

Transformadors

Miquel-Joan Pallarès Viña

Màquines elèctriques



Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1 Elaboració de documentació tècnica de transformadors	9
1.1 Representació normalitzada d'esquemes i plànols amb transformadors	12
1.2 Plànols i esquemes normalitzats	12
1.2.1 Esquema funcional	13
1.2.2 Esquema multifilar	13
1.2.3 Esquema unifilar	14
1.3 Aplicació de programari informàtic de dibuix tècnic i càlcul d'instal·lacions	14
1.4 Construcció de transformadors	16
1.4.1 Generalitats, tipologia i constitució de transformadors	16
1.4.2 Característiques constructives dels transformadors	19
1.5 Operacions per al càlcul d'un transformador	25
1.5.1 Càlcul de la secció del nucli	25
1.5.2 Càlcul del nombre d'espores	25
1.5.3 Càlcul de la secció dels bobinatges	26
1.6 Construcció de transformadors	30
1.6.1 Càlculs	30
1.6.2 Rodet per al bobinatge	31
1.6.3 Bobinatges primari i secundari	32
1.6.4 Formació del nucli	33
1.6.5 Comprovacions en els bobinatges	34
1.6.6 Envernissat del transformador	34
2 Assajos i manteniment de transformadors	35
2.1 Assajos normalitzats aplicats a transformadors	35
2.1.1 Assaig de buit del transformador	35
2.1.2 Assaig de curtcircuit d'un transformador	39
2.2 Manteniment i reparació de transformadors	48
2.2.1 Documents utilitzats per al manteniment de transformadors	48
2.2.2 Elaboració de plans de manteniment	49
2.2.3 Fases del manteniment preventiu de transformadors	50
2.2.4 Operacions habituals en el manteniment de transformadors	50
2.2.5 Qualitat en l'elaboració de documentació tècnica de transformadors	51
2.2.6 Eines i equips per al manteniment dels transformadors	53
2.3 Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental en les operacions de muntatge i manteniment de màquines elèctriques	54
2.3.1 Identificació de riscos	54
2.3.2 Mesures de seguretat i protecció	59
2.3.3 Protecció enfront el risc elèctric	60
2.4 Classificació dels residus generats per a la retirada selectiva	62

2.4.1	Classificació i etiquetatge dels residus	62
2.4.2	Emmagatzematge dels residus	63
2.4.3	Retirada dels residus	63

Introducció

El subministrament d'una energia elèctrica estable i segura és un factor fonamental pel desenvolupament industrial i civil de la nostra època. En cas de fallada de l'energia elèctrica es paralitzaria pràcticament tota l'activitat, els sistemes de seguretat i de control entrarien en poc tems en estat crític. Penseu que la majoria dels altres subministraments d'energia depenen també de la disponibilitat d'energia elèctrica.

La disponibilitat de l'energia elèctrica es el resultat d'una concatenació d'actuacions que comencen a molts kilòmetres d'on es fa servir, a les centrals elèctriques on es genera. L'energia generada es lliura al sistema de transport, i d'aquest al de distribució perquè arribi a les nostres cases, comerços i indústries on es transforma en altres tipus d'energia. En cada un d'aquests sistemes s'han hagut de modificar les característiques de l'electricitat perquè es pugui transportar de la millor manera possible i finalment s'ha d'condicionar als requeriments de les nostres màquines perquè es pugui transformar en altres tipus d'energia.

Els transformadors de distribució són les màquines que fan possible la modificació de les característiques de l'electricitat per la seva adequació al sistema en el que es troba i per tant els trobem en totes les parts del sistema elèctric. El seu estudi es important tant pel tècnic en general que ha de tenir un bon coneixement del sistema elèctric com pel tècnic que es dedica específicament al manteniment de transformadors.

S'han de considerar els aspectes constructius, de funcionament i manteniment dels transformadors així com els assajos i reparacions que s'hi poden realitzar. Tots els treballs s'han de fer segons els protocols establerts a cada empresa i amb les normes de seguretat reglamentaries. Es per això que la comprensió dels protocols i esquemes, la realització d'informes i elecció de les mesures de seguretat han de formar part del bagatge cultural d'un bon tècnic d'electricitat.

Aquesta unitat està dividida en dos apartats. En l'apartat "Elaboració de documentació tècnica de transformadors" estudiareu la constitució dels transformadors, els càlculs que s'han de fer per dimensionar les diferents parts, l'aplicació del programari, del que disposem actualment, i la documentació que acompanya el transformador. En l'apartat "Assajos i manteniment de transformadors" veureu els transformadors des del punt de vista del usuari, els assajos que s'han de fer, els aspectes més importants del manteniment i la prevenció de riscos laborals relacionats amb les operacions amb transformadors.

Per treballar els continguts d'aquesta unitat, és convenient familiaritzar-se en els procediments utilitzats per resoldre les qüestions plantejades (anomenades *exemples*) ja que ens permetran resoldre els problemes semblants que se us proposaran durant tot el curs.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat, l'alumne/a:

1. Elabora documentació tècnica de transformadors relacionant símbols normalitzats i representant gràficament elements i procediments.
 - Dibuixa croquis i plànols dels transformadors i els seus bobinats.
 - Dibuixa esquemes de plaques de borns, connexions i debanats segons normes.
 - Realitza esquemes de maniobres i assaigs de transformadors.
 - Utilitza Programari de disseny per realitzar esquemes.
 - Utilitza simbologia normalitzada.
 - Redacta diferent documentació tècnica.
 - Analitza documents convencionals utilitzats en el manteniment de transformadors.
 - Realitza un informe de treball tipus.
 - Realitza un pla de muntatge i un de manteniment de transformadors.
 - Respecta els temps previstos en els dissenys.
 - Respecta els criteris de qualitat establerts.
2. Munta transformadors monofàsics i trifàsics, acoblant els seus elements i verificant el seu funcionament.
 - Selecciona el material de muntatge segons càlculs, esquemes i especificacions del fabricant.
 - Selecciona les eines i equips adequats a cada procediment.
 - Identifica cada peça de la màquina i el seu acoblament.
 - Realitza els bobinats del transformador.
 - Connecta els debanats primaris i secundaris a la placa de borns.
 - Munta el nucli magnètic.
 - Acobla tots els elements de la màquina.
 - Prova el seu funcionament realitzant assaigs habituals.
 - Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
 - Respecta els temps previstos en els processos.
 - Utilitza catàlegs de fabricants per a la selecció del material.
 - Respecta criteris de qualitat.
 - Organitza les diferents fases del treball en les operacions de muntatge de transformadors.

- Manté l'àrea de treball, les eines, utensilis i equips amb el grau apropiat d'ordre, conservació i netedat.
 - Col·labora amb l'equip de treball amb actitud responsable, respectuosa i tolerant.
3. Repara avaries en transformadors, realitzant comprovacions i ajusts per a la posada en servei.
- Classifica avaries característiques i els seus símptomes en petits transformadors monofàsics, trifàsics i autotransformadors.
 - Utilitza mitjans i equips de localització i reparació d'avaries.
 - Localitza l'avaría i identifica possibles solucions.
 - Desenvolupa un pla de treball per a la reparació d'avaries.
 - Realitza operacions de manteniment.
 - Realitza mesures elèctriques per a la localització d'avaries.
 - Verifica el funcionament de la màquina mitjançant assaigs.
 - Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
 - Respecta els temps previstos en els processos.
 - Respecta criteris de qualitat.
 - Mostra autonomia i resol satisfactòriament els problemes que es presenten.
4. Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental en el muntatge i manteniment de màquines elèctriques, identificant els riscos associats, les mesures i equips per prevenir-los.
- Identifica els riscos laborals en les tasques de muntatge i manteniment de màquines elèctriques (manipulació de materials, equips, eines, utensilis, màquines, realització de proves i verificacions, reparació i substitució d'elements, entre d'altres).
 - Determina les mesures de seguretat i de protecció personal que s'han d'adoptar en cada cas.
 - Identifica les possibles fonts de contaminació de l'entorn ambiental.
 - Valora l'ordre i la netedat d'instal·lacions i equips com a primer factor de prevenció de riscos.

1. Elaboració de documentació tècnica de transformadors

Els fabricants de productes industrials dediquen un gran esforç a donar a conèixer els seus productes als possibles clients. En un entorn altament competitiu, aquesta tasca esdevé una part important del procés de comercialització dels productes i això implica la utilització de normes estàndard que facin entenedora la descripció de les característiques. També en l'elaboració de plans de manteniment la documentació prèvia i posterior a les intervencions és fonamental per mantenir en bon estat les instal·lacions elèctriques de manera eficient.

Actualment hi ha una gran varietat de normes que ens ajuden a preparar documentació electrotècnica. Aquestes normes especifiquen els símbols i els caràcters alfanumèrics que s'han d'utilitzar per identificar els aparells elèctrics, els seus bobinatges i contactes, i els connectors que els uneixen, i també els tipus d'esquemes que es poden utilitzar.

L'existència de normes internacionals facilita la interpretació de la documentació, la posada en marxa i el manteniment de les instal·lacions i disminueix el risc de confusió que introduiria una simbologia no normalitzada.

L'estandardització ha esdevingut una eina bàsica per al desenvolupament industrial, ha permès la competència entre els subministradors i la flexibilització en tots els àmbits de la producció

Sense organismes estandarditzadors internacionals seria molt difícil l'exportació i importació d'equips d'altres països i la comparació de productes.

Penseu que els grans fabricants d'aparellatge elèctric venen els seus productes per tot el món i, per tant, en una empresa de casa nostra podem tenir màquines fabricades als Estats units o la Xina. Per fer un bon manteniment hem de ser capaços d'entendre sense cap mena de dubte la documentació que acompanya la màquina.

Hi ha organismes que produeixen normes d'àmbit mundial, regional i local.

Tot seguit podeu veure algunes de les més importants normes internacionals que fan referència als esquemes elèctrics, i la representació normalitzada d'alguns transformadors.

La norma internacional **IEC 61082**: preparació de la documentació usada en electrotècnica.

- IEC 61082-1 (desembre de 1991). Part 1: requisits generals
- IEC 61082-2 (desembre de 1993). Part 2: orientació de les funcions en els esquemes.

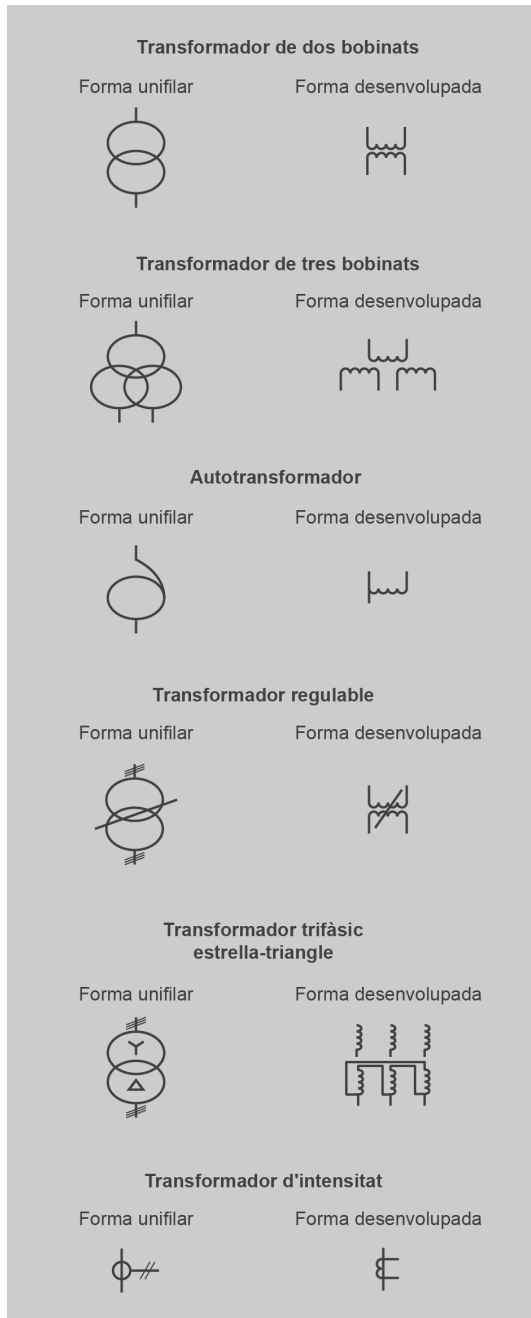
- IEC 61082-3 (desembre de 1993). Part 3: esquemes, taules i llistes de connexions.
- IEC 61082-4 (març de 1996). Part 4: documents de localització i instal·lació.

La Norma europea **EN 60617** aprovada pel CENELEC (Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica) i la norma espanyola harmonitzada amb l'anterior (**UNE EN 60617**), i també la norma internacional de base per a les dues anteriors (**IEC 60617**) o (**CEI 617:1996**), defineixen els **símbols gràfics per a esquemes**.

- EN 60617-2 (juny de 1996). Part 2: Elements de símbols, símbols distintius i altres símbols de aplicació general.
- EN 60617-3 (juny de 1996). Part 3: conductors i dispositius de connexió.
- EN 60617-4 (juliol de 1996). Part 4: components passius bàsics.
- EN 60617-5 (juny de 1996). Part 5: semiconductors i tubs d'electrons
- EN 60617-6 (juny de 1996). Part 6: producció, transformació i conversió de l'energia elèctrica.
- EN 60617-7 (juny de 1996). Part 7: aparells i dispositius de control i protecció.
- EN 60617-8 (juny de 1996). Part 8: aparells de mesura, làmpades i dispositius de senyalització
- EN 60617-9 (juny de 1996). Part 9: telecomunicacions, equips de commutació i perifèrics.
- EN 60617-10 (juny de 1996). Part 10: telecomunicacions, transmissió
- EN 60617-11 (juny de 1996). Part 11: esquemes i plànols d'instal·lacions arquitectòniques i topogràfiques.
- EN 60617-12 (desembre de 1997). Part 12: elements lògics binaris.
- EN 60617-13 (febrer de 1998). Part 13: operadors analògics.

La Norma internacional **IEC 60445** (octubre de 1999): seguretat per a la interfície home-màquina, el marcatge i la identificació.

Les normes de tots els àmbits d'aplicació defineixen símbols per representar els transformadors i especifiquen quina informació ha d'acompanyar aquests símbols. A la figura 1.1 podeu veure les més utilitzades actualment.

FIGURA 1.1. Representació de transformadors de tensió i d'intensitat

Aquestes normes han estat creades per comitès de normalització. Alguns dels més importants són els següents:

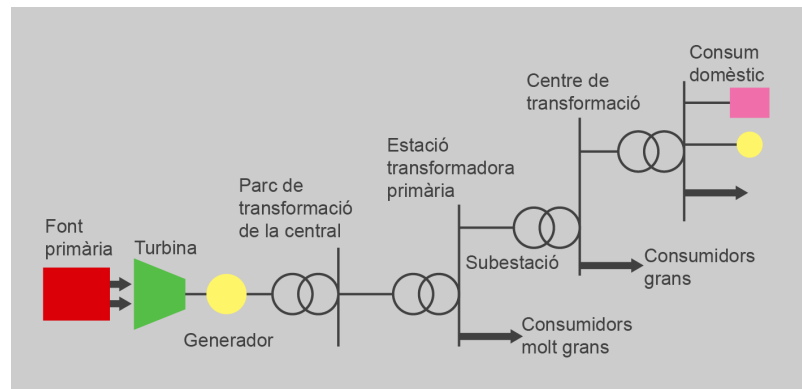
- CEI o IEC (International Electrotechnical Commission), Comitè Internacional Electrotècnic. Es va establir el 1906 per a elaborar normes internacionals.
- CEN (Comitè Europeu de Normalització). Normes europees (EN). Creat el 1961 per al desenvolupament de normalització a l'àmbit, està compost pels organismes de normalització dels estats europeus (AENOR per a Espanya).
- CENELEC (Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica). És la versió d'electrotècnia del CEN.

