

Manteniment i seguretat en màquines rotatives de corrent altern

Francesc Peralta Serrano

Màquines elèctriques

Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1 Manteniment, avaries, assajos i maniobres de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	9
1.1 Manteniment i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	9
1.1.1 Tècniques de manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	10
1.1.2 Detecció d'avaries, assajos, diagnosi i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	11
1.1.3 Assajos de predicció i recerca d'avaries en màquines elèctriques	19
1.1.4 Muntatge i manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern: recanvis, organització i treball en equip	25
1.1.5 Resolució de problemes en el manteniment i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	27
1.2 Assajos industrials	29
1.2.1 Assaig de buit i curtcircuit a l'alternador amb les seves corbes	30
1.2.2 Mesura de la resistència del bobinatge a l'alternador	31
1.2.3 Assaig de curtcircuit al motor	32
1.2.4 Assaig d'arrencada al motor	32
1.3 Maniobres de les màquines elèctriques rotatives de corrent altern	32
1.3.1 Regulació i control d'alternadors	33
1.3.2 Arrencada de motors síncrons	33
1.3.3 Arrencada de motors asíncrons	33
1.3.4 Parell i temps d'arrencada als motors de corrent altern	36
1.3.5 Codi d'arrencada als motors de gàbia	37
1.3.6 Organització en la realització de maniobres de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	39
2 Qualitat i seguretat de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	41
2.1 Qualitat i millora contínua de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	41
2.1.1 Qualitat en el muntatge industrial de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	43
2.1.2 Qualitat en la instal·lació i el manteniment	50
2.2 Seguretat i prevenció de riscos en les màquines elèctriques rotatives de corrent altern	51
2.2.1 Factors de risc elèctric	51
2.2.2 Prevenció	54
2.2.3 Mesures de protecció	55
2.2.4 Maneig d'eines manuals	58
2.2.5 L'electricitat estàtica	63
2.2.6 Normativa sobre seguretat i prevenció de riscos en les màquines elèctriques de corrent altern	64

Introducció

Les màquines rotatives elèctriques són, per ser dispositius amb peces en moviment, susceptibles de patir desgastaments en algunes parts, a més de poder provocar accidents, tant mecànics com elèctrics. Per prevenir-los s'han d'observar tota una sèrie de mesures de seguretat.

Això fa que sigui necessari el que s'anomena assaigs, entesos com una sèrie de proves que es fa passar a les màquines (tant les noves com les que han patit un avaria i posterior reparació) per tal d'assegurar que aconsegueixen les especificacions inicials. Des del punt de vista del fabricant, també poden servir per mesurar els paràmetres de la màquina sotmesa als assaigs. A més, s'han de dur a terme periòdicament tasques de manteniment i prevenció d'avaries, per tal d'assegurar que el funcionament de la màquina sempre estigui a dintre dels paràmetres requerits amb la màxima durabilitat possible.

D'una altra banda, es fa necessari que tota la documentació associada a la màquina contingui una informació concreta i formulada d'una manera concreta. D'això s'encarrega el camp de la qualitat.

En l'apartat "Manteniment, avaries, assajos i maniobres de màquines elèctriques rotatives de corrent altern" es fa una revisió més o menys exhaustiva d'operacions de manteniment i avaries, així com de diversos assaigs i també de maniobres que es realitzen amb motors, la més important de les quals és la maniobra d'arrencada.

En l'apartat "Qualitat i seguretat de màquines elèctriques rotatives de corrent altern" es veu la qualitat aplicada a la documentació de màquines elèctriques de corrent altern, a més de mostrar una visió bastant completa del camp de la seguretat aplicada a aquest tipus de màquines.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat, l'alumne/a:

1. Manté i repara màquines elèctriques rotatives de corrent altern realitzant comprovacions i ajusts per a la posada en servei.

- Classifica avaries característiques i els seus símptomes en màquines elèctriques rotatives de corrent altern.
- Utilitza mitjans i equips de localització d'avaries.
- Localitza l'avaría i proposat possibles solucions.
- Desenvolupa un pla de treball per a la reparació d'avaries.
- Realitza mesures elèctriques per a la localització d'avaries.
- Repara l'avaría.
- Verifica el funcionament de la màquina mitjançant assaigs.
- Substitueix escombretes, coixinets, entre d'altres.
- 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.

2. Realitza maniobres característiques en màquines elèctriques rotatives de corrent altern, interpretant esquemes i aplicant tècniques de muntatge.

- Prepara eines i equips.
- Acobla mecànicament les màquines de corrent altern.
- Munta circuits de comandament i força, per a les maniobres d'arrencada, inversió, entre d'altres.
- Connecta les màquines de corrent altern als diferents circuits.
- Mesura magnituds elèctriques.
- Analitza resultats de paràmetres mesurats.
- Té en compte la documentació tècnica.
- 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.
- Elabora un informe de les activitats realitzades i resultats obtinguts.
- Organitza les diferents fases del treball en la realització de maniobres de màquines rotatives de corrent altern.

1. Manteniment, avaries, assajos i maniobres de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

El context de manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern inclou reparació d'avaries i detecció, així doncs totes les tècniques de diagnosi, ja sigui abans o després de la posada en servei deriven en un protocol de qualitat en el manteniment i reparació de màquines elèctriques. Aquest protocol es nutreix de les maniobres i els assaigs normalitzats de màquines, de la regulació de velocitat, del control d'alternadors, de l'arrencada i el control de motors de CA. Totes les actuacions estan documentades segons el procés de qualitat i els documents generats retroalimenten l'elaboració de plans de manteniment i muntatge i a l'elaboració de plans de manteniment i muntatge de màquines elèctriques rotatives de corrent altern. Hem arribat a un bucle tancat de qualitat o qualitat continua.

1.1 Manteniment i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

La majoria de les avaries en motors són degudes als rodaments (vora el 70%), ja sigui per un muntatge inadequat, una lubricació incorrecta o esforços axials excessius.

Encara que la majoria de màquines tenen els rodaments amb coixinets de rodament (figura 1.1), també hi ha coixinets de lliscament o fricció en motors de dimensions grans, alta velocitat o molt esforç.

FIGURA 1.1. Coixinets de rodament



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

1.1.1 Tècniques de manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

El manteniment el classifiquem en els tipus següents:

- Preventiu
- Predictiu
- Correctiu (reparació)

Seràn operacions de manteniment **preventiu mecànic**:

- Netejar les aletes, directriu.
- Manteniment dels rodaments.
- Comprovació dels rodaments amb el dispositiu de reengreixament i dosificador de greix.
- Lubricació dels rodaments segons els tipus de greix i la temperatura.
- Verificació de la resistència d'escalfament.

Seràn operacions de manteniment **predictiu elèctric**:

- Verificació d'equilibrat de fases.
- Tenir controlat l'indicador de consums anòmals.
- Evitar anomalies en el corrent d'alimentació, vigilar l'estat dels debanats rotòric i estatòric, excentricitat, desequilibri, estat mecànic.
- Revisar la temperatura dels debanats (caps de bobines, ranures, piròmetres).
- Comprovar defectes d'aïllament en la resistència elèctrica de l'aïllament.
- Verificar el nivell de contaminació dels debanats.
- Mantenir l'estat de les escombretes del motor i anells del rotor debanat.

Seràn operacions de manteniment **predictiu mecànic**:

- Detectar la presència de vibracions.
- Evitar l'envelliment de lubricants.
- Verificar la contaminació de lubricants.
- Comprovar l'estat d'alineació.

Seràn operacions de manteniment **correctiu**:

- La substitució de rodaments
- El rebobinatge

1.1.2 Detecció d'avaries, assajos, diagnosi i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

La qualitat i l'estat d'una màquina queden reflectits per la temperatura de treball: si un motor se sobreescalfa, les bobines es tendeixen a deteriorar ràpidament. Cada increment de 10 °C en les bobines d'un motor per sobre de la seva temperatura de treball nominal escurça la vida del motor en un 50%, fins i tot si el sobreescalfament és només temporal.

