulat (XLPE)	90	250
Etilè propilè (EPR)	90	250

En una instal·lació cal assegurar que la intensitat que hi circularà serà sempre menor a la intensitat màxima que el conductor pot suportar. Les intensitat màximes admissibles són presentades en forma de taules que conserven una estructura semblant a la de la figura 2.2. Els valors que apareixen a la taula son la intensitat màxima admissible al conductor en les condicions esmentades. En referirem a aquest valor com a  $I_z$ . Si en una instal·lació se supera un consum de corrent superior a  $I_z$  el conductor generarà més calor de la que és capaç de suportar i apareixerà un risc d'incendi.

FIGURA 2.2. Estructura de les taules d'intensitats màximes admissibles



Els valors de la intensitat màxima segons la secció del cable dependran del tipus de conductor. Així, sempre haurem de trobar una taula per als conductors de coure (Cu) i una altra taula per als conductors d'alumini (Al). Vegeu les taules A i B de la ITC-BT-19 per a conductors de coure, a la figura 2.3 i la figura 2.4.

FIGURA 2.3. Taula A de la ITC-BT-19 per a conductors de coure

**Taula A – Intensitats admissibles per a cables amb conductors de coure, no soterrats.  
Temperatura ambient 40°C a l'aire.**

Mètode d'instal·lació (Taula B)	Nombre de conductors carregats i tipus d'aïllament											
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A1												
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Secció (mm <sup>2</sup> ) COURE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	174	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	699	645	674	770	814
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

S'indiquen com a 3x els circuits trifàsics i com a 2x els monofàsics.

A efecte de les intensitats admissibles els cables amb aïllament termoplàstic a base de poliolefina (Z1) són equivalents als cables amb aïllament de policlorur de vinil (PVC).

Font: REBT.

**FIGURA 2.4.** Taula B de la ITC-BT-19 per a conductors de coure

<b>Taula B – Tipus d'instal·lació de cables no soterrats</b>	
<b>A1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conductors unipolars aïllats en tubs encastats en parets tèrmicament aïllants.</li> <li>- Cables multiconductors encastats directament en parets tèrmicament aïllants.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en motlures.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en conductes, o cables uni o multiconductors a dintre dels marcs de les portes.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en tubs o cables uni o multiconductors a dintre dels marcs de les finestres.</li> </ul>
<b>A2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cables multiconductors en tubs encastats en parets tèrmicament aïllants.</li> </ul>
<b>B1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conductors aïllats o cable unipolar en tubs encastats en obra.</li> <li>- Conductors aïllats o cable unipolar en tub sobre paret de fusta o maçoneria separats a una distància inferior a 0,3 cops el diàmetre del tub.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en canals o conductes tancats de secció no circular sobre paret de fusta.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors en forats d'obra de fàbrica<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en tubs dintre de forats d'obra de fàbrica<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en conductes tancats de secció no circular en forats d'obra de fàbrica<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors aïllats en conductes tancats de secció no circular encastats en obra de fàbrica amb una resistivitat tèrmica no superior a 2 K·m/W<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats o cables unipolars en canal protectora encastada al terra.</li> <li>- Conductors aïllats o cables unipolars en conductes perfilats encastats.</li> <li>- Cables uni o multiconductors en falsos sostres o terres tècnics<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats o cables unipolars en canal protectora suspesa.</li> <li>- Conductors aïllats o cables unipolars en tubs en canalitzacions no ventilades<sup>(1)</sup>.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats en tubs en canals d'obra ventilades.</li> <li>- Cables uni o multiconductors en canals d'obra ventilades.</li> <li>- Conductors unipolars aïllats o cables unipolars dintre de basaments acanalats (entornpeu ranurat).</li> </ul>
<b>B2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cables multiconductors en tubs encastats en obra.</li> <li>- Cables multiconductors en tubs sobre paret de fusta o separats a una distància inferior a 0,3 cops el diàmetre del tub.</li> <li>- Cables multiconductors en canals o conductes tancats de secció no circular sobre paret de fusta.</li> <li>- Cables multiconductors en canal protectora suspesa.</li> <li>- Cables multiconductors dintre de basaments acanalats (entornpeu ranurat).</li> <li>- Cables multiconductors en canal protectora encastada al terra.</li> <li>- Cables multiconductors en conductes perfilats encastats.</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cables multiconductors directament sota un sostre de fusta.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors sobre safates no perforades.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors fixats al sostre o paret de fusta o separats a una distància de 0,3 cops el diàmetre del cable.</li> <li>- Cables uni o multiconductors encastats directament en parets.</li> </ul>
<b>E</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cables multiconductors separats de la paret una distància no inferior a 0,3 cops el diàmetre del cable.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors sobre safates perforades en horitzontal o vertical.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors sobre safates de reixa.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors sobre safates d'escala.</li> <li>- Cables unipolars o multiconductors suspesos d'un cable fiador.</li> </ul>
<b>F</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'aplica als mateixos sistemes d'instal·lació que el tipus <b>E</b>, quan la secció del conductor és superior a 25 mm<sup>2</sup>.</li> <li>- Cables unipolars en contacte mutu separats de la paret una distància no inferior al diàmetre del cable.</li> </ul>