- **AENOR**, és responsable d'adoptar com a normes UNE (normes espanyoles) les normes europees que s'elaboren en el CEN i CENELEC.

1.1 Representació normalitzada d'esquemes i plànols amb transformadors

Els transformadors són màquines que treballen habitualment en càrrega, i això vol dir connectats a diversos circuits. Per dibuixar aquests circuits, els components que els formen i les connexions entre aquests és necessari utilitzar simbologia normalitzada que els faci llegibles i interpretables per tothom. Les normes estandarditzen aquesta representació tant pel que fa als components com als circuits de què formen part. La figura 1.2 mostra una xarxa d'energia elèctrica.

FIGURA 1.2. Representació de transformadors a la xarxa elèctrica



1.2 Plànols i esquemes normalitzats

La representació d'aparellatge elèctric s'ha de fer seguint les normes vigents i utilitzant simbologia normalitzada perquè puguin ser entesos per tothom.

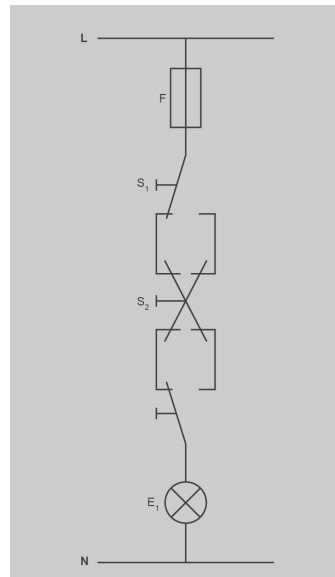
La representació de circuits elèctrics es pot fer de tres maneres diferents, anomenades:

1. Esquema funcional
2. Esquema multifilar
3. Esquema unifilar

1.2.1 Esquema funcional

En un esquema funcional es prescindeix de la posició real dels aparells i conductors i se situen entre dues línies horitzontals que representen la línia i el neutre. La funció és enfocar l'atenció en el funcionament del comandament (figura 1.3).

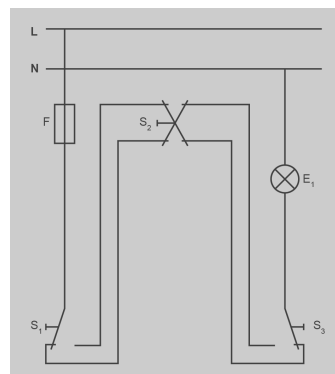
FIGURA 1.3. Esquema funcional



1.2.2 Esquema multifilar

En un esquema multifilar els aparells es representen en els llocs on estan muntats i es representen tots els conductors del circuit. Aquí es dona una visió real de la disposició dels fils d'alimentació, i les connexions d'aquests amb els aparells de maniobra i els receptors (figura 1.4).

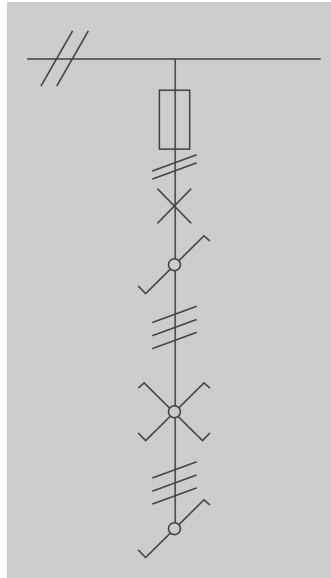
FIGURA 1.4. Esquema multifilar



1.2.3 Esquema unifilar

En l'esquema unifilar es representen tots els conductors que circulen paral·lels com un de sol, afegint-hi tantes ratlles obliques com conductors hi hagi. Serveix per simplificar la visió de l'esquema, però s'ha de deixar molt clar on comença i acaba cada conductor (figura 1.5).

FIGURA 1.5. Esquema unifilar



1.3 Aplicació de programari informàtic de dibuix tècnic i càlcul d'instal·lacions

En el mercat hi ha molts programes de dibuix que ajuden els tècnics a desenvolupar els projectes i informes. Alguns d'aquests programes són programari lliure o ofereixen versions de demostració amb menys prestacions que la versió professional, que poden ser útils per a petites aplicacions. Altres programes són de propietat i cal pagar-los per poder-los utilitzar.

Programari de pagament

Entre el programari de propietat podem destacar l'**Orcad** o el **Pspice**, amb totes les versions de demostració que han anat sortint els darrers anys. El **Multisim** és un programa per al càlcul de circuits elèctrics i electrònics molt complet.

Programari gratuït

Entre el programari lliure podem destacar el **PSim**, que permet calcular circuits monofàsics i trifàsics, i també sistemes de potència amb transformadors, motors i altres elements convertidors de potència.

Un dels programes més complets és l'**Autocad**, que és un programa de propietat de propòsit general, però que permet, utilitzant una biblioteca elèctrica, fer tot tipus d'esquemes elèctrics amb grans prestacions.

L'**Elcad** és un programa propietari especialitzat en la representació d'esquemes elèctrics utilitzat a escala industrial per moltes empreses del sector, amb grans prestacions i una bona biblioteca de material elèctric i electropneumàtic.

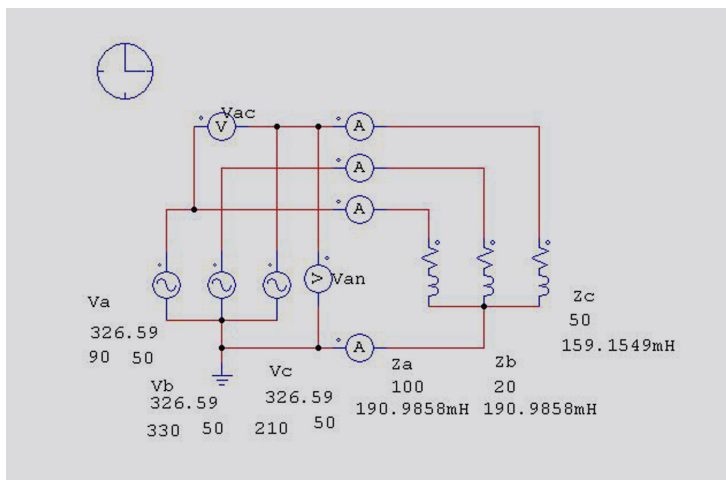
Algunes firmes comercials ofereixen programes per dibuixar i calcular circuits elèctrics. En aquests programes les biblioteques estan formades per components propis de la marca comercial i normalment no permeten incorporar components estàndard.

Avui dia és difícil trobar una activitat tècnica que no tingui l'ajut de programes gràfics per a la representació de circuits o d'elements finits per al disseny o la fabricació. El programari lliure està entrant amb força als centres d'ensenyament. A les empreses encara és majoritari el programari de propietat.

Per al càlcul de circuits elèctrics es pot trobar programari molt divers, lliure i de propietat.

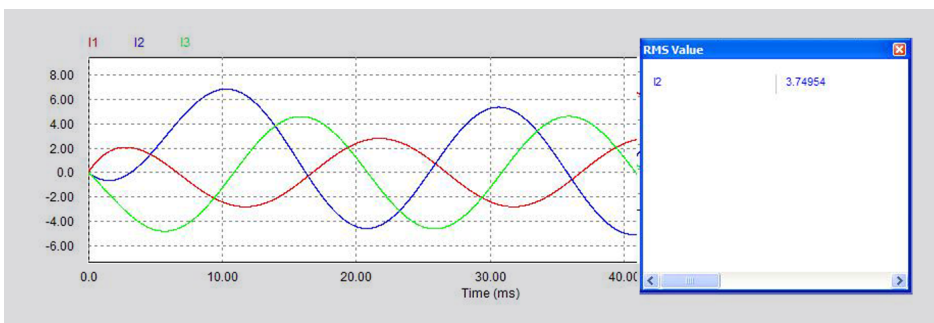
A la figura 1.6 podeu veure un circuit trifàsic dibuixat amb el programa **PSim**, on generadors i càrregues s'han connectat en estrella amb el neutre.

FIGURA 1.6. Exemple d'esquema trifàsic amb el PSim

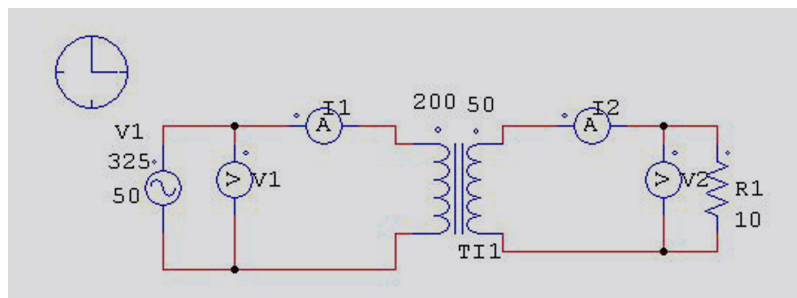
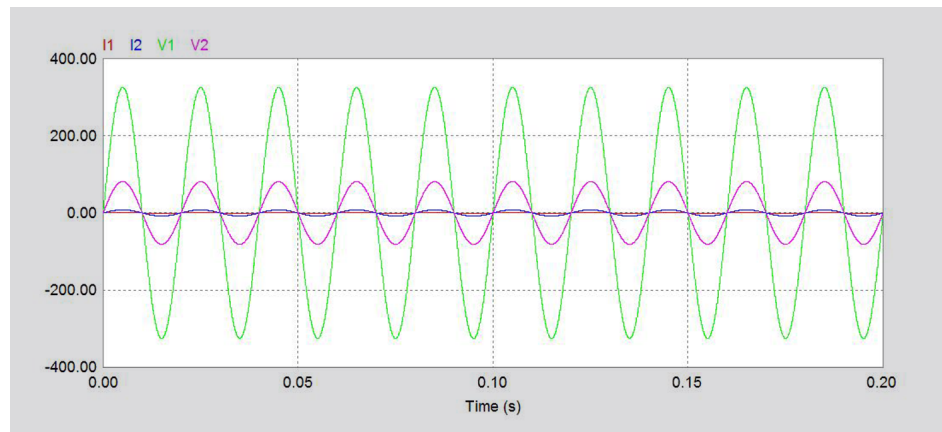


La figura 1.7 mostra el resultat de la simulació del programa, on podem veure les intensitats per a cada línia i la mesura del valor eficaç de la I_2 .

FIGURA 1.7. Resultat de la simulació de l'esquema trifàsic amb el PSim



A les figures 8 i 9 podeu veure una altra simulació amb el PSim: aquest cop, d'un circuit amb un transformador amb càrrega i el resultat de la simulació, on podem mesurar els valors instantanis i eficaços de les tensions i intensitats del primari i del secundari.

FIGURA 1.8. Simulació d'un transformador monofàsic amb el PSim**FIGURA 1.9.** Resultat de la simulació del transformador monofàsic amb el PSim

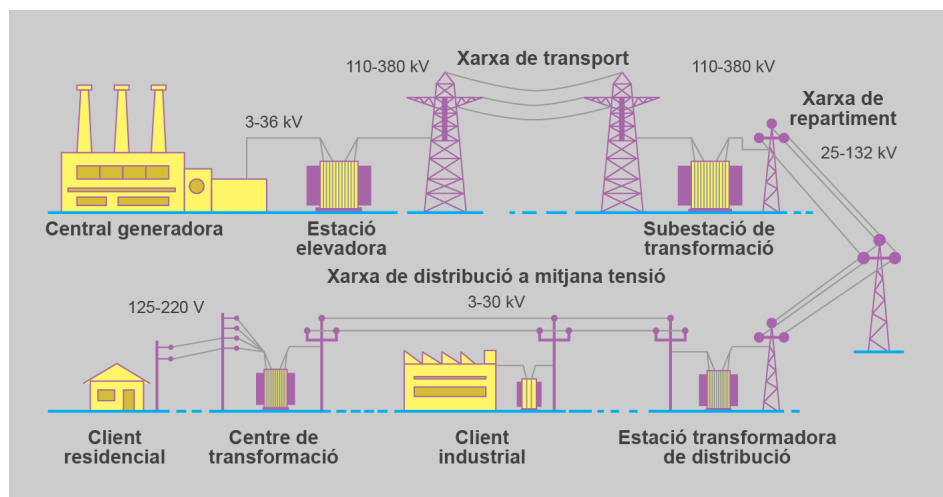
1.4 Construcció de transformadors

Un transformador es fabrica o adquireix per una necessitat concreta, que determina els valors nominals del transformador. Aquests valors nominals són les **tensions del primari i del secundari** i la **potència nominal** del transformador. També interessa determinar el **rendiment**, la caiguda de tensió que s'hi produirà en càrrega i la **intensitat** que hi passarà en cas de curtcircuit.

1.4.1 Generalitats, tipologia i constitució de transformadors

Des de la generació fins al consum, l'energia elèctrica passa per diferents subsistemes, i cadascun té característiques diferents. A cada subsistema s'ha de modificar la presentació de l'energia elèctrica per adequar-la a les seves característiques (figura 1.10). Al subsistema de transport s'han de tenir grans tensions per reduir les pèrdues, però al subsistema de consum s'han de tenir tensions baixes per motius de seguretat i operativitat de les màquines.

Un transformador és una màquina estàtica que converteix energia elèctrica d'una tensió en energia elèctrica d'una tensió diferent per adequar-la a les característiques del subsistema que s'utilitza.

FIGURA 1.10. Exemple de generació, transport, distribució i consum de l'energia elèctrica

En ser una màquina estàtica no hi trobem pèrdues de fregament i ventilació. Les pèrdues més importants són les que es produeixen al nucli magnètic i als bobinatges. Per tant, els transformadors són màquines amb un alt rendiment.

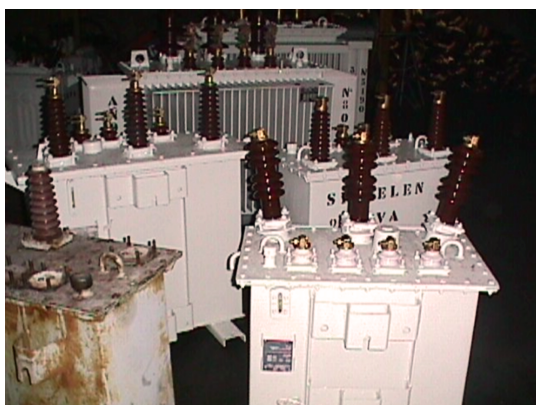
Un circuit elèctric primari transforma l'energia elèctrica en magnètica i en el circuit secundari es torna a convertir de magnètica en elèctrica amb característiques diferents.

Tipus de transformadors

Hi ha diferents tipus de transformadors en funció de la característica que considerem.

Els transformadors de potència s'usen en les xarxes de transport i distribució d'energia. Segons l'emplaçament poden ser (figura 1.11 i figura 1.12):

- D'interior: per a emplaçaments protegits.
- D'exterior: han de suportar pluja, sol i temperatures extremes.

FIGURA 1.11. Transformadors d'interior.

Imatge cortesia de <http://www.fabelectric.com.ve/>

FIGURA 1.12. Transformador d'exterior.

Imatge: Joe Madonna a <http://goo.gl/ujlyu>

Segons la seva funció poden ser:

- Elevador: la tensió a la sortida és més gran que a l'entrada. Típic de centrals generadores.
- Reductor: la tensió a la sortida és més petita que a l'entrada. Típic d'instal·lacions de consum.

Segons el nombre de fases poden ser:

- Monofàsics: transformen una sola fase.
- Trifàsics: transformen 3 fases.