Hi ha tres causes principals perquè es produeixin patrons tèrmics atípics:

1. Desequilibri de càrrega
2. Defecte d'aïllament
3. Algun component deteriorat

En els **desequilibris de càrrega**, ja siguin per sobrecàrrega o per un dimensionament dolent, apareixen escalfaments en la fase o en una altra part del circuit. Si tot el conductor està escalfat, comproveu la càrrega nominal i la real per determinar quina de les dues és la causant.

Els desequilibris d'armònics presenten un patró d'escalfament similar.

S'ha de descartar el desequilibri d'alimentació, ja que no sempre les tensions de les xarxes trifàsiques són balancejades. Les possibles causes de desequilibri també poden estar en la instal·lació del voltant, com a causes de desequilibri corresponents a pèrdues de simetria de línies de transmissió/distribució, presència de grans càrregues monofàsiques com forns d'arc o d'inducció, soldadors, bancs de condensadors amb errades, transformadors amb delta obert o connectats en estrella, equips de protecció i maniobra amb una fase oberta com interruptors, tèrmics, contactors, o càrregues desequilibrades en instal·lacions properes.

Les xarxes trifàsiques de plantes han de tenir proteccions contra desequilibris, ja que per les seves condicions internes, inclouen càrregues desequilibrades, transformadors sobrecarregats, mala repartició de fases en taulers de força i enllumenat, bancs de condensadors desequilibrats, reactors dessintonitzats i altres càrregues externes desequilibrades que contribueixen al desequilibri de tensions.

Les normes **NEMA MG1** de motors elèctrics i generadors recomanen limitar el desequilibri a un màxim d'un 1%. Quan les tensions entre fases (*RS*, *ST* i *TR*) estan desequilibrades, el corrent augmenta ràpidament en els debanats del motor. Si es fa una disminució de la potència determinada (*derating*), és possible mantenir la màquina sota condicions de desequilibri de tensions i en treball sense danyar-la. El fabricant del motor, en el seu catàleg, exposarà la reducció que correspongui a cada cas pràctic. La taula 1.1 mostra un exemple genèric de la potència final que pot desenvolupar el motor sota el desequilibri de tensions marcat.

TAULA 1.1. Potència màxima en situació de desequilibri

Desequilibri de tensions	Factor de disminució de la potència de l'eix
1%	98%
2%	95%
3%	88%
4%	82%
5%	75%

Els components amb errades normalment semblen tenir una temperatura més alta que els que funcionen amb normalitat. Un fusible cremat en el circuit de control d'un motor produeix una condició monofàsica o desequilibri.

Els **problemes d'aïllament** en motors es deuen normalment al següent:

- Instal·lacions fetes de manera incorrecta
- Contaminació ambiental
- Esforç mecànic
- Antiguitat d'elements d'una part o tota la instal·lació

La comprovació d'aïllament es pot combinar fàcilment amb el manteniment mecànic del motor, per a identificar així la degradació abans que es produeixi una errada, o es pot fer durant els procediments d'instal·lació per comprovar la seguretat i el rendiment del sistema.

Procediment de manteniment elèctric del motor

Establirem un **procediment de manteniment**; en el cas d'errada elèctrica en un motor, el motor no es pot posar en marxa, i un sobreescalfament pot produir el risc d'incendi i acabar provocant-se un curtcircuit. Una primera etapa de detecció més senzilla (amb poques eines de verificació podem detectar l'avaría) constaria del següent:

- Inspecció visual
- Comprovació del circuit de control
- Comprovació del circuit de potència
- Comprovació del bobinatge del motor

Altres mesures més precises requereixen aparells de mesura més sofisticats:

- Verificar la resistència d'aïllament al motor.

Tot això es fa en sistemes sense corrent, mentre que les mesures elèctriques (i tèrmiques) es fan en sistemes amb tensió i en funcionament. Pot ser interessant estar vigilant la màquina *in situ*, i detectar el problema amb la màquina en funcionament.

El procés complet de la **inspecció visual** implicarà desconnectar l'alimentació del motor i del motor d'arrencament (o variador), seguint els procediments de desconnexió adequats, i desconnectar el motor de la càrrega. A continuació, cal fer una inspecció visual, olfactiva i tèrmica del dispositiu, consultar la placa de característiques, comprovar si hi ha connexions soltes en el motor d'arrencament i examinar totes les rebladures.

Per comprovar el **circuit de control**, s'ha d'utilitzar un multímetre digital per comprovar la tensió d'alimentació i els contactes d'arrencada del motor (figura 1.2).

FIGURA 1.2. Comprovació de tensió amb el multímetre digital



Imatge cortesia de FLUKE (<http://www.fluke.es/>)

El procés complet implica:

1. Desconnectar l'etapa de potència des del seu automàtic.
2. Comprovar la tensió en els elements, fent el mateix camí que faria el corrent i amb referència al neutre.
3. Bloquejar la desconnexió del motor d'arrencada.
4. Activar el motor d'arrencada manualment, de manera que els contactes quedin tancats.

5. Si hi ha contactes que són accionats per seqüència de funcionament del circuit, comprovar-los amb la mesura de continuïtat. Desconnectar l'etapa de control des del seu automàtic.
6. Seleccionar en el comprovador d'aïllament la funció *Ohms*, per a la mesura de resistències de contacte.
7. Mesurar la resistència de cada sèrie de contactes. La lectura hauria de ser pròxima a zero. Si és superior a $0,1 \Omega$, s'hauran de revisar, ajustar, o substituir els borns o platines de la connexió.

Per comprovar el **circuit de potència** s'ha d'utilitzar un multímetre digital per comprovar els contactes d'arrencada del motor. El procés implica:

1. Desconnectar les etapes de control i de potència des del seu automàtic.
2. Bloquejar manualment la desconexió del motor d'arrencada.
3. Activar manualment el motor d'arrencada.
4. Seleccionar en el comprovador d'aïllament la funció *Ohms*, per a la mesura de resistències de contacte.
5. Mesurar la resistència de cada sèrie de contactes. La lectura ha de ser pròxima a zero. Si és superior a $0,1 \Omega$, s'hauran de revisar, ajustar, o substituir els borns o platines de la connexió.

Si fins aquí no s'ha trobat res és el motor el que té el problema. Mirarem els bobinats de la màquina entre ells, resistència del bobinatge del motor, i posteriorment entre ells i la carcassa, resistència d'aïllament.

Per comprovar la resistència del **bobinatge del motor** s'ha d'utilitzar un multímetre digital. El procés complet inclou:

1. Desconnectar tots els controls electrònics i la resta de dispositius del circuit de la màquina. La mesura es fa amb la màquina desconnectada, sense capacitors, si en tingués, ni altres elements com a supressors de disturbis, etc.
2. Seleccionar en el comprovador d'aïllament la funció *Ohms*, per a la mesura de resistències de contacte.
3. Mesurar la resistència de cada grup de bobines entre fases.

Els valors de resistència han de ser comparativament baixos i equilibrats en les tres fases de l'estator, sense desequilibris de resistència de bobina a bobina.

Ara li toca a la resistència d'aïllament, quan es tracta de localitzar avaries, la comprovació de la resistència d'aïllament dels circuits de línia i posada a terra serà la part final en la detecció diagnòstica de l'avaría.

La principal diferència entre una mesura d'aïllament i la resta de mesures descrites és que les primeres es fan en sistemes sense corrent, mentre que les mesures elèctriques (i tèrmiques) es fan en sistemes amb tensió i en funcionament.