<sup>(1)</sup> Segons la relació entre el diàmetre del cable i el seu allotjament, pot ser d'aplicació el mètode **B2**. La citada relació s'indica a la norma UNE 20460-5-523.

Font: REBT.

El procediment serà el següent:

1. Calcular el corrent que haurà de conduir la instal·lació a partir de les característiques de la mateixa i de la potència màxima que haurà de lliurar.
2. Identificar el tipus d'instal·lació a la taula B, en funció de les seves característiques físiques.
3. A la part superior de la taula A, cercar el nombre de conductors amb càrrega per al tipus d'instal·lació identificat.
4. Baixar per la mateixa columna a la part de sota, fins arribar al corrent màxim immediatament superior al calculat.
5. Un cop localitzat el corrent màxim, localitzar a la mateixa fila, quin és



el calibre dels cables, a la corresponent casella de la primera columna de l'esquerra.

Haurem de conèixer també les condicions ambientals del nostre circuit que poden modificar els valors d'intensitat màxima que apareixen a les taules de les diferents instruccions tècniques complementàries. Per això utilitzarem els diferents factors de correcció que corresponen a les diferents possibilitats tant ambientals com d'ús.

Per conèixer quants i de quin tipus hauran de ser els factors de correcció que cal aplicar, hem de tornar a la taula de la intensitat màxima segons la secció del cable i apuntar les condicions de temperatura i assaig sobre les quals es basen els resultats que apareixen. Aquests valors es troben al peu de la taula i ens aportaran les condicions inicials de la xarxa.

A partir d'aquí, nosaltres haurem de contrastar aquestes condicions amb les característiques particulars de la nostra instal·lació i determinar quins factors de correcció cal aplicar.

Distingirem entre el valor obtingut a les taules inicialment i el valor final que utilitzarem en els càlculs perquè, com ja hem vist als apartats anteriors, l'augment de temperatura al cable a causa de les condicions ambientals o les característiques de la instal·lació, redueix el valor de la intensitat màxima que pot circular pel conductor a causa de l'efecte Joule. Per contra, la disminució de la temperatura exterior o l'augment de la superfície de dissipació, és a dir, l'augment de l'espai lliure al voltant del cable, podrà augmentar el valor del corrent màxim. Per tant, abans de continuar amb el càlcul, haurem de conèixer quines seran les dites condicions ambientals i de la instal·lació.