Segons el refrigerant poden ser:

- Sense refrigerant: no disposa d'un refrigerant especial (refrigerat per aire).
- Amb refrigerant: habitualment estan immersos en un recipient amb oli (figura 1.13).

Segons el sistema de refrigeració poden ser:

- Refrigeració natural: tanc amb aletes refrigerants.
- Refrigeració forçada: amb ventiladors per millorar la convecció del refrigerant.

Els codis de la refrigeració dels transformadors són els següents:

- Tipus de circulació: **N** (refrigeració natural) o **F** (refrigeració forçada)
- Tipus de material refrigerant: **A** (aire), **O** (oli mineral) o **L** (oli sintètic)

S'usa un codi de 4 lletres per indicar la refrigeració del primari i del secundari:

1. Primera lletra: tipus de refrigeració del primari (A, O o L)
2. Segona lletra: tipus de circulació del refrigerant primari (N o F)
3. Tercera lletra: tipus de refrigeració del secundari (A, O o L)
4. Quarta lletra: tipus de circulació del refrigerant secundari (N o F)

Per exemple, un transformador pot estar etiquetat com a **OFAF** (que significaria *primari refrigerat amb circulació forçada d'oli mineral, secundari refrigerat amb circulació forçada d'aire*).

Els transformadors especialitzats, per a aplicacions especials, poden ser:

- Per a forns d'inducció, de resistència o d'arc elèctric, amb tensions secundàries molt baixes i grans intensitats, que poden arribar a 60.000 A
- Per a rectificadors, de grans intensitats secundàries i gran nombre de fases (12 o 24), amb la finalitat de reduir els harmònics de la tensió de sortida, amb una tensió de continu més estable.
- Per a tubs luminescents, amb tensions de sortida altes (entre 2.000 i 15.000 V) i intensitats molt petites, entre 18 i 120 mA.
- D'ignició, per a calderes de gas o de gasoil domèstiques, amb tensions secundàries entre 6.000 i 14.000 V, per fer saltar un arc elèctric i iniciar la ignició de la caldera.

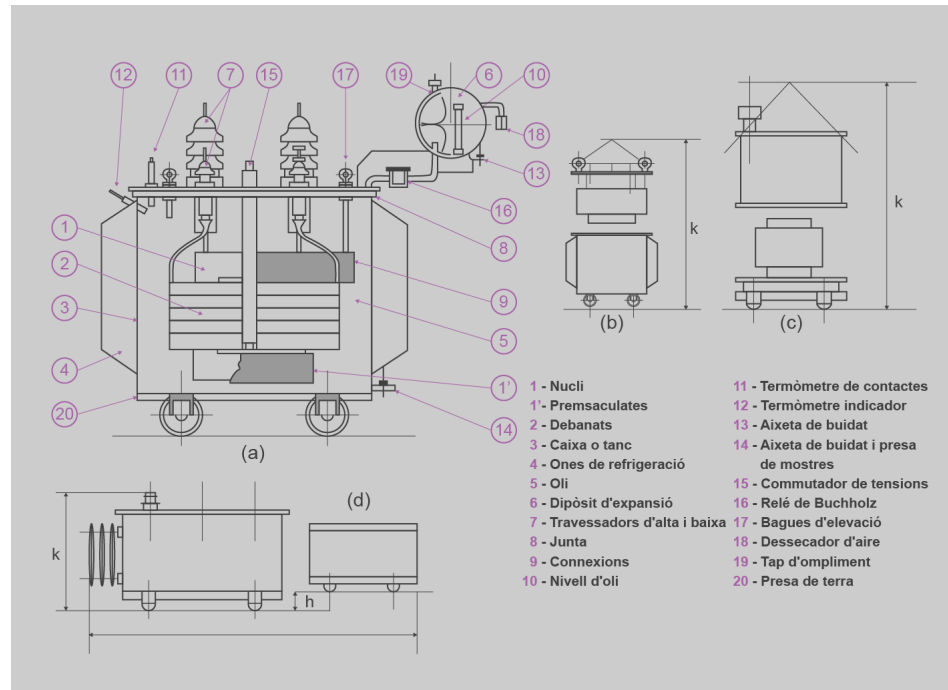
Els transformadors de mesures poden ser:

- Transformadors d'intensitat, per adequar el valor de la intensitat que es vol mesurar a l'escala de l'aparell de mesura. Per a xarxes de grans consums.
- Transformadors de tensió, per adequar el valor de la tensió per mesurar a l'escala de l'aparell de mesura. Per a xarxes de tensió elevada.

1.4.2 Característiques constructives dels transformadors

Els transformadors estan constituïts per diversos circuits. Els més importants són el circuit elèctric i el circuit magnètic. En transformadors grans s'han de considerar i dissenyar acuradament altres circuits com el d'evacuació de calor i el dielèctric, i habitualment treballen submergits en oli mineral. A la figura 1.13 es poden veure les parts més importants d'un transformador.

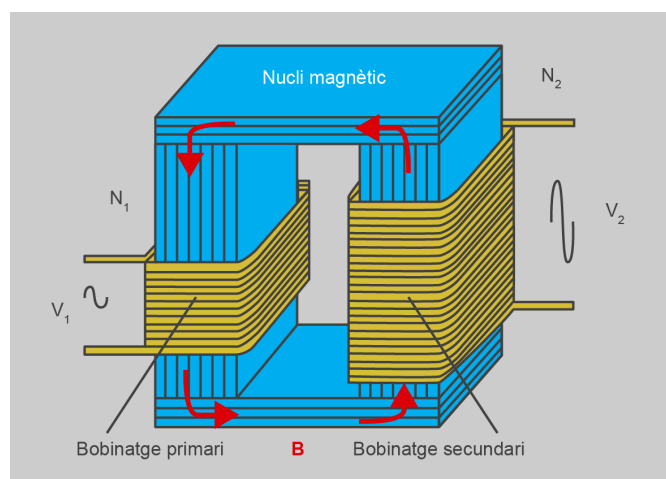
FIGURA 1.13. Parts d'un transformador



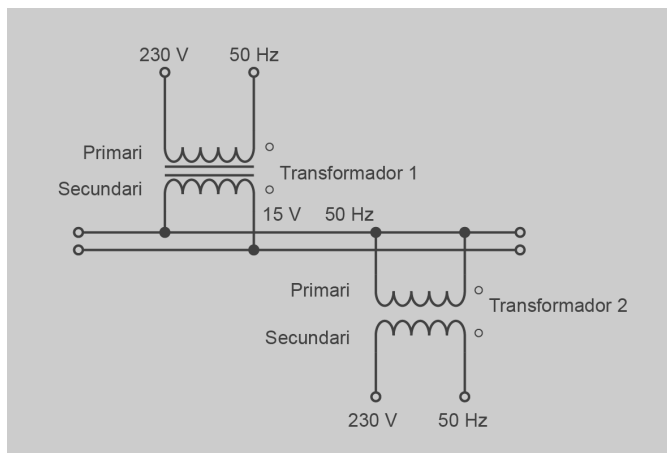
Circuits elèctrics: bobines acoblades magnèticament que es passen l'energia d'una a l'altra

Es diu **primari** el bobinatge que rep l'energia elèctrica del sistema d'entrada i **secundari** el bobinatge que lliura l'energia elèctrica al sistema de sortida (figura 1.14). El transformador és una màquina reversible. Qualsevol dels bobinatges pot ser el primari o el secundari. Només s'han de tenir en compte els seus valors nominals.

FIGURA 1.14. Circuit magnètic, primari i secundari d'un transformador



La tensió nominal dels bobinatges s'ha d'adequar a la tensió dels subsistemes a què es connecta. Per exemple, si tenim un subsistema d'entrada de 230 V i un altre de 15 V de sortida, la tensió nominal dels debanats del transformador ha de ser la d'aquests valors.

FIGURA 1.15. Reversibilitat dels transformadors

Si agafeu l'energia del circuit de 230 V, o sigui, que connecteu els 230 V al primari, en tindreu 15 V al secundari. Si ara agafeu l'energia del circuit de 15 V, o sigui, que connecteu 15 V al primari, en tindreu 230 V al secundari sempre amb la mateixa freqüència. Podem dir que el transformador és una màquina elèctrica reversible. La figura 1.15 mostra aquest efecte.

Circuit magnètic

El transvasament d'energia entre els circuits elèctrics del primari i el secundari del transformador es fa passant l'energia elèctrica del primari a energia magnètica i transformant-la posteriorment en energia elèctrica al circuit elèctric secundari.

El circuit magnètic és l'encarregat que la inducció magnètica sigui el més gran possible i que hi hagi un bon acoblament magnètic entre el bobinatge primari i el secundari.

El circuit magnètic està constituït per xapes de ferro aliat amb silici, aïllades entre elles, per facilitar l'establiment del camp magnètic i reduir les pèrdues al nucli magnètic.

L'aportació de silici a l'acer (aliatge denominat *xapa magnètica*) fa reduir les pèrdues d'histeresi i estabilitza la xapa, en el sentit d'evitar que s'incrementin les pèrdues degudes a l'exposició prolongada a la calor.

La xapa magnètica és de gra orientat i laminada en fred, fet que li dona unes propietats magnètiques molt favorables a la conducció de camps magnètics. El gruix de les xapes sol ser de 0,35 mm. Orientativament les pèrdues d'aquest tipus de xapa solen ser de 0,4 W/kg a 0,5 W/kg per a una inducció d'1 T.

Les xapes magnètiques estan elèctricament aïllades entre elles per limitar la magnitud dels circuits interns que es formen en estar a l'interior de camps magnètics.

Aïllant als transformadors

Als primers transformadors es va utilitzar paper com a material aïllant, més tard es cobrien de vernís per totes dues cares i actualment es fa un tractament termoquímic superficial que proporciona un bon aïllament i ocupa molt poc espai.

Valors característics d'un transformador

Un transformador rep energia elèctrica d'un sistema d'entrada amb una tensió i la lliura a un sistema elèctric de sortida amb una tensió diferent. En aquest procés es manté el valor de la freqüència i la forma d'ona del corrent elèctric, excepte en la introducció de petites deformacions. Per tant, la tensió d'entrada U_{1N} , la tensió de sortida U_{2N} i la potència que és capaç de transmetre S_N seran valors característics del transformador. Aquesta potència sempre es dona en **VA**.

La màxima potència que és capaç de transmetre un transformador depèn de l'escalfament màxim a què pot arribar i, per tant, de la intensitat que passa pels seus bobinatges.

La **potència nominal** és el valor de la potència aparent $S = V \cdot I$. Si la potència nominal d'un transformador estigués determinada pel valor de la potència activa en W , resultaria que per al mateix valor de la potència i la tensió nominals es podrien tenir diferents valors de la I , ja que $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$ i, per tant, I en aquest cas dependria de P , V i $\cos \varphi$.

Exemple

Observant les especificacions d'un transformador monofàsic veiem que diu 1.500 VA amb una tensió al primari de 400 V. Què passaria si la potència nominal d'un transformador fos la potència activa en W ?

Solució

En aquest hipotètic cas, el corrent al primari estaria determinat per:

$$I_1 = \frac{P_N}{U_{1N} \cdot \cos \varphi}$$

La taula 1.1 mostra l'evolució del corrent al primari si la potència nominal estigués expressada en W en comptes de VA . Com es pot comprovar, amb el mateix consum de potència activa, el corrent es dispara molt.

TAULA 1.1. Evolució del corrent considerant potència activa.

Potència nominal Activa [W]	U_{1N} [V]	$\cos \varphi$	I_1 [A]
1.500	400	1	3,75
1.500	400	0,75	5
1.500	400	0,50	7,5
1.500	400	0,25	15

Exemple

Observant les especificacions d'un transformador monofàsic veiem que diu 1.500 VA amb una tensió al primari de 400 V. Per què la potència nominal del transformador és la potència aparent en VA ?

Solució

Perquè independentment del valor que prengui el factor de potència, el corrent és un valor màxim fix, ja que es calcula a partir de:

$$I_1 = \frac{P_N}{U_{1N}}$$

La taula 1.2 mostra l'evolució del corrent al primari si la potència nominal està expressada en VA, com ha de ser. Com es pot comprovar, amb el mateix consum de potència activa, el corrent queda fixat independentment del factor de potència.

TAULA 1.2. Evolució del corrent considerant potència aparent.

Potència nominal [VA]	U_{1N} [V]	$\cos \varphi$	I_1 [A]
1.500	400	1	3,75
1.500	400	0,75	3,75
1.500	400	0,50	3,75
1.500	400	0,25	3,75

Aquesta transformació es fa amb valors molt alts de rendiment, o sigui, que la potència de sortida és aproximadament igual que la potència d'entrada i, per tant, en una primera aproximació podem dir que es compleixen les relacions següents:

$$P_1 = P_2$$

això vol dir que:

$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

i com aproximadament $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$, tenim que:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

i d'aquí es dedueix el paràmetre més important del transformador, que és la relació de transformació, i es representa per m :

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Tots els paràmetres importants d'un transformador estan en la seva placa de característiques. És la primera font d'informació d'un tècnic.

En els transformadors de mesures l'exactitud en la relació de transformació és important. No tant el rendiment, perquè la potència transmesa només és la necessària per activar l'aparell de mesura.

En els transformadors de distribució són importants tant l'exactitud de la relació de transformació com el rendiment.

Els valors característics d'un transformador estan escrits en la seva placa de característiques i són els que es mostren a la taula 1.3.

TAULA 1.3. Informació de la placa de característiques d'un transformador

Valors característics	Potència nominal	Tensió del primari	Tensió del secundari	Freqüència
Símbol	S_N	U_{1N}	U_{2N}	f
Unitat	VA	V	V	Hz

D'aquests s'en poden deduir altres, com les intensitats nominals i la relació de transformació:

Transformador monofàsic:

- $I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}$
- $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$
- $m = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$

Transformador trifàsic:

- $I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}}$
- $I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}}$
- $m = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$

Exemple

A la placa de característiques d'un transformador monofàsic es pot llegir:

- $U_{1N} = 6.000 \text{ V}$
- $U_{2N} = 230 \text{ V}$
- $S_N = 24.000 \text{ VA}$
- $f = 50 \text{ Hz}$

Calculeu altres paràmetres del transformador.

Solució

En aquest cas, podem calcular:

- $I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = 4 \text{ A}$
- $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = 104,34 \text{ A}$
- $m = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = 26,08$

Exemple

A la placa de característiques d'un transformador trifàsic es pot llegir:

- $U_{1N} = 24.000 \text{ V}$
- $U_{2N} = 400 \text{ V}$
- $S_N = 72.000 \text{ VA}$

- $f = 50 \text{ Hz}$

Solució

En aquest cas, podem calcular:

- $I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = 1,732 \text{ A}$
- $I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = 103,9 \text{ A}$
- $m = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = 60$

1.5 Operacions per al càlcul d'un transformador

Els transformadors són màquines elèctriques amb un gran rendiment. Els transformadors de gran potència tenen rendiments de més del 95%, però en els de petita potència el rendiment pot baixar fins a valors del 60%. Tot i això, en una primera aproximació considerarem que tenen un rendiment del 100% i, per tant, que la potència que entra pel debanat primari és la mateixa que la que surt pel bobinatge secundari. Això simplifica bastant el procediment que se segueix per al càlcul d'un transformador monofàsic.

1.5.1 Càlcul de la secció del nucli

La secció del nucli es calcula amb:

$$A_n = a \cdot \sqrt{S_N}$$

en què:

- A_n = àrea del nucli en cm^2
- S_N = potència aparent en VA
- a = coeficient que varia segons la qualitat de la xapa utilitzada (des de **0,7** per a xapes de molt bona qualitat fins a **1** per a xapes de qualitat baixa).

A partir de la secció del nucli i del gruix de cada xapa, trobarem el nombre de xapes que el formaran.