La comprovació verifica la **resistència d'aïllament** entre un conductor i la carcassa connectada a la posada a terra o la resistència d'aïllament entre conductors adjacents. El procés complet implica:

1. Amb tots els controls electrònics i la resta de dispositius del circuit de la màquina. La mesura es fa amb la màquina desconnectada, sense capacitors, si en tingués, ni supressors de disturbis, etc.
2. El megaòhmmetre o els multímetres amb mesura d'aïllament són els equips de mesura que injecten una tensió CC, segons l'IEEE 43-2000, de valor proporcional al voltatge de funcionament del bobinatge, exposat a la taula 1.2. La tensió de prova s'aplica entre cada conductor actiu i la carcassa durant un minut.
3. Identificar la resistència entre fase i terra: com a norma general i per garantir un funcionament segur, els dispositius de CA necessiten un mínim de 2 MΩ, i els dispositius de CC 1 MΩ de resistència d'aïllament, totes dues mesurades entre conductors actius i terra. Les companyies tenen diferents límits mínims per a la resistència d'aïllament en equips usats, que van d'1 a 10 MΩ. La resistència en equips nous ha d'anar de 100 a 200 MΩ o més; si en fer la mesura el resultat no ha estat així, la ruptura d'aïllament està en el costat de la càrrega del motor d'arrencada, en els cables o en el motor. La resistència d'aïllament tabulada per l'IEEE 43-200 variarà en funció del temps de la màquina, segons la taula 1.3.
4. Calcular l'índex de polarització. La norma indica que si la resistència a 1 minut és més gran que 500 MΩ, llavors el càlcul és correcte; si no, com que el resultat és dependent de la temperatura, es manté durant deu minuts i es torna a prendre la mesura de la resistència. El quocient de la mesura presa als deu minuts entre la presa al minut dona l'índex de polarització. Si les lectures són gaire diferents de les esperades, el motor no pot funcionar amb total seguretat.

TAULA 1.2. Tensió de la sonda d'aïllament, segons la norma IEEE

Tensió del bobinatge	Tensió aplicada en la sonda d'aïllament
< 1.000	500
1.000-2.500	500-1.000
2.501-5.000	1.000-2.500
5.001-12.000	2.500-5.000
> 12.000	5.000-10.000

A la taula 1.2, la tensió de bobinatge és la tensió entre fases en màquines trifàsiques o monofàsiques, i la tensió nominal per a CC i bobinatges de camp.

TAULA 1.3. Resistència mínima segons l'edat de la màquina

R mínima [MΩ] segons l'IEEE43-2000	Màquina sota prova
kV + 1 (kV: mesura nominal de la màquina en quilovolts)	Bobinatges fabricats abans de 1970.
100	Motors de CC i estadors de CA fabricats després de 1970.
5	Màquines de bobinatge aleatori i format, de tensions més petites que 1 kV.

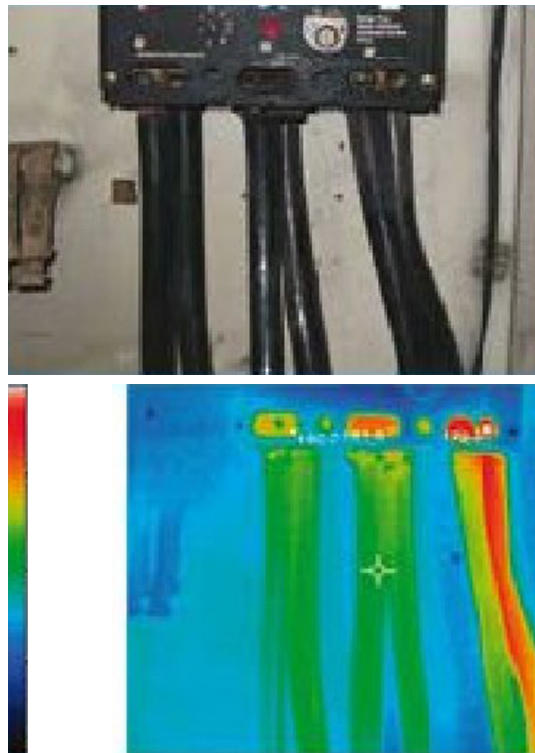
Aquests assajos ens permetran detectar la falla d'aïllament, per diagnosticar contaminació, humitat, deteriorament per sobreescalfament...

També hi ha mètodes que ens ajuden a la vigilància de les avaries abans que es produeixin. Amb una càmera termogràfica es pot observar a quina zona del motor es produeix l'escalfament, i també la magnitud d'aquest escalfament.

Si una lectura de temperatura a la carcassa del motor mostra un increment anormal, es pot prendre una imatge tèrmica del motor i cercar el lloc exacte on es produeix l'anomalia, per exemple, de les bobines, els rodaments o els acoblaments (si un acoblament s'escalfa, pot indicar que hi ha una alineació dolenta). Podeu veure un visor de càmera termogràfica a la figura 1.3 i el resultat del sobreescalfament d'una fase a la figura 1.4.

FIGURA 1.3. Visor de la càmera termogràfica

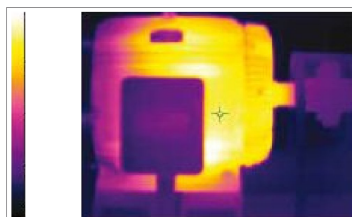
Imatge cortesia de FLUKE (<http://www.fluke.es/>)

FIGURA 1.4. Exemple d'escalfament de fase amb càmeraImatge cortesia de FLUKE (<http://www.fluke.es/>)

Les imatges tèrmiques identifiquen fàcilment diferències de temperatures aparents en circuits elèctrics industrials trifàsics, comparant-les amb les de les condicions normals de funcionament. Examinant els gradients tèrmics de les tres fases per separat, es podran localitzar ràpidament anomalies derivades d'una sobrecàrrega o desequilibri en el funcionament dels circuits.

Normalment la major part són resultat de punts de contacte de gran resistència, ja sigui en connexions, borns o interruptors. Solen aparèixer amb més temperatura en el punt d'alta resistència, i es refreden a mesura que s'allunyen d'aquest punt. A la figura 1.5 i la figura 1.6 hi ha exemples de visualització amb càmera termogràfica de sobreescalfaments a l'eix i al bobinatge.

FIGURA 1.5. Exemple d'escalfament de l'eix del motor vist per càmera termogràficaImatge cortesia de FLUKE (<http://www.fluke.es/>)

FIGURA 1.6. Vista per càmera termogràfica de l'escalfament del bobinatge del motorImatge cortesia de FLUKE (<http://www.fluke.es/>)

Anàlisi de vibracions

En el marc del manteniment mecànic, l'observació visual continua essent el primer procediment de diagnosi, i és important, per exemple, que el soroll de rodament sigui uniforme; de vegades hi ha pujades i baixades de to que indiquen que els rodaments no giren bé.

Dintre del pla de manteniment, en el manteniment predictiu teniu un diagnòstic a partir d'unes observacions sobre vibracions, que trobareu representades als fragments de taules comercials mostrats a la taula 1.4, amb la naturalesa del defecte.

TAULA 1.4. Diagnòstic de vibració

Naturalesa del defecte	Freqüència principal de la vibració	Direcció	Observacions
Desequilibri	$1 \times \text{rpm}$	Radial	Causa freqüent de vibracions excessives en màquines
Desalineament i eix torçat	Normal: $1 \times \text{rpm}$ Freqüent: $2 \times \text{rpm}$ Sovint: 3 o $4 \times \text{rpm}$	Radial i axial	Defecte freqüent
Elements malmesos en rodaments (boles, rodets...)	Règim d'impactes de cada element	Radial i axial	També freqüències de 2 a 60 kHz relacionades amb ressonàncies radials
Rodaments de fricció lliures a l'allotjament	Subharmònics de les rpm de l'eix ($1/2$ o $1/3 \times \text{rpm}$)	Radial	Les folgances es poden manifestar només a la velocitat i temperatura de treball.
Gir o fuetada d'oli als rodaments de fricció	42% a 48% rpm	Radial	Aplicable a màquines d'alta velocitat (turbomàquines)
Gir d'histeresi	Velocitat crítica de l'eix	Radial	Les vibracions excitades en passar per la velocitat crítica de l'eix es mantenen a velocitats més grans. De vegades es poden corregir verificant el muntatge dels components del rotor.
.			