Així, segons es detalla a la següent fórmula, el valor de la intensitat màxima final que utilitzarem per als càlculs serà el valor inicial obtingut a les taules, corregit tantes vegades com sigui necessari.

$$I'_z = I_z \cdot \prod_i F_i = I_z \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n$$

On

- $I'_z$  és el valor final de la intensitat màxima admissible una vegada efectuades les correccions necessàries
- $I_z$  és el valor final de la intensitat màxima admissible segons les taules
- $F_i$  és el factor de correcció corresponent a cada modificació de les condicions estàndard de la taula inicial

Un cop obtinguda la intensitat màxima admissible del circuit corregida amb els valors adequats al seu entorn ( $I'_z$ ) i conegut el corrent del nostre circuit ( $I_b$ ), procedirem a determinar la secció mínima que caldrà per al circuit. Per això tornarem a les taules d'intensitat màxima admissible que haurem de modificar amb els factors de correcció segons hem vist per adequar-los a les condicions ambientals reals de la nostra instal·lació.

A la taula, escollirem la columna que es correspongui a les característiques de la nostra instal·lació i començant pel primer valor, avançarem cap avall, en el sentit del valor ascendent, fins trobar un valor d' $I'_z$  major o igual a  $I_b$ . Seguint el sentit de la fletxa com a la figura 2.2, el valor de la secció en  $\text{mm}^2$  corresponent serà el resultat que utilitzarem a la nostra instal·lació.

És convenient —tot i que no és normatiu, sí que s'aplica com a criteri de disseny— que la relació entre el corrent del circuit i la intensitat màxima admissible del conductor no superi el 85%. Aquesta relació s'anomena **factor de càrrega** i es representa a la fórmula següent:

$$f_c = \frac{I_b}{I'_z} \leq 0,85$$

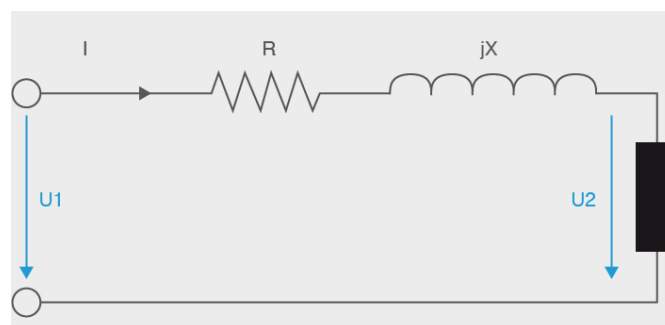
El sentit del factor de càrrega és evitar que el conductor elèctric treballi amb un estrès tèrmic massa elevat i evitar problemes d'escalfament amb l'envelliment de la instal·lació.

## 2.2 Caiguda de tensió en instal·lacions electrotècniques

La caiguda de tensió en una instal·lació elèctrica es produeix quan la tensió (voltatge) disminueix en la línia o el circuit entre el punt d'origen (font d'alimentació) i el punt final (càrrega/elèctrica). Aquesta disminució de la tensió pot afectar el rendiment i l'eficiència de la instal·lació elèctrica.

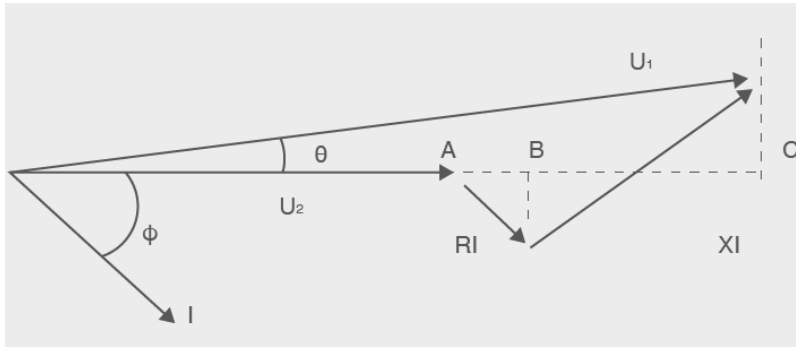
La caiguda de tensió s'origina per l'efecte de la resistència i la reactància del conductor elèctric segons l'esquema equivalent de la figura 2.5.