1.5.2 Càlcul del nombre d'espines

Si partim de la fórmula següent:

$$E = 4,44 \cdot f_1 \cdot N \cdot \Phi$$

en què:

- E = valor de la tensió del debanat en V
- f_1 = freqüència amb què es treballa, en Hz.
- N = nombre d'espises del debanat
- Φ = flux del transformador en webers

Podem aïllar la N :

$$N = \frac{E}{4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi} \text{ espises}$$

Podem trobar el nombre d'espises de qualsevol bobinatge per unitat de tensió:

$$\frac{N}{E} = \frac{1}{4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi} \frac{\text{espises}}{\text{V}}$$

A partir d'aquest valor, si tenim un bobinatge de E_1 V, podem trobar el nombre d'espises amb l'expressió següent:

$$N_1 = E_1 \cdot \frac{N}{E}$$

El valor del flux Φ el trobem tenint en compte que $\Phi = B \cdot A_n$ Wb, en què:

- B = inducció magnètica en T
- A_n = àrea del nucli en m^2

Els valors més habituals per a B són des d'**1** fins a **1,1**. Com més gran sigui aquest coeficient, més saturat treballarà el nucli, i per tant, més pèrdues magnètiques es produiran.

1.5.3 Càlcul de la secció dels bobinatges

Partint de la potència assignada al transformador i la tensió de cada bobinatge, tenim:

- Monofàsic:

$$S_N = E_P \cdot I_P = E_S \cdot I_S$$

- Trifàsic:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot E_P \cdot I_P = \sqrt{3} \cdot E_S \cdot I_S$$

Es poden trobar els corrents:

En monofàsic:

$$I_P = \frac{S_N}{E_P}$$

$$I_S = \frac{S_N}{E_S}$$

En trifàsic:

$$I_P = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot E_P}$$

$$I_S = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot E_S}$$

Un cop trobades les intensitats, dividint entre la densitat de corrent, trobem la secció dels conductors:

$$A_P = \frac{I_P}{\delta} \text{ mm}^2$$

$$A_S = \frac{I_S}{\delta} \text{ mm}^2$$

δ és la densitat de corrent en A/mm².

Podem trobar δ a partir de la taula 1.4.

TAULA 1.4. Densitats de corrent

Potència assignada al transformador [VA]	Entre 10 i 50	Entre 51 i 100	Entre 101 i 200	Entre 201 i 500	Entre 501 i 1.000	Entre 1.001 i 1.500
Densitat màxima δ [A/mm ²]	4	3,5	3	2,5	2	1,5

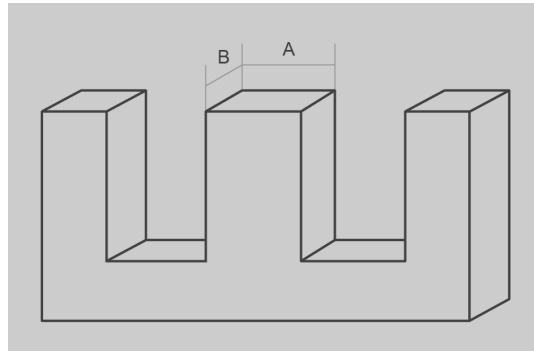
Exemple de càlcul d'un transformador monofàsic

Suposeu que volem fer el càlcul d'un transformador monofàsic dels valors següents:

- $S_N = 60 \text{ VA}$
- $E_1 = 230 \text{ V}$
- $E_2 = 48 \text{ V}$

Suposeu xapes de bona qualitat ($a = 0,9$) i un gruix de 35 mm i $B = 1$ de les dimensions següents (figura 1.16):

- $A = \text{alçada} = 0,35 \text{ mm} = 0,035 \text{ cm}$
- $B = \text{amplada} = 20 \text{ mm} = 2 \text{ cm}$

FIGURA 1.16. Dimensions de les xapes d'un transformador**Solució**

Càlcul de la secció del nucli:

$$A_N = a \cdot \sqrt{S_N} = 0,9 \cdot \sqrt{60} = 6,97 \text{ cm}^2$$

Nombre de xapes:

La superfície de cada xapa per a la conducció del flux magnètic és:

$$S = B \cdot A = 2 \cdot 0,035 = 0,07 \text{ cm}^2$$

Si en necessitem $6,97 \text{ cm}^2$, el nombre de xapes serà de:

$$N_S = \frac{A}{S} = \frac{6,97}{0,07} = 99,57 \text{ xapes}$$

Per tant, hi posarem 100 xapes.

Càlcul del nombre d'espines:

$$\Phi = B \cdot S_N = 1 \cdot 6,97 \cdot 10^{-4} = 697 \mu\text{Wb}$$

$$\frac{N}{E} = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot \Phi} = \frac{1}{4,44 \cdot 50 \cdot 697 \cdot 10^{-6}} = 6,46 \frac{\text{espines}}{\text{V}}$$

$$N_1 = E \cdot \frac{N}{E} = 230 \cdot 6,46 = 1.486 \text{ espines}$$

$$N_2 = E \cdot \frac{N}{E} = 48 \cdot 6,46 = 309,6 \text{ espines}$$

Posarem 1.486 espines al primari i 310 espines al secundari.

Càlcul de la secció dels bobinatges:

$$I_P = \frac{S}{E_1} = \frac{60}{230} = 0,2608 \text{ A}$$

$$I_S = \frac{S}{E_2} = \frac{60}{48} = 1,25 \text{ A}$$

Com $S_N = 60 \text{ VA}$, de la taula 2 agafarem $\delta = 4 \text{ A/mm}^2$, i per tant:

$$A_P = \frac{0,2608}{4} = 0,0652 \text{ mm}^2$$

$$A_S = \frac{1,25}{4} = 0,3125 \text{ mm}^2$$

Agafarem seccions de cable comercial per sobre de les calculades per a cada bobinatge.

Per al càlcul d'un transformador trifàsic se segueix el mateix procediment, tenint en compte la tensió a què està sotmès cada bobinatge segons si està connectat en estrella o en triangle.

Exemple de càlcul d'un transformador trifàsic

Suposeu que volem fer el càlcul d'un transformador monofàsic dels valors següents:

- $S_N = 1.200 \text{ VA}$
- $E_1 = 400 \text{ V}$
- $E_2 = 230 \text{ V}$

El primari i el secundari, en triangle.

Suposeu xapes de bona qualitat ($a = 0,9$) i un gruix de 35 mm i $B = 1$ de les dimensions següents:

- $A = \text{alçada} = 0,35 \text{ mm} = 0,035 \text{ cm}$
- $B = \text{amplada} = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$

Solució

Consideració prèvia:

Ja que els bobinatges estan connectats en triangle, cada bobinatge estarà sotmès a 400 V en el primari i 230 V al secundari, i per tant, aquestes seran les tensions base del càlcul.

Càlcul de la secció del nucli:

$$A_N = a \cdot \sqrt{S_N} = 31,17 \text{ cm}^2$$

Nombre de xapes:

La superfície de cada xapa per a la conducció del flux magnètic és:

$$S = B \cdot A = 6 \cdot 0,035 = 0,21 \text{ cm}^2$$

Si en necessitem 31,17 cm², el nombre de xapes serà:

$$N_S = \frac{31,17}{0,21} = 148,42 \text{ xapes}$$

Hi posarem 149 xapes.

Càlcul del nombre d'espines:

$$\Phi = B \cdot S = 1 \cdot 31,17 \cdot 10^{-4} = 3.117 \mu\text{Wb}$$

$$\frac{N}{E} = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot \Phi} = \frac{1}{4,44 \cdot 50 \cdot 3.117 \cdot 10^{-6}} = 1,444 \frac{\text{espines}}{\text{V}}$$

$$N_1 = E_1 \cdot \frac{N}{E} = 400 \cdot 1,445 = 578 \text{ espines}$$

$$N_2 = E_2 \cdot \frac{N}{E} = 230 \cdot 1,445 = 332,38 \text{ espines}$$

Posarem 578 espines al primari i 332 al secundari.

Càlcul de la secció dels bobinatges:

$$I_P = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot E_1} = 1,732 \text{ A}$$

$$I_S = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot E_2} = 3,012 \text{ A}$$

Com $S_N = 1.200 \text{ VA}$, de la taula 2 agafarem $\delta = 1,5 \text{ A/mm}^2$, i per tant:

$$A_P = \frac{1,732}{1,5} = 1,154 \text{ mm}^2$$

$$AS = \frac{3,012}{1,5} = 2,008 \text{ mm}^2$$

Agafarem seccions de cable comercial per sobre de les calculades per a cada bobinatge.

La taula 1.5 mostra un resum dels càlculs per al transformador trifàsic de l'exercici.

TAULA 1.5. Càlculs del transformador trifàsic

Nucli	Secció A	31,17 cm ²
	Nombre de xapes de 60 × 0,35 mm ²	149 xapes
Bobinatge primari	E_{1N}	400 V
	Nombre d'espises N_1	578 espises
	Secció del cable A_P	1,154 mm ²
Bobinatge secundari	E_{2N}	230 V
	Nombre d'espises N_2	311 espises
	Secció del cable A_S	2,0082 mm ²

1.6 Construcció de transformadors

Per afrontar la construcció d'un transformador es parteix d'una aplicació per la qual necessitem un transformador, cosa que en fixarà les especificacions. Habitualment coneixereu la potència aparent del transformador i les tensions al primari i al secundari.

1.6.1 Càlculs

En primer lloc es fan els càlculs del nombre de xapes, la secció dels conductors primari i secundari i el nombre de voltes que s'han de fer per a cada bobinatge. Com a exemple tenim els càlculs del transformador monofàsic de la taula 1.6.

TAULA 1.6. Càlculs del transformador monofàsic

Nucli	Secció A	6,97 cm ²
	Nombre de xapes de 60 × 0,35 mm ²	100 xapes
Bobinatge primari	E_{1N}	230 V
	Nombre d'espises N_1	1.487 espises
	Secció del cable A_P	0,0562 mm ²
Bobinatge secundari	E_{2N}	48 V
	Nombre d'espises N_2	311 espises
	Secció del cable A_S	0,3125 mm ²

Un cop fets els càlculs del nucli i els bobinatges del transformador, hem d'aconseguir els materials necessaris i efectuar el muntatge del transformador.

1.6.2 Rodet per al bobinatge

Si apilem les xapes del transformador per formar el nucli, en podem mesurar les dimensions, que han de ser, aproximadament:

- Amplada = amplada de les xapes = 2 cm
- Alçada = secció / amplada = $6,97 / 2 \text{ cm} = 3,485 \text{ cm}$

En realitat l'alçada serà una mica més gran, ja que cada xapa porta un tractament superficial per aïllar-la elèctricament (figura 1.17), que fa que el gruix s'incrementi lleugerament (aquest increment pot ser d'un 10%).

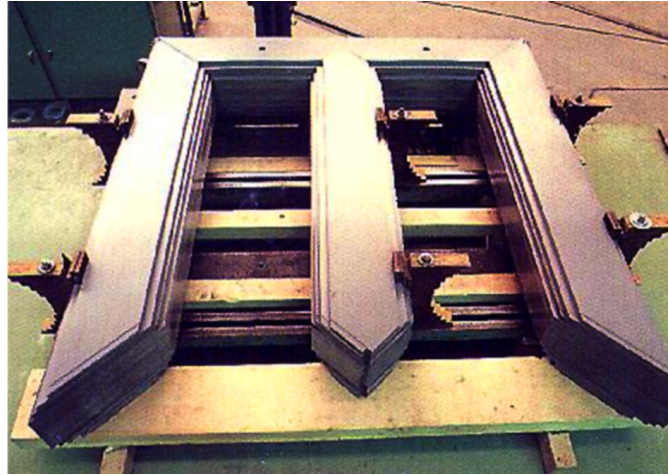
A la figura 1.18 podem veure les xapes apilades per formar el nucli del transformador.

Amb les dimensions del nucli hem de buscar un rodet de dimensions adients al nucli que disposem.

FIGURA 1.17. Aïllant entre capes per a un transformador



Imatge cortesia de <http://www.suesa.net/>

FIGURA 1.18. Xapes del circuit magnètic

1.6.3 Bobinatges primari i secundari

Sobre el rodet triat es comença a donar voltes amb el conductor, completant tot el rodet amb força proporcionada perquè el conductor quedi ben compactat, però sense que s'arribi a deteriorar l'aïllant del conductor. A les figures 18 i 19 hi podem veure un rodet i un transformador ja bobinats.

Acabada la primera capa, es posa un aïllant que la cobreixi tota i es comencen les voltes següents fins a aconseguir el nombre d'espines calculat.

Tot seguit es passen el principi i el final del conductor pels forats que té el rodet tot deixant-ne uns 10 cm aproximadament per poder-lo soldar als terminals del transformador. És convenient marcar-los com a **PR1** i **PR2** per no confondre'ls després amb els del secundari, que els podem marcar com a **SC1** i **SC2**.

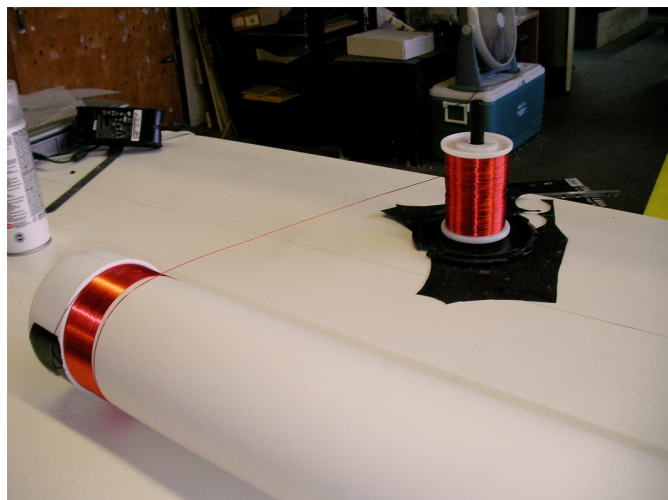
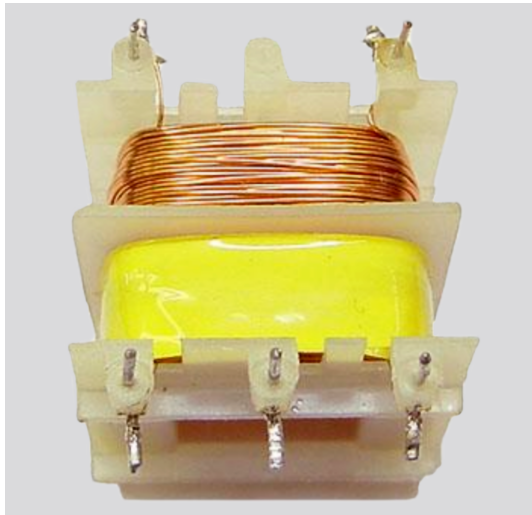
FIGURA 1.19. Rodet amb bobinatge

FIGURA 1.20. Transformador ja bobinat

Imatge cortesia de <http://www.elementsmagneticos.com/>

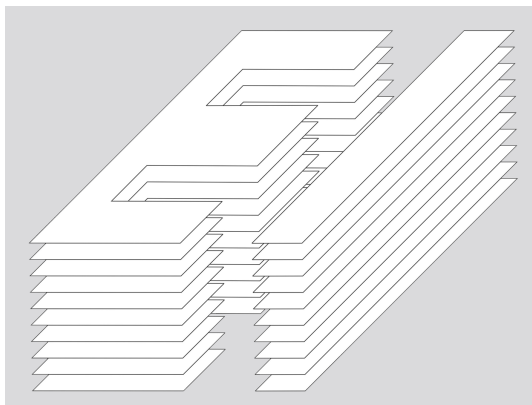
Es torna a posar aïllant (pot ser paper cartró) i es fa el mateix amb el segon bobinatge i amb els següents si ha de tenir més secundaris.