TAULA 1.4 (continuació)

Naturalesa del defecte	Freqüència principal de la vibració	Direcció	Observacions
Engranatges malmesos o desgastats	Freqüència de trobada de les dents ($\text{rpm} \times \text{nre. dents}$) i harmònics	Radial i axial	Les bandes laterals de la freqüència de trobada indiquen la modulació (per exemple, excentricitat) a una freqüència igual que la separació de les bandes. Només es poden detectar amb anàlisi de banda estreta o <i>cepstrum</i> .
Folgança mecànica	$2 \times \text{rpm}$		També amb presència de subharmònics i interharmònics, com als rodaments de fricció lliures
Arrossegament de corretja defectuós	$1, 2, 3$ o $4 \times \text{rpm}$ de la corretja	Radial	Detectable mitjançant un estroboscopi
Forces i parells alternatius desequilibrats	$1 \times \text{rpm}$ i múltiples superiors per a desequilibris d'ordre superior	Radial	
Turbulència creixent	Freqüències de pas d'àleps i pales, i els seus harmònics	Radial i axial	Els nivells en augment indiquen una turbulència creixent.
Vibracions induïdes elèctricament	$1 \times \text{rpm}$ o bé 1 o $2 \times$ freqüència síncrona	Radial i axial	Desapareixen en desconectar la xarxa.

1.1.3 Assajos de predicció i recerca d'avaries en màquines elèctriques

Es podrien detectar problemes tant puntualment com avaluant tendències. Les proves elèctriques predictives efectuades a les màquines aniran encaminades a detectar amb més o menys anticipació el problema de degradació de l'aïllant del bobinatge. Aquest es produirà per un escalfament excessiu, ja sigui per contaminació dielèctrica, humitat, sobrecàrrega de corrent, vibracions, o per errada al nucli.

Contaminació dielèctrica o humitat a l'aïllant

Els assajos destinats a detectar contaminació dielèctrica o humitat a l'aïllant del bobinatge són:

- **Test de tensió graó CC:** l'assaig buscarà una sèrie de paràmetres clau que alterin el seu valor significativament amb l'evolució i degeneració de l'aïllament. Es fa a dues tensions per determinar la linealitat de l'aïllament amb la tensió. Per a cada tensió, la màquina se sotmet a un període de càrrega de 30 minuts i un altre de descàrrega de 2 minuts. En aquests períodes es registren els corrents **capacitius**, **resistius**, de **fuites** i de

reabsorció segons l'**IEEE-43-2000**. A més, es fa la mesura de **capacitat del dielèctric** en continu i altern, que permet detectar contaminació del sistema. Aquesta detecció és possible, ja que a 1 kHz, i per efecte de la inductància dels debanats, desapareixen les capacitats equivalents del possible dipòsit de contaminació. Comparant la diferència de capacitats en CC i CA s'obtenen les estimacions del grau de contaminació de la màquina.

- **Assaig de tangent de delta en CA:** és una altra prova que avalua el dielèctric. Qualsevol aïllant es pot assemblar a un condensador ideal en paral·lel/sèrie amb una resistència que representa les seves pèrdues dielèctriques. L'**angle delta** (δ) entre el corrent capacitiu i el total s'anomena *angle de pèrdues* o *factor de dissipació*. L'assaig de $\tan \delta$ busca la determinació d'aquest angle i està basat en una font d'alta tensió alterna de potència i un pont de Schering per determinar la $\tan \delta$ i la capacitat del dielèctric. Aquest assaig es complementa fent-lo a diverses tensions, aproximant-se a la nominal de la màquina, i s'obté, amb el conjunt de resultats, l'anomenat *tip-up* de la $\tan \delta$. La idea és que en un aïllament perfecte la $\tan \delta$ no variï amb la tensió. La mesura proporcionarà informació del grau d'humitat i contaminació del dielèctric.
- **Detectors de fum i d'ozó:** algunes màquines de més entitat incorporen sistemes que alerten i disparen l'operació de la màquina quan detecten concentracions rellevants d'aquests elements. La idea és detectar en el medi refrigerant partícules resultants (fum) de l'exposició dels aïllaments, bé en bobinatges o laminacions, a altes temperatures. L'ozó (O_3) és el resultat de la ionització de l'oxigen de l'aire (O_2). Aquest procés precisa elevades energies per produir-se i generalment apareixerà relacionat amb l'existència de descàrregues parcials.
- **Test de descàrregues parcials en servei i CA:** els sistemes dielèctrics usats en màquines rotatives amb $U_N > 1$ kV es caracteritzen per la possibilitat de presentar descàrregues parcials degudes a problemes en les fases: disseny, fabricació, operació, manteniment i envelliment. Les descàrregues parcials són petites descàrregues que apareixen en l'interior dels dielèctrics com a manifestació de la seva degeneració. Un cop iniciat aquest procés, es mantindrà constant en el temps i serà origen de la degeneració del sistema aïllant: la calor i els compostos químics corrosius atacaran l'aïllament, el conduiran lentament a la destrucció i curtcircuitaran a terra per perforació.

El monitoratge en servei dels nivells de descàrregues parcials en el temps serà, per tant, un bon sistema per aconseguir avaluar el procés de degradació del dielèctric en la màquina. Hi ha diversos sistemes de mesura en servei:

- Sondes inductives (transformadors RF / bobines de Rogowski)
- Sensors de tipus antena (tires metàl·liques en zones clau)
- Sensors capacitius

Els d'ús més extens són els captadors capacitius. S'instal·len en la màquina condensadors de baixa capacitat (entre 80 pF i 500 pF) que bloquegen la tensió

d'operació de la màquina, deixant passar les altes freqüències de les descàrregues axials. Els condensadors poden venir instal·lats de fàbrica o es pot aprofitar una aturada per instal·lar-ne. Els senyals es recolliran amb un analitzador de descàrregues parcials (**PDA**).

En servei, l'aïllament s'analitza en condicions reals de càrrega, temperatura i vibracions, aspectes no avaluable fora de servei. La idea és recollir informació en etapes suficientment primerenques dels possibles problemes que poden aparèixer perquè siguin de detecció i solució fàcils. Avui dia hi ha sistemes molt fiables que aconsegueixen una bona discriminació de soroll, tant per mitjà de l'electrònica com de la distribució dels captadors.

Després de l'assaig, de les gràfiques, nivells de descàrregues, polaritat, variació amb la temperatura, humitat i càrrega, s'obtenen dades que ens permeten discernir el tipus de degradació que es produeix en la màquina i fins i tot la zona d'aparició.

Avui dia hi ha una altra aproximació més còmoda: canviar el punt de mesura fins ara passiu per un terminal intel·ligent. Aquest terminal pot fer complexos bàsics de DP, que a un cost menor identifiquen problemes entre assajos programats DP i generen alarma amb totes les possibilitats d'integració, xarxa, SCADA, WWW, etc.

- **Assajos de descàrregues parcials fora de servei i CA:** aquests assajos consisteixen en l'energització de la màquina (del seu circuit dielèctric) amb una font de tensió alterna cercant la possible aparició de descàrregues parcials i, en el seu cas, la localització.

Com en els equips d'assaig, hi ha diverses possibilitats:

- Detectors en servei
- Detecció via ràdio
- Avaluació ultrasònica

La descàrrega parcial en les màquines rotatives és un fenomen que va apareixent en els forats de l'aïllament o en la interfase aïllament/nucli a causa de la intensificació del camp elèctric en aquests espais. Causaran efectes no desitjats de pèrdues energètiques i degeneratives en la zona afectada. Cada descàrrega produeix una energia radiada que pot ser capturada amb un receptor sintonitzat o bé una energia mecànica (acústica) donada a l'aire, que pot ser recollida per un transductor ultrasònic.