FIGURA 2.5. Caiguda de tensió al cable



El diagrama vectorial corresponent del corrent i el voltatge en una línia de conducció elèctrica segons l'esquema elèctric anterior es representa a la figura 2.6.

**FIGURA 2.6.** Diagrama vectorial de corrent i tensió en una línia elèctrica



Per tal de simplificar els càlculs, s'estima que l'angle de fase  $\theta$  entre la tensió inicial i la tensió final serà molt baix i, en conseqüència, es considerarà  $U_1$  com la seva projecció horitzontal.

A partir d'aquí, cal tenir en compte que la caiguda de tensió que apareixerà en un conductor per l'efecte de la seva resistència i impedància dependrà també de la forma de subministrament de la línia elèctrica. Aleshores, en un circuit monofàsic aquesta caiguda de tensió correspondrà a:

$$\Delta U_I = 2 \cdot (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot \frac{P}{U_L}$$

Per contra, la caiguda de tensió en un circuit trifàsic serà:

$$\Delta U_{III} = (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot \frac{P}{U_L}$$

A on:

- $\Delta U_I$ : caiguda de tensió de la línia monofàsic en volts (V)
- $\Delta U_{III}$ : caiguda de tensió de la línia trifàsic en volts (V)
- $R$ : resistència de la línia en ohm ( $\Omega$ )
- $X$ : reactància de la línia en ohm ( $\Omega$ )
- $P$ : potència activa transportada per la línia en watts (W)
- $U_L$ : tensió de servei en monofàsic o trifàsic, en volts (V)
- $\tan \varphi$ : factor de potència del receptor

La reactància  $X$  dels conductors varia amb el diàmetre i la separació entre conductors. Per a seccions menors o iguals de  $120 \text{ mm}^2$ , com és habitual tant en instal·lacions d'enllaç com en instal·lacions interiors, es pot considerar un valor de l'ordre de  $X = 10^{-4} \Omega/\text{m}$ . La contribució a la caiguda de tensió per efecte de la inductància és menyspreable davant l'efecte de la resistència, i per tant les dues equacions anteriors es poden simplificar de la següent forma:

$$\Delta U_I = 2 \cdot \frac{R \cdot P}{U_L}$$

$$\Delta U_{III} = \frac{R \cdot P}{U_L}$$

### 2.3 Secció de conductors en funció de la caiguda de tensió

El REBT determina quines son les caigudes de tensió màximes permeses a les ITC-BT-14, ITC-BT-15 i ITC-BT-19, respectivament, segons es detalla a la taula 2.2 (cal tenir en compte que la LGA sempre és trifàsica).

**TAULA 2.2.** Caigudes màximes de tensió

Part de la instal·lació	Alimenta a...	Caiguda màxima de la tensió de subministrament (%)	$e = \Delta U_{III}$	$e = \Delta U_I$
LGA (Línia General d'Alimentació)	Subministraments d'un únic usuari	No existeix LGA	-	-
	Comptadors totalment concentrats	0,5%	2 V	-
	Centralitzacions parcials de comptadors	1,0%	4 V	-
DI (Derivació Individual)	Subministraments d'un únic usuari	1,5%	6 V	3,45 V
	Comptadors totalment concentrats	1,0%	4 V	2,3 V
	Centralitzacions parcials de comptadors	0,5%	2 V	1,15 V
Circuits interiors	Circuits interiors en habitatges	3,0%	12 V	6,9 V
	Circuits d'allumemat que no siguin habitatges	3,0%	12 V	6,9 V
	Circuits de força que no siguin habitatges	5,0%	20 V	11,5 V

Font: REBT

Per tal de satisfer les exigències del reglament, la secció dels conductors es calcularà a partir de la fórmula següent per als sistemes de distribució monofàsics:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{\gamma \cdot e \cdot U_L}$$