Un cop acabats els bobinatges, es cobreix un altre cop amb cartró, sobre el qual podem escriure, amb retolador permanent, les característiques del transformador.

1.6.4 Formació del nucli

Al voltant del rodet amb els bobinatges es posen les xapes del nucli. En general hi ha dues maneres de posar les xapes:

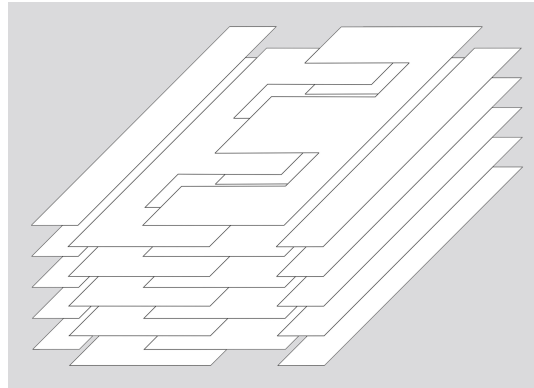
- En **topall**: es posen totes les xapes de la forma **E** juntes, i després totes les de la forma **I** a sobre, de manera que per mantenir-se unides s'han de soldar (figura 1.21).

FIGURA 1.21. Muntatge de les xapes en topall

- **Solapades**: en aquest cas es posen les xapes de forma **E** i de la forma **I**

intercalades, de manera que passant un cargol i collant-les queden totes unides (figura 1.22). Un cop posades totes les xapes, es fixen amb cargols i femelles.

FIGURA 1.22. Muntatge de les xapes solapades



A continuació se solden els terminals dels bobinatges als terminals del transformador, subjectats al rodet.

1.6.5 Comprovacions en els bobinatges

Un cop construït el transformador s'han de fer dues comprovacions:

1. **Continuïtat dels bobinatges:** es mira amb un òhmmetre que els bobinatges tinguin continuïtat. Això es veurà perquè la resistència entre els terminals de cada bobinatge ha de ser molt baixa si tot és correcte.
2. **Aïllament:** amb l'ajut d'un megaòhmmetre es mesura l'aïllament entre els bobinatges (entre primari i secundari), i entre cada un d'ells i el nucli. La resistència mínima de l'aïllament ha de ser de **0,5 MΩ** segons l'ITC BT 019.

1.6.6 Envernissat del transformador

ITC-BT 48
Els transformadors que puguin estar a l'abast de persones no especialitzades estaran construïts o situats de manera que els seus enrotllaments i elements sota tensió, si aquesta és superior a 50 V, siguin inaccessibles.

Al final del procés s'envernissa tot el transformador i s'asseca a l'aire o en un forn a la temperatura adient. El procediment depèn de la disponibilitat de forn i del tipus de vernís utilitzat. Quan ja s'hagi assecat, es munta la carcassa exterior, si en té, tenint en compte que els cargols que la subjecten al nucli han d'anar aïllats amb un tub. És a dir, que la carcassa exterior ha d'estar aïllada del nucli del transformador. Respecte a la utilització de la carcassa, s'ha de tenir en compte el que indica el Reglament de baixa tensió a la ITC BT 48.

2. Assajos i manteniment de transformadors

Les empreses que es dediquen al muntatge de transformadors els han de fer assajos normalitzats abans de lliurar-los als clients per comprovar que aconsegueixen les característiques nominals demandades. Tanmateix, l'empresa que compra el transformador pot fer els assajos normalitzats per comprovar la qualitat del producte que està adquirint

2.1 Assajos normalitzats aplicats a transformadors

Encara que hi ha molts tipus d'assajos que es poden fer als transformadors (escalfament, dielèctric, etc.), n'hi ha dos de molt importants que són no destructius, i que aporten dades que es fan servir per als càlculs de rendiments, caigudes de tensió i connexió en paral·lel. Aquests assajos són:

- Assaig de buit
- Assaig de curtcircuit

2.1.1 Assaig de buit del transformador

Es pot fer aquest assaig des de qualsevol bobinatge. En el cas que una de les tensions sigui molt gran es tria el bobinatge de tensió més baixa, tenint en compte que al bobinatge d'alta tindrem tota la tensió nominal i, per tant, s'han de prendre totes les mesures de seguretat.

Funcionament en buit d'un transformador

Un transformador funciona en buit quan no té cap càrrega connectada al circuit secundari. En aquest cas absorbeix una intensitat I_0 que fa que s'estableixi el flux magnètic per tot el ferro del transformador. Entre el flux magnètic i la tensió connectada s'estableix la relació següent:

$$E = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi$$

en què:

- E = tensió a la qual es connecta el transformador, en V.
- f_1 = freqüència en Hz

- N_1 = nombre d'espises del debanat primari
- Φ = flux magnètic en Wb

Els assajos s'han de fer amb el procediment i calibratge d'aparells de mesura estandarditzats en diferents normes.

Un transformador en buit té un cos φ molt baix. Això es pot observar en el circuit equivalent d'un transformador en buit.

El corrent d'engegada d'un transformador pot ser de més 8 cops el corrent nominal del transformador. Els diferencials i magnetotèrmics de protecció han de poder diferenciar el corrent d'arrencada del d'una sobrecàrrega o un curtcircuit.

L'establiment d'aquest flux Φ implica unes pèrdues en el ferro que es poden trobar aplicant l'expressió següent:

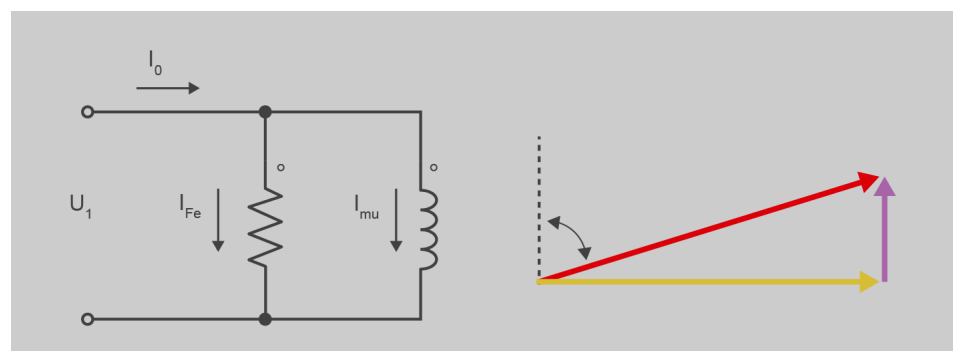
$$P_{Fe} = \frac{B^{1,6} \cdot k \cdot V \cdot f}{10^7}$$

en què:

- P_{Fe} = pèrdues en el ferro, en W
- B = inducció magnètica en G (1 T = 10.000 G)
- V = volum del ferro
- f = freqüència en Hz
- k = constant que depèn de la resistivitat del ferro i del gruix de les xapes magnètiques

El circuit equivalent del transformador en buit és una resistència que representa les pèrdues en el ferro, per la qual passa una intensitat I_{Fe} , en paral·lel amb una bobina per la qual passa una intensitat I_{μ} , la intensitat de magnetització que fa que s'estableixi el flux magnètic. A la figura 2.1 (esquerra) es pot veure aquest circuit equivalent.

FIGURA 2.1. Circuit equivalent en buit i diagrama de corrents



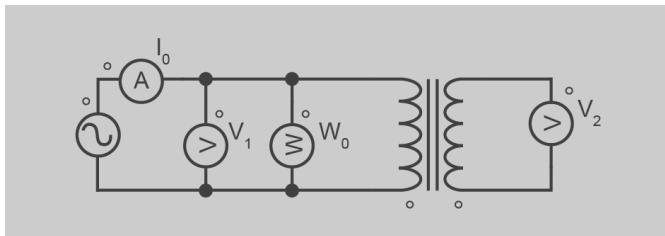
Si dibuixem en un gràfic la tensió aplicada i les intensitats que passen al circuit, veiem que la I_{Fe} està en fase amb la tensió, mentre que la I_{μ} està endarrerida 90° (figura 2.1 dreta).

I per tant, la I_0 , que és la suma de I_{Fe} i I_{μ} , està endarrerida un angle φ_0 respecte a la tensió. Aquesta és la intensitat total d'un transformador en buit i representa una petita part de la intensitat nominal (entre el 0,6% i el 8% de la I_N en els transformadors moderns de gra orientat).

Realització pràctica de l'assaig de buit del transformador monofàsic

Per fer l'assaig en buit d'un transformador monofàsic s'ha de muntar el circuit de la figura 2.2 amb els aparells de mesura indicats, i alimentar-lo amb la tensió U_{1N} .

FIGURA 2.2. Circuit per a l'assaig en buit del transformador



L'amperímetre dóna la I_0 , que és la intensitat de buit del transformador; el wattímetre dóna la P_0 , que és la potència de pèrdues en el ferro (ja que no es lliura potència al secundari i les pèrdues en el coure es poden negligir en aquest assaig) i el voltímetre ha de marcar la U_{1N} .

Amb aquestes mesures tenim les relacions següents:

$$P_0 = U_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

D'on podem trobar:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0}$$

i ara:

$$I_{\mu} = I_0 \cdot \sin \varphi_0$$

i per tant:

$$R_{Fe} = \frac{U_{1N}}{I_{\mu}}$$

$$I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

i per tant:

$$X_{\mu} = \frac{U_{1N}}{I_{Fe}}$$

A més, podem obtenir la relació de transformació de les mesures dels voltímetres de l'assaig:

$$m = \frac{V_1}{V_2}$$

L'assaig de buit del transformador s'ha de fer a la tensió nominal, i obtenim les pèrdues en el ferro (P_{Fe}) i la relació de transformació (m).

A més, es poden deduir els valors de la resistència R_{Fe} i de la reactància de magnetització X_{μ} .

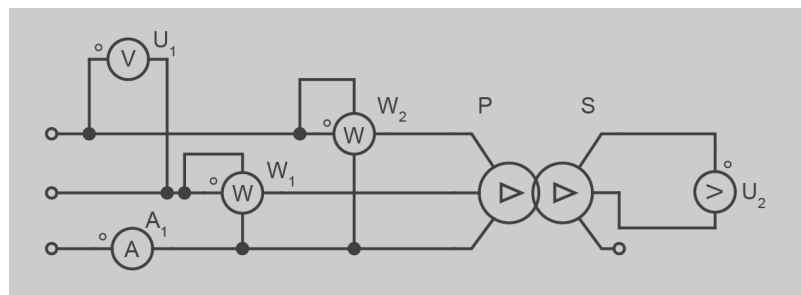
Si l'assaig en buit d'un transformador no es fa a tensió nominal, s'hauran de corregir els valors mesurats de P_0 i I_0 obtinguts, per referenciar-los a la tensió nominal.

Assaig en buit d'un transformador trifàsic

El transformador trifàsic es considera com si fossin 3 transformadors monofàsics connectats en estrella. Es busca l'equivalent de cada fase.

Per a l'assaig d'un transformador trifàsic s'ha de fer el circuit de la figura 2.3.

FIGURA 2.3. Circuit per a l'assaig de buit d'un transformador trifàsic



En aquest cas, dels aparells de mesura obtenim:

- $A_1 = I_0$ del transformador
- $W_1 + W_2 = P_{Fe}$ = pèrdues en el ferro del transformador
- U_1 = tensió nominal del primari del transformador
- U_2 = tensió nominal del secundari del transformador

Es pot referir aquest assaig al d'un transformador monofàsic adoptant les tres normes següents:

1. Agafar les tensions de fase. Com si el transformador estigués connectat en estrella (encara que estigui en triangle): $U_{0F} = U_L / \sqrt{3}$.
2. Agafar la potència de cada fase: $P_{Fe} / 3$.
3. Calcular els valors com si fos monofàsic.

I ara:

$$I_{\mu} = I_0 \cdot \sin \varphi_0$$

i per tant:

$$R_{Fe} = \frac{U_{1N}}{I_{\mu}}$$

$$I_{Fe} = I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

I per tant:

$$X_{\mu} = \frac{U_{1N}}{I_{Fe}}$$

A més, podem obtenir la relació de transformació de les mesures dels voltímetres de l'assaig:

$$m = \frac{V_{L1}}{V_{L2}}$$

2.1.2 Assaig de curtcircuit d'un transformador

Els assajos de buit i de curtcircuit es poden fer des de qualsevol bobinatge del transformador. Si la intensitat nominal del transformador és molt gran, es pot fer des del bobinatge de més alta tensió o utilitzar un transformador d'intensitat, si és necessari adequar el valor del corrent del transformador al corrent que poden mesurar els nostres aparells de mesura.

Funcionament d'un transformador en càrrega

Quan es posa una càrrega al secundari d'un transformador, es produeixen els efectes següents:

1. En connectar el primari del transformador a una tensió U_1 hi passa una I_0 i s'hi estableix un flux Φ . Per a un transformador ja fet, el valor del flux depèn només de la tensió U_1 . Aquest flux genera una tensió a la bobina del primari E_1 aproximadament igual a U_1 i una tensió a la bobina del secundari de valor E_2 .
2. Si es connecta una càrrega al secundari, hi passarà una intensitat I_2 que genera una força magnetomotriu proporcional al producte $N_2 \cdot I_2$. Com el flux total Φ ha de ser constant, el primari reaccionarà fent passar una intensitat que generi la mateixa força magnetomotriu, denominada I_2' .

O sigui, que:

$$N_1 \cdot I_2' = N_2 \cdot I_2$$

i per tant,

$$I_2' = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

Ara pel primari passa una intensitat que val la de buit més la que compensa la força magnetomotriu del secundari, o sigui:

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

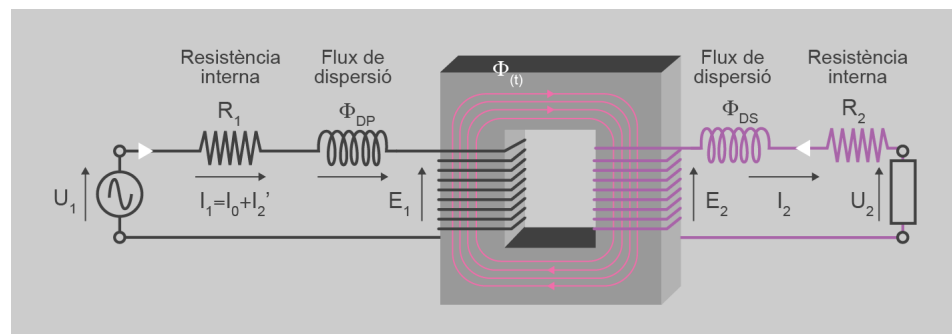
Muntatge pràctic per a l'assaig de curtcircuit d'un transformador monofàsic

En un circuit en càrrega podem trobar els fenòmens següents:

1. Resistències dels bobinats primari i secundari que produeixen caigudes de tensió i pèrdues de potència (R_1 i R_2)
2. Fluxos magnètics que es produeixen a cada bobinat i que es tanquen per l'aire, i per tant, que no concatenen l'altre bobinat (fluxos de dispersió Φ_{DP} i Φ_{DS}). Aquests fluxos produeixen caigudes de tensió.
3. Fluxos magnètics que es produeixen a cada bobinat i que es tanquen pel material ferromagnètic, i que, per tant, són comuns als dos bobinats. Son els que permeten el traspàs d'energia entre els bobinats i produeixen la transformació de la tensió (Φ_C).

Si modelem el Φ_{DP} amb una bobina L_{DP} i el Φ_{DS} amb una bobina L_{DS} , i a més tenim en compte que cada bobinatge té una resistència (R_1 i R_2), podem posar el circuit equivalent del transformador de la manera indicada a la figura 2.4.