Vibracions

Les vibracions poden degradar els aïllants del nucli magnètic i de les bobines; en les proves per comprovar-ho caldrà tenir accés al nucli i en algun cas serà necessari que el rotor estigui retirat. Aquests assajos són:

- **Control visual:** inspecció interna que determina si el nucli magnètic està en condicions adequades d'operació. Aquesta prova és més complexa si el rotor està muntat, ja que les possibilitats d'inspecció són menors. Hi ha sistemes en els quals per mitjà de vehicles robotitzats es pot executar la inspecció visual introduint-los en l'entreferro rotor-estator. Aquest vehicle és també aplicable a l'assaig automàtic dels sistemes de flux reduït EL_CID i a l'assaig de collar les falques.
- **Anàlisi de vibracions en CA:** es fixen sobre la màquina sensors de vibracions que traslladen el comportament mecànic de la màquina a un registre elèctric continu. Es passa el senyal del domini del temps al domini de la freqüència. Hi ha aplicacions que poden recollir tota aquesta informació i acotar les freqüències pròpies teòriques. Amb l'estudi de nivells i desviacions en aquestes freqüències es pot deduir l'estat i evolució del sistema mecànic de la màquina. Els nivells excessius de vibracions, a part d'altres problemes mecànics, poden degenerar en el deteriorament dels aïllaments interlaminars en el nucli i en els aïllaments estatòrics.
- **Test del ganivet:** el nucli precisa que les laminacions estiguin fixes i compactades; la idea és que l'espai entre aquestes sigui impenetrable. És possible que a causa de les vibracions o al cicle tèrmic, les laminacions es comencin a alliberar, i s'iniciï el deteriorament de l'aïllament interlaminar. Es revisarà aquesta accessibilitat intentant introduir una fina fulla de ganivet comprovant que no és possible avançar entre laminacions.
- **Test mecànic de collar les falques:** la missió de les falques és mantenir els debanats fixos en les ranures del nucli i aconseguir més estabilitat mecànica en el sistema evitant que les bobines vibrin o surtin de les ranures. Manualment és difícil determinar el grau de fixació de la falca i es requereix personal especialitzat, tant per a la realització de l'assaig com per a la interpretació. Després d'un projecte EPRI, es va desenvolupar un sistema per facilitar la realització d'aquest assaig que utilitza un cap que, desplaçant-se a través de la longitud de l'estator, va colpejant les falques amb un electroimant calibrat i registra amb un acceleròmetre la vibració corresponent. El resultat de l'assaig és un mapa de nivells de pressió que elimina el caràcter subjectiu de l'assaig i permet conèixer l'estat del sistema complet.

Els criteris de diagnòstic varien en funció de la màquina i d'unes companyies a altres, però hi ha uns valors mínims, i altres normalitzats que, empíricament, conformen els programes experts de diagnòstic que interpreten els criteris d'errada. Aquests programes donen una orientació de l'estat de la màquina, però ha de ser l'expert de manteniment qui amb totes les dades indiqui el diagnòstic final i faci les accions oportunes.

Un altre aspecte estarà determinat per l'històric/tendència, en què l'evolució dels paràmetres pot ajudar en la detecció de la velocitat de degradació i alterar les exigències de manteniment.

Escalfament pel nucli magnètic

Les mesures de recerca d'escalfor pel nucli magnètic poden ser les següents:

- **Assaig de flux nominal en CA:** es busca comprovar la integritat de l'aïllament entre laminacions del nucli estatòric. L'assaig de flux nominal consisteix a portar la màquina a condicions similars a les d'operació quant a flux. Per a això, es fa circular corrent altern per mitjà d'un cable bobinat toroïdalment al voltant del nucli magnètic. Una vegada el flux hagi estat inserit, esperant un temps d'estabilització i mitjançant termografia es busquen punts calents que es corresponguin amb increments tèrmics associats a la circulació de corrent interlaminar. Aquest assaig és complex, car, llarg i perillós, tant per a les persones com per a la màquina.
- **Pèrdues en el nucli en CA:** aprofitant l'assaig a flux nominal utilitzant un wattímetre. Amb el resultat i el pes del nucli s'obtindran les pèrdues en **W/kg**. La dada i la seva evolució poden donar una informació complementària de la degradació.
- **Assaig de flux reduït en CA:** el desenvolupament d'equipament de mesura electrònic ha permès aquesta alternativa a l'assaig de flux nominal, utilitzant un sistema automatitzat i amb opció robotitzada que recorre el nucli ranura a ranura i proporciona uns diagrames que aporten la mateixa o més informació que l'assaig de flux nominal. Aquesta aproximació té molts avantatges enfront de l'assaig de flux nominal pel que fa a seguretat, logística, precisió... El sistema s'energitzava bobinant espines al voltant del nucli, però utilitzant tensions i corrents que es poden extreure d'un endoll normal de paret, per utilitzar, per tant, equipament portàtil. El flux per a l'assaig és el 4% del flux nominal. Establert el flux en la màquina, un cap sensor recorre el nucli cercant irregularitats de corrent en les laminacions. Quan apareixen curts en el nucli, la bobina registra corrents circulants desfasats en quadratura amb el flux, que poden, per tant, ser detectats per separat. Aquest assaig aportarà informació molt valuosa sobre l'estat del nucli magnètic, i indicarà si hi ha laminacions amb el seu aïllament deteriorat, en curt, colpejades, soltes, i altres irregularitats magnètiques.
- **Anàlisi en CA de barres trencades en rotors de gàbia d'esquirol:** les implementacions de rotors basats en gàbia d'esquirol poden presentar, com a evolució de la seva degradació, trencament o "feblesa" en les barres de la gàbia rotòrica. La màquina podria continuar operant amb normalitat fins que degeneri, i s'alliberarien parts de la barra que danyarien l'aïllament i la destruirien. Registrant l'espectre en freqüència dels corrents d'alimentació, s'estimen els nivells de les bandes laterals. Si se superen uns valors límit en relació amb el fonamental, hi ha evidència de problema de barres trencades.

Escalfament per altres causes

L'anàlisi següent és de vigilància i recerca d'escalfor per qualsevol causa i en qualsevol part del motor, i també es pot utilitzar com a assaig de flux nominal:

- **Monitoratge tèrmic:** les màquines disposen de sistemes d'aïllament pensats per treballar en uns marges de temperatura determinats. En sobrepassar els marges, es produeix una degradació anticipada de l'aïllament. Gran part de les màquines de certa entitat disposen de sistemes de monitoratge tèrmic que ofereixen informació indirecta del seu estat per mitjà de la temperatura.

Un altre sistema de monitoratge tèrmic és l'ús de càmeres d'infrarojos (càmeres termogràfiques). Aquest tipus de càmeres detecten la part de l'espectre òptic corresponent a l'emissió de calor superficial dels cossos.

Fallades d'aïllament i estat de les bobines

Per detectar errades d'aïllament i estat de les bobines, les proves són:

- **Assaig en CA d'ones de xoc:** en els assajos habituals d'aïllament, l'aïllament de cada fase està sotmès en tot el seu recorregut a la mateixa tensió d'assaig, i es verifica l'aïllament principal respecte a terra. Queda per provar la part d'aïllament entre espiras adjacents, que en cas de degradació evoluciona en curtcircuit a terra. L'**abast predictiu** el donarà l'assaig d'ones de xoc, que ens podrà mostrar debilitat de l'aïllament entre espiras abans que aquest falli.

L'assaig consisteix en la inserció en cada fase d'un pols ràpid i repetitiu que evoluciona durant l'assaig des de zero fins a la tensió d'assaig. El pols s'aplica en cada una de les fases d'extrem a extrem, i les seves espiras queden sotmeses a una tensió proporcional enfront de les verificacions següents de l'aïllament entre aquestes. El diagnòstic està determinat fonamentalment per comparació de les diferents respostes del pols per fases i de les diferents tensions d'assaig. Si la màquina no presenta problemes, les formes d'ona coincidiran entre fases i la seva resposta serà en relació amb l'equivalent R/L/C de cadascuna de les bobines. L'equip de captures les digitalitza superposades en pantalla. Quant la inductància s'altera (es redueix) per un defecte de l'aïllament fugint un arc elèctric, la freqüència ressonant del circuit resultant també canvia (augmenta) i cau el nivell de l'oscil·lació. Aquest assaig, per tant, detectarà errades de: **aïllament entre espiras, entre fases, en massa, curtcircuits, inversió de polaritats, circuits oberts, mals contactes, defectes de fabricació**, de cura, etc.