Per als sistemes trifàsics, l'expressió que haurem de utilitzar serà:

$$S = \frac{P \cdot L}{\gamma \cdot e \cdot U_L}$$

A on:

- $S$ : secció mínima del conductor en  $\text{mm}^2$
- $P$ : potència activa transportada per la línia en watts (W)
- $L$ : longitud de la línia en metres (m)
- $e$ : màxima caiguda de tensió permesa en volts (V)
- $\gamma$ : conductivitat del material, en  $\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$

- $U_L$ : tensió de servei en monofàsic o trifàsic, en volts (V)

La conductivitat dels materials conductors es pot prendre de la taula 2.3.

**TAULA 2.3.** Conductivitat dels materials conductors

Temperatura de funcionament	20°C	70°C	90°C
	$\gamma_{20}$	$\gamma_{70}$	$\gamma_{90}$
<b>Coure</b>	56 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )	48 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )	44 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )
<b>Alumini</b>	35 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )	30 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )	28 m/( $\Omega \cdot \text{mm}^2$ )

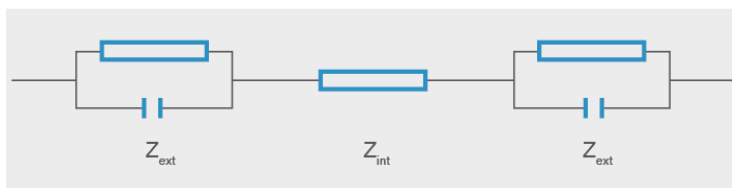


### 3. Informació complementària sobre seguretat

#### 3.1 Model elèctric de la impedància del cos humà

El model elèctric que presenta el cos humà enfront a un circuit elèctric és bàsicament resistiu i es basa en el recorregut que la intensitat elèctrica seguirà. Segons s'ha exposat anteriorment, el contacte es produirà a través de dues parts diferents del cos. Aleshores, ens trobem que el recorregut que els electrons realitzaran pel cos humà seguirà sempre el mateix esquema: primer, la pell a l'entrada; després, el recorregut pels diferents òrgans i, finalment, de nou pell a la sortida. A la figura 3.1 s'hi troba el circuit elèctric equivalent que representa la impedància de la pell d'entrada i sortida del corrent (representades com una resistència amb un condensador en paral·lel), en sèrie amb la resistència interna del cos.

FIGURA 3.1. Model elèctric del cos humà



Del model anterior es desprèn que el comportament del cos enfront l'electricitat dependrà de la freqüència. Com sabem, la reactància capacitiva varia amb la freqüència, segons la fórmula següent:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

En corrent continu, la reactància capacitiva és infinita i els condensadors, per tant, es comporten com un circuit obert. A mesura que augmenta la freqüència, la reactància capacitiva disminueix.

Atès que el valor de la reactància en paral·lel disminueix amb la freqüència, la impedància de la pell també disminuirà. En aquest sentit, es pot deduir que els efectes de l'electricitat al cos humà seran sempre més severos a major freqüència.

La quantificació dels valors de la impedància del cos humà enfront a un xoc elèctric és, per tant, variable i dependrà de molts factors diferents. La **Nota Tècnica de Prevenció NTP 400 Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano** de l'**Instituto Nacional de Seguridad y Salud (INSST)**, abans *Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)* és una guia de bones pràctiques que aporta una taula de resultats estadístics de valors de la impedància del cos humà.

Hi trobem dues taules: una per al corrent continu (taula 3.1) i una altra per al corrent altern de 50 Hz (taula 3.2), essent ambdues les freqüències d'ús del sistema de distribució elèctrica a l'Estat espanyol. S'observa que les impedàncies en corrent continu són superiors, tal com s'ha explicat anteriorment.