FIGURA 2.4. Circuit equivalent del transformador en càrrega



en què:

- U_1 = tensió a la qual es connecta el primari del transformador, en V.
- I_1 = corrent pel circuit primari, en A
- Φ_C = flux comú al primari i al secundari, en Wb
- Φ_{DP} = flux de dispersió del primari (que s'estableix per l'aire), en Wb.
- Φ_{DS} = flux de dispersió del secundari (que s'estableix per l'aire), en Wb.
- E_1 = tensió generada a la bobina del primari, en V.

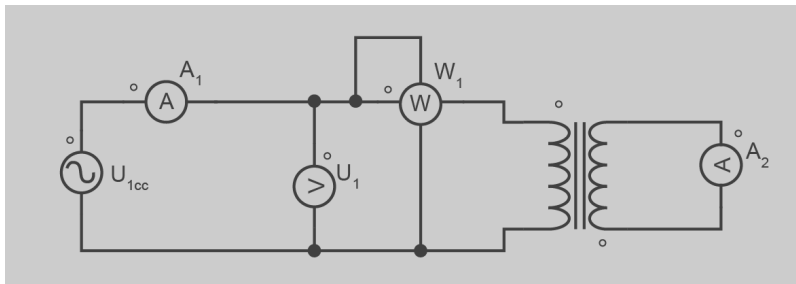
- E_2 = tensió generada a la bobina del secundari, en V.
- U_2 = tensió a la sortida del secundari, en V.

Es pot veure que la diferència entre U i E de cada bobinatge és la caiguda de tensió en la resistència i l'autoinducció del bobinatge.

Els valors de R_1 i R_2 es poden trobar mesurant les resistències dels bobinatges 1 i 2, respectivament, amb un òhmmetre.

Per fer l'assaig de curtcircuit s'ha d'efectuar el muntatge de la figura 2.5.

FIGURA 2.5. Circuit per fer l'assaig de curtcircuit del transformador monofàsic



L'assaig es fa incrementant des de 0 V la tensió del generador fins que per l'amperímetre passi la intensitat nominal del primari. En aquest moment es llegeixen la resta d'aparells, que ens donaran:

- A_1 = intensitat nominal del primari, en A
- U_1 = tensió de curtcircuit, en V
- W_1 = pèrdues en l'assaig de curtcircuit (P_{CC}), en W
- A_2 = intensitat nominal del secundari, en A

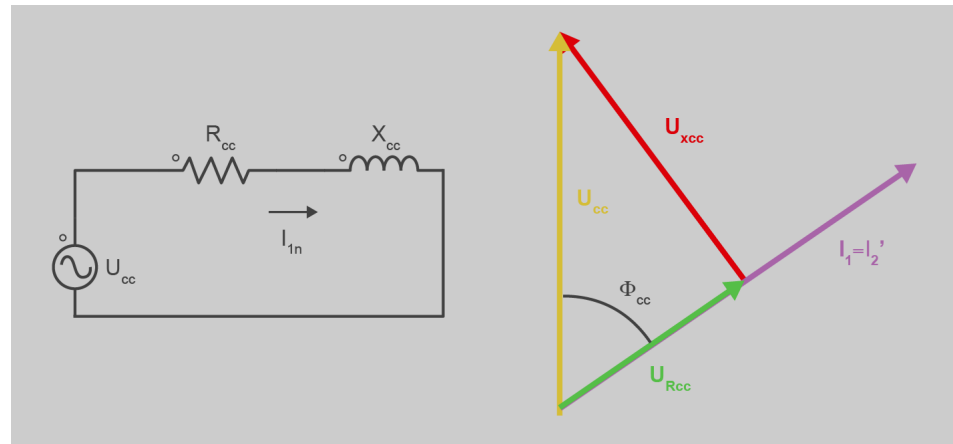
L'assaig de curtcircuit es fa a la intensitat nominal, i ens dona les pèrdues del coure. A més, ens permet trobar els valors de R_{CC} i X_{CC} .

Si l'assaig de buit no es fa a la intensitat nominal, caldrà adaptar els valors de U_{CC} , i P_{CC} per adaptar-los a la referència de la intensitat nominal.

Com que el valor de U_{1CC} és molt més petit que el de U_{1N} , podem negligir les pèrdues que es produeixen en el ferro, i per tant considerar que W_1 ens dona les pèrdues en els debanats primari i secundari, o les pèrdues en el coure. Dit d'una altra manera, els valors de R_{Fe} i X_{μ} són molt grans, i per tant hi passa una intensitat negligible quan fem l'assaig de curtcircuit.

El circuit equivalent del transformador en curtcircuit es pot posar com una bobina en sèrie amb una resistència, com es mostra a la figura 2.6.

FIGURA 2.6. Circuit equivalent del transformador a l'assaig de curtcircuit i diagrama equivalent de les caigudes de tensió



en què:

- R_{CC} és la resistència equivalent dels bobinatges primari i secundari.
- X_{CC} és la reactància equivalent dels bobinatges primari i secundari.
- U_{CC} és la tensió de curtcircuit.
- U_{Rcc} és la caiguda de tensió a R_{CC} .
- U_{Xcc} és la caiguda de tensió a la X_{CC} .

Si dibuixem el gràfic d'impedància del circuit veiem que la impedància X_{CC} i la resistència R_{CC} estan a 90° , i per tant la impedància Z_{CC} està a un angle φ_{CC} de la tensió U_{CC} . La figura 2.7 mostra el diagrama d'impedàncies del transformador en curtcircuit.

En aquest circuit tenim les lectures del wattímetre, l'amperímetre i el voltímetre, que ens donen la potència, la intensitat i la tensió del circuit, respectivament. La relació entre les tres magnituds es pot posar com:

$$P_{CC} = U_{CC} \cdot I_{1N} \cdot \cos \varphi_{CC}$$

d'on:

$$\cos \varphi_{CC} = \frac{P_{CC}}{U_{CC} \cdot I_{1N}}$$

i ara podem trobar les caigudes de tensió a cada component:

$$U_{Rcc} = U_{CC} \cdot \cos \varphi_{CC}$$

d'on trobem:

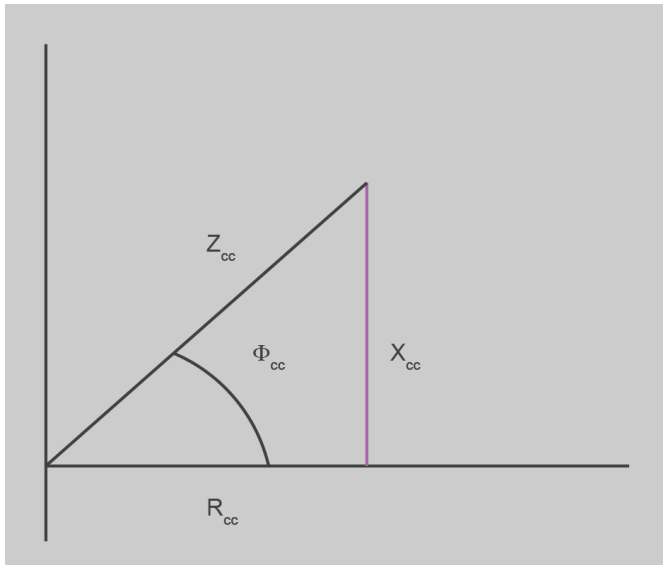
$$R_{CC} = \frac{U_{Rcc}}{I_{1N}}$$

$$U_{Xcc} = U_{CC} \cdot \sin \varphi_{CC}$$

d'on trobem:

$$X_{CC} = \frac{U_{X_{cc}}}{I_{1N}}$$

FIGURA 2.7. Diagrames d'impedàncies de l'assaig de curtcircuit



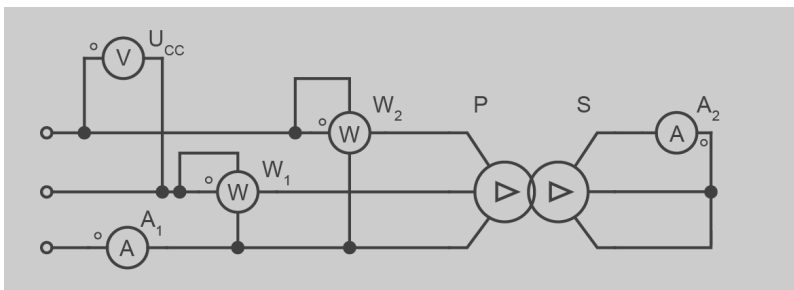
Assaig en curtcircuit d'un transformador trifàsic

Per a l'assaig de curtcircuit d'un transformador trifàsic s'ha de fer el circuit de la figura 2.8. Es parteix de $U = 0$ i s'incrementa el seu valor fins que per l'amperímetre A_1 passi la I_{1N} .

En aquest cas, dels aparells de mesura obtenim:

- $A_{1N} = I_{1N}$ del transformador
- $W_{1N} + W_{2N} = P_{CC}$ = pèrdues en el coure del transformador
- $V_{1N} = U_{CC1}$ tensió de curtcircuit del primari del transformador
- $A_{2N} = I_{2N}$ del transformador

FIGURA 2.8. Circuit per a l'assaig de curtcircuit del transformador trifàsic



Es pot referir aquest assaig al d'un transformador monofàsic transformant les tres normes següents:

1. Agafar les tensions de fase, com si el transformador estigués connectat en estrella (encara que estigui en triangle): $U_F = U_L / \sqrt{3}$.

2. Agafar la potència de cada fase ($P_{trifasic} / 3$).
3. Calcular els valors com si fos monofàsic.

En aquest cas la relació és:

$$U_{CC} = \frac{U_{CC1}}{\sqrt{3}}$$

$$P_{CC1} = \frac{P_{CC}}{3}$$

i d'aquí podem deduir:

$$\cos \varphi_{CC} = \frac{P_{CC1}}{V_{CC} \cdot I_{1N}}$$

i ara:

$$U_{Rcc} = U_{CC} \cdot \cos \varphi_{CC}$$

i d'aquí:

$$R_{CC} = \frac{U_{Rcc}}{I_{1N}}$$

$$U_{Xcc} = U_{CC} \cdot \sin \varphi_{CC}$$

i d'aquí:

$$X_{CC} = \frac{U_{Xcc}}{I_{1N}}$$

Aquests valors de caiguda de tensió a la resistència R_{CC} i la reactància inductiva X_{CC} es poden donar amb valors absoluts o valors relatius a la tensió nominal del transformador. En aquest cas es denominen amb una ε :

$$\varepsilon_{Rcc} = \frac{U_{Rcc}}{U_{1N}}$$

i en percentatge:

$$\varepsilon_{Rcc}\% = \frac{U_{Rcc}}{U_{1N}} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{Xcc} = \frac{U_{Xcc}}{U_{1N}}$$

i en percentatge:

$$\varepsilon_{Xcc}\% = \frac{U_{Xcc}}{U_{1N}} \cdot 100$$

$$\varepsilon_{CC} = \frac{U_{CC}}{U_{1N}}$$

i en percentatge:

$$\varepsilon_{CC}\% = \frac{U_{CC}}{U_{1N}} \cdot 100$$

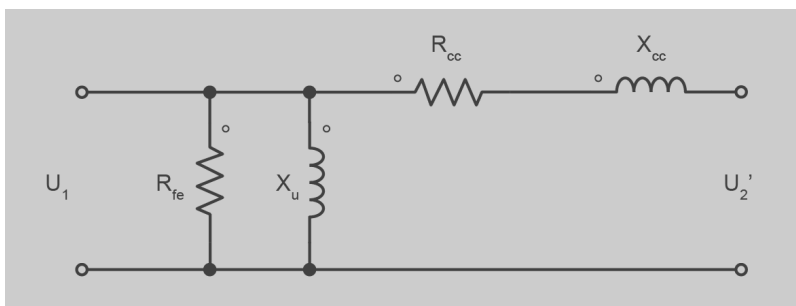
Els valors relatius són més representatius que els absoluts. Penseu que no és el mateix una caiguda de tensió de 20 V en un transformador de $U_{1N} = 100$ V que en un transformador de 2.000 V.

Amb les dades obtingudes de l'assaig de buit i curtcircuit del transformador obtenim les dades per dibuixar el circuit equivalent del transformador.

Valors d'impedàncies referits a tensions diferents

Els assajos en buit i en curtcircuit d'un transformador trifàsic ens proporcionen mesures que ens permeten calcular els valors de les resistències i inductàncies equivalents del transformador que mostra la figura 2.9.

FIGURA 2.9. Circuit equivalent del transformador



En aquest circuit tenim tots els valors dels components referits a la tensió del primari.

En algunes ocasions es disposa dels valors absoluts de les resistències i inductàncies dels circuits primari i secundari per separat. Quan el transformador es connecta a un circuit extern, tots dos bobinats estan connectats a tensions diferents. Per facilitar el càlcul, es solen referir els valors de totes les resistències i inductàncies a una sola tensió (la del primari o la del secundari)

Si tenim les resistències i inductàncies del bobinatge primari a una tensió U_1 , mentre que les del secundari estan a una tensió U_2 , podem referir-les a una mateixa tensió de referència de la forma següent: Una impedància Z_2 que estigui a una tensió U_2 consumirà la mateixa potència que una impedància Z'_2 que estigui connectada a una tensió U'_2 d'un valor donat per:

$$Z'_2 = Z_2 \cdot \left(\frac{U'_2}{U_2}\right)^2$$

O sigui, que en el cas del transformador, on $m = U_1 = U'_2$:

$$\bullet R_{CC1} = R_1 + R_2 \cdot m^2$$

$$\bullet X_{CC1} = X_1 + X_2 \cdot m^2$$

$$\bullet Z_{CC1} = \sqrt{R_{CC}^2 + X_{CC}^2}$$

Z_{CC1} és la impedància de curtcircuit del transformador referida a la tensió del primari.

Si volem referir la impedància de curtcircuit a la tensió del secundari posarem:

$$Z_{CC2} = Z_{CC1} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2$$

D'aquesta manera es poden sumar les impedàncies del primari i del secundari del transformador, ja que les tenim referenciades a la mateixa tensió (en aquest cas la tensió del primari).

De l'assaig de curtcircuit podem obtenir dades molt importants per a l'exploració del transformador, com són:

- Pèrdues al coure
- Caiguda de tensió
- Corrent de curtcircuit
- Rendiment
- Índex de càrrega de màxim rendiment

Pèrdues en el coure d'un transformador

Com R_{CC} representa la resistència dels bobinatges del transformador referida al primari, tenim:

Si pel transformador passa la I_{1N} :

$$P_{Cu} = R_{CC} \cdot I_{1N}^2 = P_{CC}$$

En general, si pel transformador passa una I_1 diferent de la I_{1N} :

$$P_{Cu} = R_{CC} \cdot I_1^2 \cdot \frac{I_{1N}^2}{I_{1N}^2} = R_{CC} \cdot I_{1N}^2 \cdot \frac{I_1^2}{I_{1N}^2} = P_{CC} \cdot c^2$$

en què c és índex de càrrega:

$$c = \frac{I_1^2}{I_{1N}^2}$$

O sigui, que si per un transformador passa la meitat de la intensitat nominal ($c = 0,5$), s'hi produeixen unes pèrdues en el coure de:

$$P_{Cu} = P_{CC} \cdot c^2 = P_{CC} \cdot 0,5^2 = 0,25 \cdot P_{CC}$$

Una quarta part de les pèrdues en condicions nominals.