- **Assaig de sobretensió CA (IEEE 112 i NEMA MG-1) i CC (IEEE 95 i NEMA MG-1):** sotmetent l'aïllament enfront el terra (xassís) a una tensió per sobre de la nominal, es precipita la màquina a l'errada en l'assaig si està a la vora de l'errada; si la màquina no falla, serveix per assegurar-nos que sigui capaç de suportar les especificacions de servei d'apertura de càrregues, transitoris, descàrregues atmosfèriques...
- **Assajos de la resistència dels bobinatges en CC (IEEE 92):** l'assaig injecta un corrent CC al bobinatge amb tensions relativament baixes, i la resistència és el quocient entre tots dos valors una vegada arriben a ser

estables. La mesura de la resistència dels debanats de cada fase de la màquina ha de ser corregida en temperatura i el resultat ha de ser comparable amb les mesures de protocol de fàbrica (relació flux i escalfament), i donarà una indicació clara de la integritat dels bobinatges i la seva connexió. La mesura ha de ser feta a “quatre fils” per evitar incloure en el circuit de mesura la resistència extra dels cables d’assaig de corrent i les resistències de contacte.

- **Resistència d’aïllament i índex de polarització en CC (IEEE 43):** injectant un voltatge alt i determinat i mesurant el corrent es verifica la resistència d’aïllament entre cadascun dels conductors del bobinatge i entre cadascun dels conductors del bobinatge i la carcassa connectada a la presa de terra.

1.1.4 Muntatge i manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern: recanvis, organització i treball en equip

En els manuals d’instal·lació, funcionament i seguretat hi ha normes de manteniment. Per exemple, és habitual trobar recomanacions com les següents:

1. Inspeccioneu el motor a intervals regulars i almenys una vegada a l’any. La freqüència de les comprovacions depèn, per exemple, del nivell d’humitat de l’aire i de les condicions climatològiques locals. Es pot determinar inicialment de manera experimental i ha de ser respectada estrictament a partir d’aquest moment.
2. Tingueu el motor net i assegureu que l’aire flueix lliurement. Si s’utilitza el motor en un ambient polsós, és necessari verificar i netejar periòdicament el sistema de ventilació.
3. Comproveu l’estat dels retenidors de l’eix (per exemple, anell en V o retenidor axial) i canvieu-los si és necessari.
4. Comproveu l’estat de les connexions i dels cargols de muntatge i assembleatge.
5. Comproveu l’estat dels rodaments.

Per això, cal escoltar per detectar qualsevol soroll inusual, mesurar les vibracions, mesurar la temperatura dels rodaments, inspeccionar la quantitat de greix consumit o motoritzar els rodaments amb un mesurador SPM.

S’ha de parar una atenció especial als rodaments si estan a prop de la seva vida útil nominal calculada. Quan apareguin senyals de desgast, s’ha de desmuntar el motor, comprovar les peces i canviar les que es cregui necessari.

En substituir els rodaments, els de recanvi han de ser del mateix tipus que els muntats originalment, i els retenidors d’eix han de ser substituïts per retenidors de la mateixa qualitat i les mateixes característiques que els originals.

Taps de drenatge

En el cas que el motor tingui taps de drenatge, és recomanable obrir periòdicament els taps de drenatge per assegurar-se que la sortida de condensació no està bloquejada i permetre així que la condensació escapi del motor.

Aquesta operació s’ha de fer quan el motor estigui parat i es trobi en un estat que permeti treballar-hi amb seguretat.

Una vegada verificat que el motor funciona bé, i per preservar-ne el bon funcionament per al temps que ha estat fabricat, es muntarà equilibradament. La **bancada** és el nom que rep la zona a sobre de la qual s'instal·larà el motor, anivellat allà, de manera que la distribució de càrrega s'efectuï homogèniament sobre el seu eix (un fet important per al bon funcionament i la disminució d'avaries). En la part elèctrica, en el muntatge, els dispositius de protecció acompliran la missió de bon funcionament i preservació del motor. En la figura 1.7 tenim un espejament d'un motor trifàsic de gàbia.

Les màquines elèctriques portaran una sèrie de proteccions, com el termistor. Aquesta protecció addicional també la porten els motors monofàsics d'electrodomèstics, ja siguin rentadores, neveres, o més petits, com assecadors de cabell. En la figura 1.8 teniu l'esquema de la protecció d'un motor trifàsic amb termistor.

FIGURA 1.7. Motor asíncron trifàsic amb gàbia d'esquirol

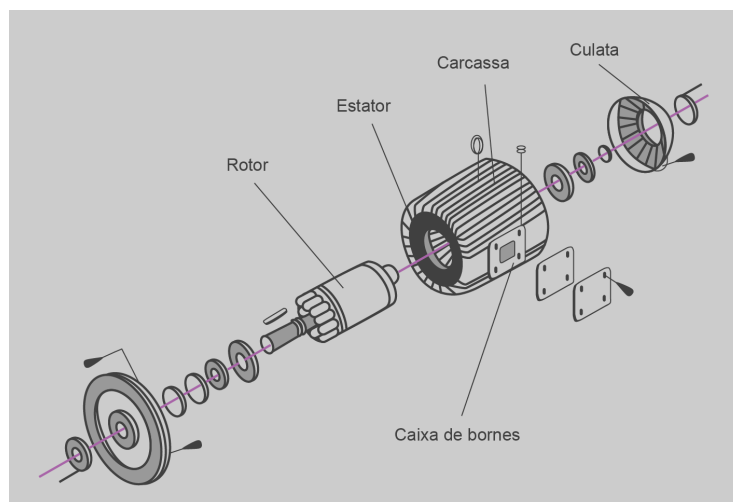
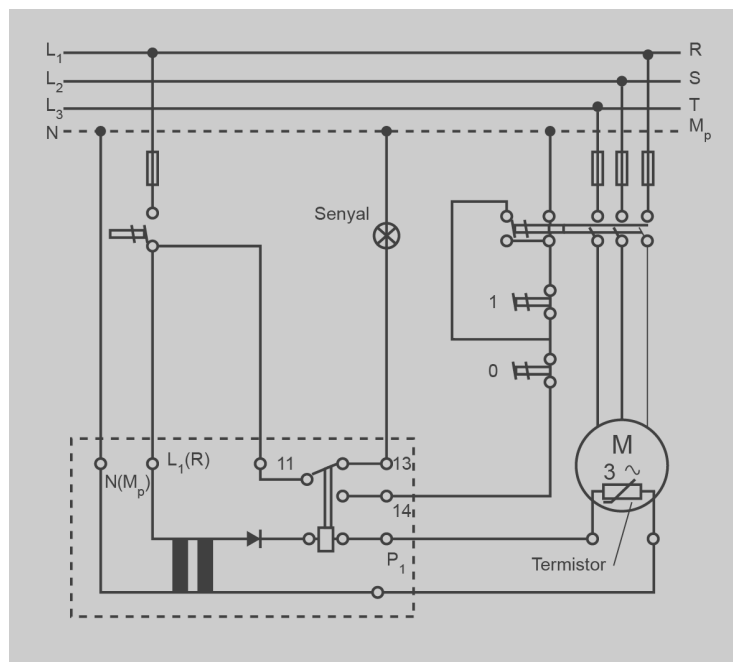


FIGURA 1.8. Esquema de protecció amb termistor



1.1.5 Resolució de problemes en el manteniment i reparació de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

En la documentació mateixa de les màquines, el fabricant dóna una sèrie de diagnòstics i la seva causa, trets de l'experiència del manteniment específic d'aquella màquina i d'aquell fabricant. A la taula 1.5 hi ha alguns d'aquests diagnòstics amb l'acció que s'hauria de portar a terme per a la solució.