**TAULA 3.1.** Impedància del cos humà enfront el corrent elèctric continu

Tensió de contacte (V)	Impedància total ( $\Omega$ ) del cos humà que no és sobrepassada pel...		
	5% de les persones	50% de les persones	95% de les persones
25	2.200	3.875	8.800
50	1.750	2.990	5.300
75	1.510	2.470	4.000
100	1.340	2.070	3.400
125	1.230	1.750	3.000
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
Valor asimptòtic	650	750	850

Trajectòria mà-mà, pell seca, superfície de contacte 50-100 cm<sup>2</sup> (font: INSST)

**TAULA 3.2.** Impedància del cos humà enfront el corrent elèctric altern de 50-60 Hz

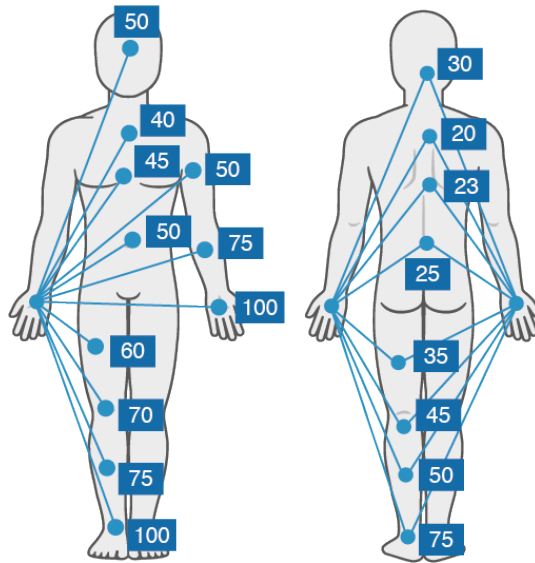
Tensió de contacte (V)	Impedància total ( $\Omega$ ) del cos humà que no és sobrepassada pel...		
	5% de les persones	50% de les persones	95% de les persones
25	1.750	3.250	6.100
50	1.450	2.625	4.375
75	1.250	2.200	3.500
100	1.200	1.875	3.200
125	1.125	1.625	2.875
220	1.000	1.350	2.125
700	750	1.100	1.550
1.000	700	1.050	1.500
Valor asimptòtic	650	750	850

Trajectòria mà-mà, pell seca, superfície de contacte 50-100 cm<sup>2</sup> (font: INSST)

Els resultats de les dues taules depenen de la tensió de contacte. És per això, que a l'hora de determinar la impedància del cos humà, caldrà conèixer en quin voltatge s'ha produït el xoc elèctric. Així mateix, cal també parar atenció que els valors expressats depenen igualment del recorregut del corrent a través del cos. Els valors de les taules representen la impedància quan el xoc elèctric es produeix entre una mà i l'altra. Però, què passa si el contacte s'ha produït entre dues parts diferents del cos humà? A la figura 3.2 s'hi troben els factors de correcció corresponents als possibles recorreguts del xoc elèctric, tant per la part frontal (esquerra de la imatge) com per la posterior (dreta de la imatge).



**FIGURA 3.2.** Factors de correcció (%) de la impedància del cos humà segons les parts en contacte



Esquerra, part anterior; dreta, part posterior.

**Quina serà la impedància que presenta un xoc elèctric amb una tensió monofàsica que es produeix entre la mà dreta i el coll?**

Un sistema de distribució monofàsica té una tensió efectiva de 230 V i una freqüència de 50 Hz. Segons la taula 3.2, en aquestes condicions la impedància entre la mà dreta i la mà esquerra serà entre 1.000 Ω i 2.125 Ω, segons el percentatge de població. El valor del 50% de la població serà de 1.350 Ω.

La figura 3.2 ens mostra que si el recorregut de la intensitat de corrent es produeix entre la mà i el coll, el factor de correcció serà del 40%.

En conseqüència, la impedància que el cos presentarà enfront un xoc elèctric amb una tensió monofàsica que es produeix entre la mà dreta i el coll serà:

$$Z_{TOT} = 1.350 \cdot 0,4 = 540 \Omega$$