Caiguda de tensió d'un transformador

Si observeu el circuit equivalent del transformador podreu veure que si per un transformador fem passar una intensitat I_{1N} (o sigui, si treballa en condicions nominals) s'hi produeix una caiguda de tensió igual que la de l'assaig en curtcircuit U_{CC} . Si hi passa una intensitat diferent de la nominal, la caiguda de tensió serà:

$$\Delta U_1 = I_1 \cdot Z_{CC} = \frac{I_1}{I_{1N}} \cdot Z_{CC} \cdot I_{1N} = c \cdot U_{CC}$$

en què:

- ΔU_1 = caiguda de tensió referida al primari
- c = índex de càrrega

Si volem referir aquesta caiguda de tensió a la tensió del secundari, hem de posar:

$$\Delta U_2 = \Delta U_1 \cdot \frac{U_{2N}}{U_{1N}}$$

Intensitat de curtcircuit

Si en el secundari d'un transformador es produeix un curtcircuit, pel primari del transformador passarà una intensitat de curtcircuit, que està determinada per:

$$I_{1cc} = \frac{U_{1N}}{Z_{1cc}}$$

I pel secundari un altre corrent determinat per:

$$I_{2cc} = I_{1cc} \cdot m$$

Rendiment d'un transformador

Els grans transformadors són màquines d'un rendiment molt gran. Per avaluar-lo hem de tenir en compte que les pèrdues que s'hi produeixen són les del ferro i les del coure. Les pèrdues en el ferro depenen de la tensió del primari i les podem considerar com a constants, mentre que les del coure depenen de l'índex de càrrega. El rendiment d'un transformador el podem posar com:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_L}$$

P_{out} és la potència de sortida i P_L la potència de pèrdues. Podem treballar aquesta fórmula:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} = \\ &= \frac{U_2 \cdot c \cdot I_{2N} \cdot \cos \varphi_2}{U_2 \cdot c \cdot I_{2N} \cdot \cos \varphi_2 + P_{Fe} + c^2 \cdot P_{CC}} = \\ &= \frac{U_2 \cdot I_{2N} \cdot \cos \varphi_2}{U_2 \cdot I_{2N} \cdot \cos \varphi_2 + \frac{P_{Fe}}{c} + c \cdot P_{CC}} \end{aligned}$$

Índex de càrrega de màxim rendiment

L'índex de càrrega que dóna el rendiment màxim l'obtenim amb la fórmula següent:

$$c_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{CC}}}$$

Exemple de càlcul de l'índex de càrrega

S'assaja un transformador de 200 kVA, 25.000 / 400 i n'obtenim $P_0 = P_{Fe} = 1.100 \text{ W}$ i $P_{CC} = 6.000 \text{ W}$. Calculeu l'índex de càrrega que dóna el rendiment màxim.

Solució

L'índex de càrrega que dóna el rendiment màxim és:

$$c = 0,4281$$

O sigui, que el rendiment màxim s'obté quan el transformador treballa a un 42,8% de la seva intensitat nominal.

El rendiment òptim es dóna si c és el de rendiment màxim i $\cos \varphi_2 = 1$.

2.2 Manteniment i reparació de transformadors

Un transformador és una màquina elèctrica cara i pesada. Si es limiten els valors de treball dintre dels valors nominals i se'n fa un manteniment correcte, se n'assegura un funcionament estable i prolongat al llarg del temps. Per tant, el manteniment és una eina essencial per aconseguir un funcionament òptim del transformador i la continuïtat del subministrament essencial per a la producció industrial, la seguretat, etc.

2.2.1 Documents utilitzats per al manteniment de transformadors

Un bon servei de manteniment ha esdevingut una eina fonamental per assegurar la continuïtat i la qualitat en la fabricació.



Símbol de certificació de qualitat



Símbol de certificació mediambiental

Per a empreses dedicades al manteniment industrial, l'obtenció d'una certificació de qualitat que acrediti el servei que ofereixen és una bona carta de presentació a l'hora de competir per obtenir un contracte de manteniment.

El tècnic de manteniment ha d'assegurar que la màquina o instal·lació faci la seva funció de manera contínua, fiable i que compleixi totes les mesures de seguretat establertes per la legislació vigent.

Tot i que cada empresa té els seus protocols d'actuació i els seus documents de manteniment, hi ha una sèrie d'actuacions comunes que s'han de portar a terme quan s'ha de fer una operació de manteniment.

El manteniment pot ser de tipus **preventiu** o **correctiu**.

El manteniment **preventiu** està destinat a evitar que el deteriorament habitual d'alguns components de les màquines n'afecti el funcionament, i es fa de manera programada.

Si la reparació requereix l'aturada no programada per efectuar una substitució imprevista d'alguna part (reparació d'avaries), direm que es tracta d'una intervenció de manteniment **correctiu**.

Totes les màquines tenen certes parts que, a causa de la fricció en el moviment rotatiu o per estar sotmeses a escalfament, tensions o esforços mecànics, pateixen un deteriorament que n'aconsella la substitució periòdica. El manteniment preventiu s'encarrega de l'observació sistemàtica d'aquestes parts de la màquina i de la mesura periòdica de magnituds elèctriques i mecàniques per deduir una possible disfunció que aconselli la reparació o substitució d'algun component. Algunes operacions de manteniment preventiu es poden fer sense aturar la màquina, i d'altres requereixen una aturada programada.

Les intervencions de manteniment **correctiu** solen ser degudes a una disfunció imprevista o un accident del sistema.

Tant en el manteniment preventiu com en el correctiu, les mesures de seguretat i protecció mediambientals han esdevingut prioritàries.

Les intervencions de manteniment poden ser complexes i requerir la col·laboració de més d'un tècnic. L'hàbit del treball en equip és una eina bàsica per a qualsevol tècnic.

2.2.2 Elaboració de plans de manteniment

En l'elaboració de plans de manteniment s'han de tenir en compte la planificació tècnica de materials i personal especialitzat, els permisos administratius, la temporització i les operacions que s'hi han de fer. A més a més, s'han de prendre les mesures de seguretat i mediambientals reglamentàries a cada operació.

2.2.3 Fases del manteniment preventiu de transformadors

En tot manteniment preventiu s'han de dur a terme com a mínim les fases següents per a assegurar la qualitat en tot el procés:

1. **Planificar el treball amb antelació.** Si s'ha de produir l'aturada i desconexió del transformador de la xarxa, s'han de sol·licitar tots els permisos i fer els avisos reglamentats.
2. **Recopilació d'informació tècnica** de la màquina: manuals i plànols de situació, esquemes de connexió.
3. **Llista d'operacions de manteniment** i periodicitat exacta.
4. **Llista de material necessari** per efectuar les operacions habituals, i també la indicació del temps previst per a l'operació de manteniment.
5. **Mesures de seguretat** personals i mediambientals que s'han de prendre en cada cas.
6. **Formulari** en què s'indica l'estat de les parts observades de la màquina i les operacions que s'hi han fet.

2.2.4 Operacions habituals en el manteniment de transformadors

Encara que cada instal·lació tingui característiques específiques, habitualment s'han de fer les operacions següents:

1. Desconnectar l'equip de la xarxa, prenent totes les mesures de seguretat oportunes.
2. Comprovar la temperatura.
3. Comprovar la pressió interna del transformador.
4. Comprovar totes les proteccions de sobrecorrent, fugues a terra i diferencial.
5. Comprovar l'estat de tots els indicadors i alarmes.
6. Revisar el nivell d'oli i les possibles fugues.
7. Comprovar, netejar i ajustar totes les connexions elèctriques, fixacions, suports, etc.
8. Comprovar i netejar els aïlladors i observar possibles esquerdes.
9. Comprovar i netejar el sistema de refrigeració, ventiladors i radiadors.
10. Netejar els elements externs, en especial aquells que es poden oxidar.

11. Prendre una mostra de l'oli per ser analitzada.

L'oli passa per totes les parts del transformador. Si com a conseqüència d'un accident es produeix una elevació de temperatura més enllà de 140 °C, l'oli es descompon. Amb una anàlisi d'aquest oli es pot determinar la causa de l'accident. La norma de la Comissió Electrotècnica Internacional (CEI) 599 estableix la guia d'interpretació dels resultats de les anàlisis, que permet la identificació del tipus de defecte en transformadors amb oli mineral. En totes les intervencions en les quals es manipuli l'oli i, per tant, es pugui vessar, s'han de prendre totes les mesures de seguretat i mediambientals que marqui la normativa vigent.

Una de les operacions més delicades des del punt de vista mediambiental és la recollida de mostres d'oli del transformador, per la possibilitat que es produeixi un vessament. L'operació s'ha de planificar acuradament, i s'han de prendre les mesures adients per evitar aquest possible vessament. Una revisió prèvia de l'estat de la vàlvula de sortida de l'oli i un recipient contenidor de l'oli que es pugui vessar, de dimensions adients, poden prevenir accidents.

2.2.5 Qualitat en l'elaboració de documentació tècnica de transformadors

Tota operació de manteniment s'ha de documentar emplenant un formulari estandaritzat. Tot i que cada empresa sol tenir els seus formats de documents interns, el formulari acostuma a tenir, com a mínim, els apartats següents:

- Placa de característiques:
 - Fabricant
 - Número de sèrie
 - Potència
 - Nombre de fases
 - Connexions
 - Intensitats
 - $\cos \varphi$
- Data en què s'efectua l'operació de manteniment
- Inspecció visual de les parts actives:
 - Indicació del nivell d'oli
 - Termòmetres
 - Estat de les bornes
 - Estat del ventilador
 - Estat del radiador
 - Vàlvula de seguretat

- Mesures d'aïllaments i resistències.
- Anàlisi de les vibracions i sorolls
- Si s'ha observat alguna fallada, les possibles causes
- Presa de mostra d'oli per analitzar-la al laboratori

FIGURA 2.10. Exemple de formulari de diagnòstic d'un transformador

REGISTRE DE TRANSFORMADORS DE DISTRIBUCIÓ					
GENERALITATS					
1) Té report de dipòsit <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> no		2) Empresa Energia <input type="text"/>			
3) N° Transf. <input type="text"/>		4) Sèrie <input type="text"/>		5) kVA <input type="text"/>	
		6) Fases <input type="text"/>		7) Fabricant <input type="text"/>	
8) Nom del taller <input type="text"/>			9) Adreça <input type="text"/>		
10) Entrada al taller <input type="text"/> Dia <input type="text"/> Mes <input type="text"/> Any <input type="text"/>			11) Revisió Transf. <input type="text"/> Dia <input type="text"/> Mes <input type="text"/> Any <input type="text"/>		
PART ACTIVA					
		Bona Cremada Oberta		Bona Cremada Oberta	
12) Connexió Alta Tensió <input type="text"/>		<input type="text"/>		13) Connexió Baixa Tensió <input type="text"/>	
14) Debanat Primari <input type="text"/>		<input type="text"/>		15) Debanat Secundari <input type="text"/>	
MATERIAL AÏLLANT					
		Bo Regular Dolent		Bo Regular Dolent	
16) Paper <input type="text"/>		<input type="text"/>		17) Esmalts <input type="text"/>	
18) Altres <input type="text"/>		<input type="text"/>		Especifiqueu <input type="text"/>	
19) NUCLI					
		Bo Perforat Desajustat Oxidat Incomplet Solt Altre			
<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
20) CAUSA DEFINITIVA DE LA FALLA					
Sobrecàrrega <input type="text"/>		Accident <input type="text"/>		Desajustament de debanats <input type="text"/>	
Curtcircuit en AT <input type="text"/>		Mala operació <input type="text"/>		Sobretensió <input type="text"/>	
Curtcircuit en BT <input type="text"/>		Fuga d'oli <input type="text"/>		Corrosió <input type="text"/>	
Descàrrega atmosfèrica <input type="text"/>		Manipulació <input type="text"/>		Humitat <input type="text"/>	
Problemes de muntatge <input type="text"/>		Disseny <input type="text"/>		Vandalisme <input type="text"/>	
Incendi sense curtcircuit <input type="text"/>		Contaminació <input type="text"/>		No se sap <input type="text"/>	
Envel·liment del material <input type="text"/>		Nucli deteriorat <input type="text"/>		Altre <input type="text"/>	
				Quin <input type="text"/>	

A la figura 2.10 podeu observar un possible formulari diagnòstic del transformador després de la inspecció visual.

Un cop fet el diagnòstic en l'operació de manteniment, s'emplena un formulari amb els treballs que cal fer. A la figura 2.11 podeu trobar un exemple d'aquest tipus de formulari.

FIGURA 2.11. Exemple de formulari de manteniment d'un transformador

TREBALLS A REALITZAR

Col·locació de placa		Accessoris														
		NETEJAR			REPARAR			CANVIAR								
INDICADOR DE NIVELL	EMPAQUETAMENT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
TERMÒMETRE	INDICADOR DE NIVELL			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
BORNA DE TERRA	VÀLVULA SEGURETAT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
CSP (AUTOPROTEC)	COMMUTADOR			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
PINTURA INTERIOR	RADIADOR			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
EMPAQUETATGE TAPA-TANC	VENTILADOR			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
EMPAQUETATGES AT	BOIXES AT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
EMPAQUETATGES BT	BOIXES BT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		

Col·locació de placa		TANC														
		NETEJAR			REPARAR			PINTAR			ACCESSORIS (ADDITIONALS)					
T. PRINCIPAL	VÀLVULA SEGURETAT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
RADIADORS	COMMUTADOR			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
		D'ACCIONAMENT EXTERN			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		
		DISPOSITIU DE PURGAT			.....			NETEJAR			REPARAR			CANVIAR		

DEBANATS		PART ACTIVA (BORNES, NUCLI)						NUCLI								
		U		V		W		PROVAR			NETEJAR			REPARAR		
		AT	BT	AT	BT	AT	BT	ARMAR			INSERVIBLE			.....	
TREBALL								ARMAR			INSERVIBLE			.....	
CANVIAR								DONAR DE BAIXA			EL TRANSFORMADOR			.....	
RENTAR								DONAR DE BAIXA			EL TRANSFORMADOR			.....	
EIXUGAR								DONAR DE BAIXA			EL TRANSFORMADOR			.....	
MUNTAR								DONAR DE BAIXA			EL TRANSFORMADOR			.....	
SORTIDES								DONAR DE BAIXA			EL TRANSFORMADOR			.....	

OBSERVACIONS

.....

.....

2.2.6 Eines i equips per al manteniment dels transformadors

Un bon manteniment requereix disposar d'eines de qualitat adients per a cada operació de manteniment. Tot i això, és habitual disposar d'eines generals o polivalents, com clau anglesa o alicates universals. Actualment es disposa d'aparells sofisticats, com visors d'infrarojos per veure els punts calents d'una màquina, i programes de manteniment per ordinador, amb bases de dades incloses per documentar les intervencions.

Com més va esdevé més important la utilització de l'ordinador amb programes de manteniment per diagnosticar les màquines, i el diagnòstic a distància per Internet. No obstant això, després del diagnòstic, la major part d'intervencions pròpiament dites se solen fer amb eines convencionals.

Les eines i aparells de mesura habituals per a les operacions de manteniment de transformadors són:

- Joc de claus més habituals.
- Tornavisos de diferents mides.



Eines per a mesures i anàlisi termogràfica: càmeres tèrmiques (imatge cortesia de <http://www.pce-iberica.es>)

- Equip d'eines per a la reparació de connexions elèctriques i material aïllant.
- Megaòhmmetre per mesurar l'aïllament.
- Polímetre per mesurar tensions, intensitats i continuïtats de debanats.
- Tubs d'assaig o ampolles per posar les mostres d'oli i contenidor per recollir les possibles pèrdues d'oli en la presa de mostres.
- Càmeres termogràfiques.
- Ordinador amb programa de diagnosi i gestió.