TAULA 1.5. Accions que cal prendre davant l'avaria i la causa

Problema	Causa	Acció per fer
El motor no arrenca	Fusibles fosos	Substituir els fusibles per d'altres de tipus i valors nominals adequats.
	La protecció de sobrecàrrega es dispara.	Comprovar i reafirmar la protecció de sobrecàrrega en l'arrencador.
	Alimentació de subministrament inadequada	Comprovar si l'alimentació de subministrament concorda amb la placa de característiques i el factor de càrrega del motor.
	Connexions de línia incorrectes	Contrastar les connexions amb el diagrama subministrat amb el motor.
	Circuit obert al debanat o a l'interruptor de control	Síntoma: soroll quan l'interruptor està tancat. Comprovar si hi ha cables mal connectats i comprovar que tots els connectors de control es tanquen.
	Avaria mecànica	Comprovar si el motor i l'accionament giren lliurement, i també els rodaments i la lubricació.
	Curtcircuit a l'estator o mala connexió en les bobines de l'estator	Síntoma: es fonen els fusibles. S'ha de rebobinar el motor.
	Rotor defectuós	Buscar barres o anells de curtcircuit trencats.
El motor perd velocitat	Sobrecàrrega del motor	Reduir la càrrega.
	Una fase oberta	Comprovar les línies.
	Aplicació incorrecta	Canviar el tipus o la grandària del motor. Preguntar al proveïdor de l'equipament.
	Sobrecàrrega	Reduir la càrrega.
	Tensió insuficient	Comprovar que es manté la tensió que s'indica a la placa de característiques i comprovar també les connexions.
El motor arrenca però perd velocitat fins a aturar-se	Circuit obert	Comprovar els fusibles, el relé de sobrecàrrega, l'estator i els polsadors.
	Error en l'alimentació	Buscar connexions defectuoses a la línia, fusibles i control.

TAULA 1.5 (continuació)

Problema	Causa	Acció per fer
El motor no assoleix la velocitat nominal prevista	Aplicació incorrecta	Canviar el tipus o la grandària del motor. Preguntar al proveïdor de l'equipament.
	Tensió insuficient a causa d'una caiguda de línia	Utilitzar una tensió més gran o bé un transformador, o reduir la càrrega. Comprovar les connexions i la secció dels conductors.
	Càrrega d'arrencada excessiva	Comprovar la càrrega.
	Barres del rotor trencades o rotor separat	Buscar fissures a prop dels anells. Potser reemplaçar el rotor.
	Circuit primari obert	Buscar l'error amb un multímetre i reparar-lo.
El motor triga massa a accelerar o bé el corrent és excessiu	Càrrega excessiva	Reduir la càrrega.
	Tensió insuficient durant l'arrencada	Comprovar si la resistència és excessiva. Assegurar que el cable té la secció adequada.
	Rotor de gàbia d'esquirol defectuós	Reemplaçar el rotor.
	Tensió aplicada insuficient	Corregir l'alimentació.
Sentit de rotació incorrecte	Seqüència de fases incorrecta	Invertir les connexions al rotor o al panell de canvis.
Sobreescalfament del motor mentre funciona	Sobrecàrrega	Reduir la càrrega.
	Obertures de ventilació obstruïdes	Netejar i obrir els orificis de ventilació i comprovar el flux continu d'aire.
	Una fase oberta	Comprovar que tots els cables estan correctament connectats.
	Bobina amb circuit a massa	Rebobinar el motor.
	Tensió desequilibrada als borns	Buscar cables, connexions i transformadors defectuosos.
Vibració del motor	Motor mal alineat	Corregir l'alineació.
	Suport dèbil	Reforçar la base.
	Desequilibri en l'acoblament	Equilibrar l'acoblament.
	Desequilibri en l'equipament accionat	Corregir l'equilibri de l'equipament accionat.
	Rodaments en mal estat	Substituir els rodaments defectuosos.
	Rodaments mal alineats	Reparar el motor.
	Pesos d'equilibrament desplaçats	Corregir l'equilibri del motor.
	Contradicció entre l'equilibrament del rotor i de l'acoblament (mitja xaveta - xaveta sencera)	Reequilibrar l'acoblament o el motor.
	Motor polifàsic que funciona com a monofàsic	Comprovar si hi ha algun circuit obert.
	Joc (folgança) axial excessiu	Ajustar els rodaments o inserir suplements.

.

TAULA 1.5 (continuació)

Problema	Causa	Acció per fer
Soroll de fricció	Fricció del ventilador contra l'escut o el protector	Corregir el muntatge del ventilador.
	Subjecció incorrecta a la placa de base	Collar els ancoratges.
Funcionament sorollós	Entreferro no uniforme	Comprovar i corregir l'ajustament d'escuts i rodaments.
	Desequilibri del rotor	Corregir l'equilibri del rotor.
Rodaments sobreescalfats	Eix torçat o deformat	Endreçar o reemplaçar l'eix
	Tensió excessiva de la corretja	Reduir la tensió de la corretja.
	Politges massa allunyades del suport de l'eix	Situar la politja més a prop del rodament del motor.
	Diàmetre de politja massa petit	Utilitzar politges més grans.
	Mala alineació	Corregir l'alineació de la màquina accionada.
	Lubricació inadequada	Utilitzar sempre greix de la qualitat adequada i en la quantitat adequada.
	Deteriorament del greix o lubricant contaminat	Eliminar el greix vell, netejar meticulosament els rodaments amb querosè i greixar.
	Excés de lubricant	Reduir la quantitat de greix. El rodament no s'ha d'omplir per sobre de la meitat de la seva capacitat.
	Rodament sobrecarregat	Comprovar l'alineació i les càrregues lateral i axial.
	Bola trencada o camins de rodament rugosos	Substituir el rodament, netejant-ne meticulosament l'allotjament.

1.2 Assajos industrials

Abans de treure els models de motors al mercat, es comproven les seves característiques, amb la finalitat d'incloure-les després de la comprovació empírica en el full d'especificacions del motor.

Assajos normals per a tots els motors:

1. Mesura de resistència en continu de les fases de l'estator
2. Mesura de la resistència en continu de les fases del rotor (per al cas de rotor bobinat)
3. Rigidesa dielèctrica del debanat de l'estator
4. Rigidesa dielèctrica del debanat del rotor (per al cas de rotor bobinat)
5. Revisió de la seqüència de fases en la caixa de borns de la màquina

6. Nivell d'aïllament del debanat de l'estator
7. Nivell d'aïllament del debanat del rotor (per al cas de rotor bobinat)

Assajos addicionals per a motors tipus:

1. Assaig d'escalfament
2. Rendiment per suma de pèrdues
3. Corba característica de curtcircuit a tensió reduïda
4. Corba característica de buit

Assajos especials sota comanda:

1. Mesura del parell durant l'arrencament
2. Mesura de sorolls
3. Mesura de vibracions
4. Mesura del factor de pèrdues de l'aïllament dels debanats
5. Altres

1.2.1 Assaig de buit i curtcircuit a l'alternador amb les seves corbes

En l'assaig en buit, que es fa amb les sortides de l'alternador obertes, s'obté la corba en buit a una velocitat constant, en la qual es representa com evoluciona la tensió nominal generada en l'estator segons la intensitat de camp:

$$E_{A_0} = f(I_f)$$

L'alternador es posa a velocitat nominal, els borns de sortida oberts (sense càrrega) i el corrent de camp (I_f) a 0. En tenir els terminals oberts el corrent d'induït és:

$$I_A = 0 \rightarrow E_{A_0} = V$$

$$V = 0 \rightarrow I_A = \frac{E_A}{R_A + j \cdot X_S}$$

En aquest moment podem trobar qualsevol f.e.m. induïda per a qualsevol corrent de camp.

$$V = f(I_f)$$

En l'assaig de curtcircuit, que es fa curtcircuitant les sortides de tensió de l'alternador, s'obté el corrent nominal de l'estator a una velocitat constant en funció del corrent de camp.