2.3 Prevenció de riscos laborals i protecció ambiental en les operacions de muntatge i manteniment de màquines elèctriques

Tant la **Direcció General de Relacions Laborals** adscrita al **Departament de Treball** de la Generalitat de Catalunya com l'**Institut Nacional de Seguretat i Higiene** han publicat treballs amb la finalitat de difondre els procediments per identificar els riscos laborals i incrementar la cultura de la seguretat al lloc de treball.

La publicació de la **Llei 31/1995**, de 8 de novembre, de prevenció de riscos laborals (**LPRL**) va introduir, entre d'altres, l'obligació de l'empresari d'avaluar els riscos derivats del treball.

L'article 4.2 de la Llei de prevenció de riscos laborals defineix com a **risc laboral** la possibilitat que un treballador pateixi un dany derivat del treball.

Per qualificar el risc des del punt de vista de la seva gravetat, s'haurà de valorar conjuntament la probabilitat que es produeixi aquest dany i la seva severitat. En una primera aproximació a la tècnica de l'avaluació de riscos, el mes d'agost de 1996 el Departament de Treball va editar una metodologia d'avaluació, la **Guia d'avaluació de riscos per a petites i mitjanes empreses**, que, en l'essencial, continua essent vàlida. No obstant això, d'acord amb la sol·licitud de les organitzacions sindicals i empresarials, es van iniciar els treballs d'elaboració d'una guia amb un abast més ampli, que inclogués metodologies per avaluar riscos de seguretat, higiènics, ergonòmics i psicosocials.

2.3.1 Identificació de riscos

Actualment es reconeix que l'avaluació de riscos és la base per a una gestió activa de la seguretat i la salut en el treball. De fet, la **Llei 31/1995** de prevenció de riscos laborals, que trasllada la **Directiva marc 89/391/CEE**, estableix com una obligació de l'empresari:

1. Planificar l'acció preventiva a partir d'una avaluació inicial de riscos.
2. Avaluar els riscos a l'hora de triar els equips de treball, substàncies o preparats químics i del condicionament dels llocs de treball.

L'avaluació dels riscos laborals és el procés dirigit a estimar la magnitud d'aquells riscos que no s'hagin pogut evitar, i s'obté la informació necessària perquè l'empresari estigui en condicions de prendre una decisió apropiada sobre la necessitat d'adoptar mesures preventives i, en tal cas, sobre el tipus de mesures que s'han d'adoptar.

En sentit general i admetent un cert risc tolerable, mitjançant l'avaluació de riscos s'ha de donar resposta a la pregunta: *és segura la situació de treball analitzada?*

El procés d'avaluació de riscos es compon de les etapes següents:

1. Anàlisi del risc, mitjançant el qual s'identifica el perill o s'estima el risc, valorant conjuntament la probabilitat i les conseqüències que es materialitzi aquest perill. L'anàlisi del risc proporcionarà l'ordre de magnitud del risc.
2. Valoració del risc: amb el valor del risc obtingut, i comparant-lo amb el valor del risc tolerable, s'emet un judici sobre la **tolerabilitat** del risc en qüestió. Si de l'avaluació del risc es dedueix que el risc és no tolerable, caldrà controlar aquest risc. El procés conjunt d'**avaluació del risc i control del risc** se sol denominar **gestió del risc**. A la taula 2.1 podeu veure la relació entre la probabilitat i les conseqüències per determinar la tolerabilitat del risc.

TAULA 2.1. Determinació dels nivells de risc

	Conseqüències		
	Lleugerament danyós	Danyós	Extremadament danyós
Probabilitat baixa (B)	Risc trivial T	Risc tolerable TO	Risc moderat MO
Probabilitat mitjana (M)	Risc tolerable TO	Risc moderat MO	Risc important I
Probabilitat alta (A)	Risc moderat MO	Risc important I	Risc intolerable IN

En la **Norma EN 1050:1997** (*Seguretat de les màquines. Principis per a l'avaluació del risc, d'aplicació a l'avaluació del risc en màquines*) s'aplica un model com el descrit en el paràgraf anterior. D'acord amb el que es disposa en el capítol VI de l'**RD 39/1997**, l'avaluació de riscos solament podrà ser feta per personal professionalment competent. S'ha de fer amb una bona planificació i mai no s'ha d'entendre com una imposició burocràtica, ja que no és una finalitat en si mateixa, sinó un mitjà per decidir si cal adoptar mesures preventives. Si de l'avaluació de riscos es dedueix la necessitat d'adoptar mesures preventives, s'haurà de fer el següent:

1. Eliminar o reduir el risc, mitjançant mesures de prevenció en l'origen, organitzatives, de protecció col·lectiva, de protecció individual o de formació i informació als treballadors.
2. Controlar periòdicament les condicions, l'organització i els mètodes de treball, i l'estat de salut dels treballadors. D'acord amb l'article 33 de la **Llei de prevenció de riscos laborals**, l'empresari haurà de consultar els representants dels treballadors, o els treballadors mateixos en absència de representants, sobre el procediment d'avaluació que cal fer servir en l'empresa o centre de treball.

L'avaluació de riscos ha de ser un procés dinàmic. L'avaluació inicial s'ha de revisar quan així ho estableixi una disposició específica i quan s'hagin detectat danys a la salut dels treballadors, o bé quan les activitats de prevenció puguin ser inadequades o insuficients. Per a això s'haurien de considerar els resultats del següent:

1. Investigació sobre les causes dels danys per a la salut dels treballadors
2. Les activitats per a la reducció i el control dels riscos
3. L'anàlisi de la situació epidemiològica

A més del que hem descrit, les avaluacions s'haurien de revisar periòdicament, amb la periodicitat que s'acordi entre l'empresa i els representants dels treballadors.

Finalment, l'avaluació de riscos ha de quedar documentada, i s'ha de reflectir, per a cada lloc de treball, l'avaluació del que posi de manifest la necessitat de prendre una mesura preventiva, amb les dades següents:

1. Identificació de lloc de treball
2. Risc o riscos existents
3. Relació de treballadors afectats
4. Resultat de l'avaluació i les mesures preventives procedents
5. Referència als criteris i procediments d'avaluació i dels mètodes de mesurament, anàlisi o assaig utilitzats, si escau.

A les publicacions de la Direcció General de Relacions Laborals es poden trobar diversos models de fitxes per poder documentar la informació necessària en relació amb:

1. L'empresa i les persones que han fet la valoració dels riscos laborals associats a un lloc de treball (figura 2.12)
2. La descripció del lloc de treball i la identificació de deficiències i correccions proposades (figura 2.13 i figura 2.14)

2.3.2 Mesures de seguretat i protecció

Com a criteri general primaran les proteccions col·lectives enfront de les individuals. A més, s'hauran de mantenir en bon estat de conservació els mitjans auxiliars, la maquinària i les eines de treball. D'altra banda, els mitjans de protecció hauran d'estar homologats segons la normativa vigent.

Tanmateix, les mesures relacionades s'hauran de tenir en compte per als treballs posteriors previsibles (reparació, manteniment...).

Són mesures de **protecció col·lectiva**:

1. Organització i planificació dels treballs per evitar interferències entre les diferents feines i circulacions dins l'obra.
2. Senyalització de les zones de perill.
3. Respectar les distàncies de seguretat amb les instal·lacions existents.
4. Els elements de les instal·lacions han d'estar amb les seves proteccions aïllants.
5. Revisió periòdica i manteniment de maquinària i equips d'obra.
6. Col·locació de baranes de protecció en llocs amb perill de caiguda.
7. Col·locació de xarxes en forats horitzontals.
8. Protecció de forats i façanes per evitar la caiguda d'objectes (xarxes, lones).
9. Ús de canalitzacions d'evacuació de runes, correctament instal·lades.
10. Ús d'escales de mà, plataformes de treball i bastides.
11. Col·locació de plataformes de recepció de materials en plantes altes.

Són mesures de **protecció individual**:

1. Utilització de caretes i ulleres homologades contra la pols o projecció de partícules.
2. Utilització de calçat de seguretat.
3. Utilització de casc homologat.
4. A totes les zones elevades on no hi hagi sistemes fixos de protecció caldrà establir punts d'ancoratge segurs per poder subjectar el cinturó de seguretat homologat, la utilització del qual serà obligatòria.
5. Utilització de guants homologats per evitar el contacte directe amb materials agressius i minimitzar el risc de talls i punxades.

6. Utilització de protectors auditius homologats en ambients excessivament sorollosos.
7. Utilització de davantals.
8. Sistemes de subjecció permanent i de vigilància de més d'un operari en els treballs amb perill d'intoxicació. Utilització d'equips de subministrament d'aire.

Són mesures de **protecció a tercers**:

1. Tancament, senyalització i enllumenat de l'obra. En cas que el tancament envaeixi la calçada s'ha de preveure un passadís protegit per al pas de vianants. El tancament ha d'impedir que persones alienes a l'obra puguin entrar.
2. Preveure el sistema de circulació de vehicles tant a l'interior de l'obra com en relació amb els vials exteriors.
3. Immobilització de camions mitjançant falques o topalls durant les tasques de càrrega i descàrrega.
4. Comprovació de l'adequació de les solucions d'execució a l'estat real dels elements (subsòl, edificacions veïnes).
5. Protecció de forats i façanes per evitar la caiguda d'objectes (xarxes, lones).

2.3.3 Protecció enfront el risc elèctric

El **Reial decret 614/2001** de 8 de juny marca les disposicions mínimes per a la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors davant el risc elèctric (**BOE 148**, de 21-6-2001).

Aquest Reial decret estableix:

- **Obligacions de l'empresari:** l'empresari ha d'adoptar les mesures necessàries perquè de la utilització o la presència de l'energia elèctrica als llocs de treball no derivin riscos per a la salut i la seguretat dels treballadors o, si això no és possible, perquè aquests riscos es redueixin al mínim.
- **Instal·lacions elèctriques:**
 - El tipus d'instal·lació elèctrica d'un lloc de treball s'ha d'adaptar a les condicions específiques del lloc.
 - Als llocs de treball només es poden utilitzar equips elèctrics per als quals el sistema o el mode de protecció previstos pel seu fabricant sigui compatible amb el tipus d'instal·lació elèctrica existent.

- Les instal·lacions elèctriques dels llocs de treball s’han d’utilitzar i mantenir de manera adequada.
- En qualsevol cas, les instal·lacions elèctriques dels llocs de treball i el seu ús i manteniment han de complir la normativa aplicable.
- **Tècniques i procediments de treball:** les tècniques i els procediments emprats per treballar en instal·lacions elèctriques, o a la seva rodalia, s’han d’establir tenint en consideració l’avaluació dels riscos que pugui comportar la feina. Qualsevol feina en una instal·lació elèctrica, o a la seva rodalia, que comporti un risc elèctric, s’ha d’efectuar sense tensió, excepte en els casos que s’indiquen seguidament:
 - Les operacions elementals, com per exemple connectar i desconectar, en instal·lacions de baixa tensió amb material elèctric concebut perquè el públic en general l’utilitzi immediatament i sense riscos.
 - Les feines en instal·lacions amb tensions de seguretat.
 - Les maniobres, els mesuraments, els assajos i les verificacions la naturalesa dels quals ho exigeixi.
 - Les feines en instal·lacions o prop d’instal·lacions les condicions d’exploració o de continuïtat del subministrament de les quals ho requereixin.
 - Les maniobres, els mesuraments, els assajos i les verificacions elèctriques.
 - Les feines que s’efectuïn prop d’elements en tensió s’han de considerar com a feines en tensió i aplicar-hi les disposicions corresponents.
 - Les feines que es duguin a terme en emplaçaments amb risc d’incendi o explosió, com també els processos en què es pugui produir una acumulació perillosa de càrrega electrostàtica, s’han d’efectuar prenent les mesures pertinents.
- **Formació i informació dels treballadors:** de conformitat amb els articles 18 i 19 de la Llei de prevenció de riscos laborals, l’empresari ha de garantir que els treballadors i els representants dels treballadors rebin una formació i una informació adequades sobre el risc elèctric, com també sobre les mesures de prevenció i protecció que s’han d’adoptar.
- **Compliment de la normativa** de protecció ambiental, de prevenció de riscos laborals i de seguretat enfront el risc elèctric: totes les activitats industrials s’han de portar a terme amb el compliment estricte de la normativa vigent, tant en l’aspecte de seguretat personal com mediambiental. La gestió de residus especials de laboratori està perfectament reglamentada en l’àmbit de la Unió Europea mitjançant les directives següents:
 - **Directiva comunitària 91/156/CEE**, de classificació de residus.

Per a més informació sobre aspectes normatius a escala europea es pot consultar el lloc web d’Europa. Aneu a la secció “Adreces d’interès” del material web.

Per a més informació sobre aspectes normatius es pot consultar la web de l’Agència Catalana de Residus, l’organisme competent dels residus que es generen a Catalunya. Aneu a la secció “Adreces d’interès” del material web.

- **Directiva 91/689/CEE**, de residus especials perillosos modificada per la **Directiva 94/31/CE** del Consell, de 27 de juny.

A Espanya hi ha diverses lleis i reials decrets relacionats amb els residus:

- **Llei d'aigües 29/1985**, que reglamenta el domini públic hidràulic i estableix els límits d'abocament.
- **Llei 20/1986**, bàsica de residus tòxics i perillosos, desenvolupada en el **Reial decret 833/1988**, de 20 de juliol, per la qual s'aprova el Reglament per a l'execució, i la modificació posterior pel **Reial decret 952/1997**, de 20 de juny.
- **Llei 10/1998** de residus.
- **Ordre de 13 d'octubre 1998** que determina el mètode per a la caracterització de residus perillosos.

2.4 Classificació dels residus generats per a la retirada selectiva

Tant en la fabricació com en el manteniment de màquines elèctriques es generen residus que poden ser perillosos per al medi ambient i, per tant, s'han de preveure procediments per minimitzar l'impacte ambiental que poden generar. Amb aquesta finalitat s'han d'habilitar mesures per dur a terme totes les fases de la gestió de manera controlada i segura. Aquestes fases poden variar en funció de les disponibilitats de cada empresa, però en general consten dels procediments següents:

1. Classificació i etiquetatge dels residus
2. Emmagatzematge dels residus
3. Retirada dels residus

2.4.1 Classificació i etiquetatge dels residus

Amb aquesta instrucció es defineix el procés per fer la classificació de residus perillosos generats en les operacions de manteniment i fabricació de màquines elèctriques, amb la finalitat de minimitzar el risc d'accident com a conseqüència d'una inadequada o incompatible agrupació en l'envasat de residus perillosos (taula 2.2). També es defineixen el procés i la metodologia d'acompliment, impressió i adhesió als envasos i de les etiquetes identificatives corresponents als residus perillosos.

TAULA 2.2. Grups i denominació de residus

Grup genèric	Denominació
Grup 1	Dissolvents halogenats
Grup 2	Dissolvents no halogenats
Grup 3	Solucions aquoses
Grup 4	Àcids
Grup 5	Sòlids
Grup 6	Olis
Grup 7	Especials
Grup 8	Vidre contaminat
Grup 9	Sanitaris

2.4.2 Emmagatzematge dels residus

En el procediment d'emmagatzematge de residus es defineix la sistemàtica per a un emmagatzematge correcte dels residus, que minimitzi els riscos sobre la seguretat i salut de l'usuari i sobre el medi ambient.

Tanmateix, es defineix el procés per fer una planificació correcta de la recollida de residus i la petició d'envasos i etiquetes, basada en l'acompliment dels registres per tal de conèixer la tipologia dels residus, i també el nombre i tipus d'envasos per part de les unitats productores que seran objecte de retirada.

2.4.3 Retirada dels residus

Es defineix el procés de retirada per fer un lliurament correcte dels residus a l'empresa gestora:

1. On s'han de lliurar.
2. En quines condicions s'ha de fer.
3. Com s'ha de documentar aquest lliurament.