$$I_{Acc} = f(I_f)$$

El corrent de camp I_f es posa a 0, i es curtcircuiten els borns de sortida de l'alternador, i es mesura el corrent d'induït a mesura que es va augmentant el corrent de camp. En tenir els terminals curtcircuitats la tensió de sortida és:

$$V = 0 \rightarrow I_A = \frac{E_A}{R_A + jX_S}$$

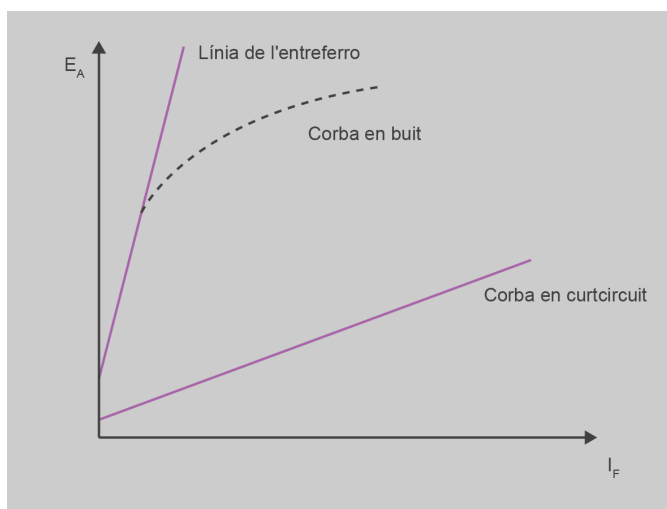
I com que

$$X_S \gg R_A \rightarrow X_S = \frac{E_A}{I_A}$$

Si els assajos de buit i de curtcircuit es fan a la mateixa velocitat constant tindrem la impedància per fase o síncrona de l'alternador a aquesta velocitat. A la figura 1.9 teniu la corba de buit i de curtcircuit de l'alternador síncron.

$$Z_f = \frac{E_{Ao}}{I_{Acc}}$$

FIGURA 1.9. Corba de buit i de curtcircuit de l'alternador síncron



1.2.2 Mesura de la resistència del bobinatge a l'alternador

Si es mesura la resistència a la placa de borns, tindrem en compte la connexió de l'alternador. Pot estar:

- Sense cap tipus de connexió, en què tindrem la resistència de cada bobina.
- En estrella, si estem mesurant dues bobines a la vegada.
- En triangle, si estem mesurant una bobina i les altres dues en sèrie i en paral·lel amb aquesta.

Efecte pel·licular

Aquest efecte, també conegut com a efecte Kelvin, consisteix que a causa del camp magnètic creat pels corrents alterns, el corrent que passa per un conductor massís tendeix a circular per la part exterior i no pel centre (on el camp magnètic és més intens). Com més alta és la freqüència, més s'accentua aquest efecte.

Els bobinatges en CA concentren el corrent en la perifèria dels conductors (efecte pel·licular), i aquest valor de resistència mesurat es multiplica per un **factor 1,2**.

1.2.3 Assaig de curtcircuit al motor

L'assaig de curtcircuit és necessari per conèixer l'inici de la corba de velocitat, ja que la zona de l'arrencada està sotmesa a importants fenòmens transitoris a causa de la seva naturalesa de connexió i als elevats corrents que hi tenen lloc. Aquest assaig ens mostrarà el valor del parell i la intensitat real en el moment de l'arrencada.

La base de l'assaig és el bloqueig del rotor per impedir-ne el gir, reproduint així el punt de l'arrencada inicial, és a dir, quan la velocitat és $n = 0$ i el lliscament és $s = 1$. Bloquejar el rotor en motors grans és problemàtic, i els apliquem una tensió creixent fins a arribar al corrent nominal, ja que amb el rotor aturat la tensió és proporcional al corrent.

Amb el rotor bloquejat la freqüència de la f.e.m. induïda en els seus debanats és la mateixa que la de la xarxa, la de sincronisme, amb una tensió eficaç E_{rcc} . A mesura que el rotor agafa velocitat apareix el lliscament, que és com la constant de proporcionalitat, de manera que la freqüència i l'amplitud prenen els valors:

$$f_r = s \cdot f$$

$$E_r = s \cdot E_{rcc}$$

1.2.4 Assaig d'arrencada al motor

Aquest assaig és necessari per obtenir l'evolució de la velocitat del motor en tot el seu procés d'arrencada. Aquest senyal de velocitat és la base per a l'obtenció de la corba parell-velocitat, cosa que en fa l'assaig principal. No obstant això, per al tractament digital posterior del senyal de velocitat també és necessari conèixer l'evolució de la tensió i el corrent durant l'arrencada. L'objectiu és registrar la velocitat del motor mitjançant una dinamo tacomètrica a l'eix del motor; al motor se li aplica la tensió nominal directa mitjançant un contactor o una tensió reduïda, que després s'anirà incrementant.

1.3 Maniobres de les màquines elèctriques rotatives de corrent altern

En les maniobres de màquines d'altern, per a la regulació i el control dels alternadors cercarem i mirarem les normes de les companyies i les normes de les comunitats autonòmiques (ITC-BT-40) que regulen la connexió d'alternadors a la xarxa. Quant als motors, l'arrencada i el sentit de gir són els principis de bon funcionament una vegada instal·lada la màquina.

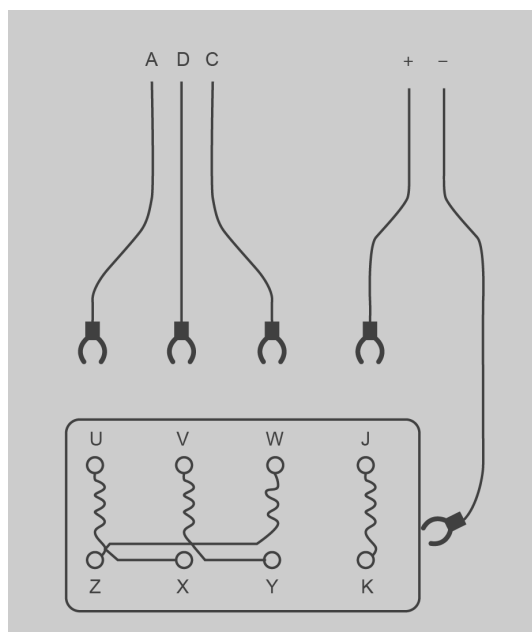
1.3.1 Regulació i control d'alternadors

Els alternadors, per tal de connectar-los en paral·lel hauran de tenir la mateixa tensió i freqüència.

1.3.2 Arrencada de motors síncrons

A la figura 1.10 teniu la caixa de borns d'una màquina síncrona amb el seu bobinatge de camp.

FIGURA 1.10. Caixa de borns de màquina síncrona

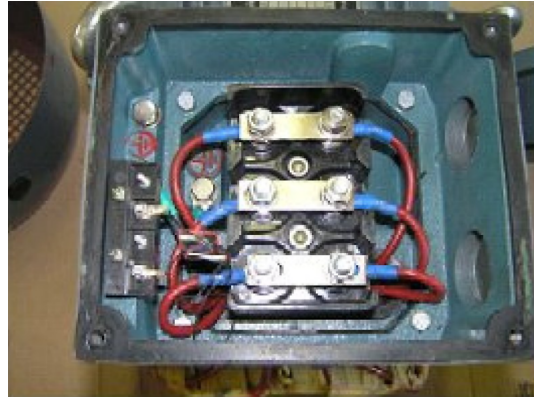


Un motor síncron no té parell d'arrencada net, i per tant, no pot arrencar per si mateix. Aquestes són les formes d'arrencada:

1. Reduint la freqüència de l'estator a un nivell segur.
2. Utilitzar un motor primari extern.
3. Amb bobinatges esmortidors fins a fer-lo arribar a la velocitat síncrona per aplicar-hi tensió CC a la bobina de camp.

1.3.3 Arrencada de motors asíncrons

Els borns de les possibles connexions directes del motor asíncron apareixen a les figures 11 i 12.

FIGURA 1.11. Connexió en triangle

Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com>

FIGURA 1.12. Connexió en estrella

Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com>

Hi ha diversos tipus d'arrencada:

1. Connexió directa
2. Connexió estrella-triangle
3. Connexió amb transformador d'arrencada
4. Connexió amb resistència prèvia monofàsica a l'estator
5. Amb arrencadors estàtics
6. Amb variador de freqüència o vectorial

Connexió directa

La connexió directa és la manera més senzilla de connectar els motors trifàsics amb rotor de gàbia. Aquest procediment és usual a quasi totes les explotacions industrials i serà l'utilitzat sempre que les condicions d'utilització i de la xarxa ho permetin. ($I_{cc} / I_n < 4,5$).

El mètode consisteix en la connexió del motor directament a la tensió nominal de la xarxa. En aquesta arrencada inicialment es donen uns valors molt elevats, el

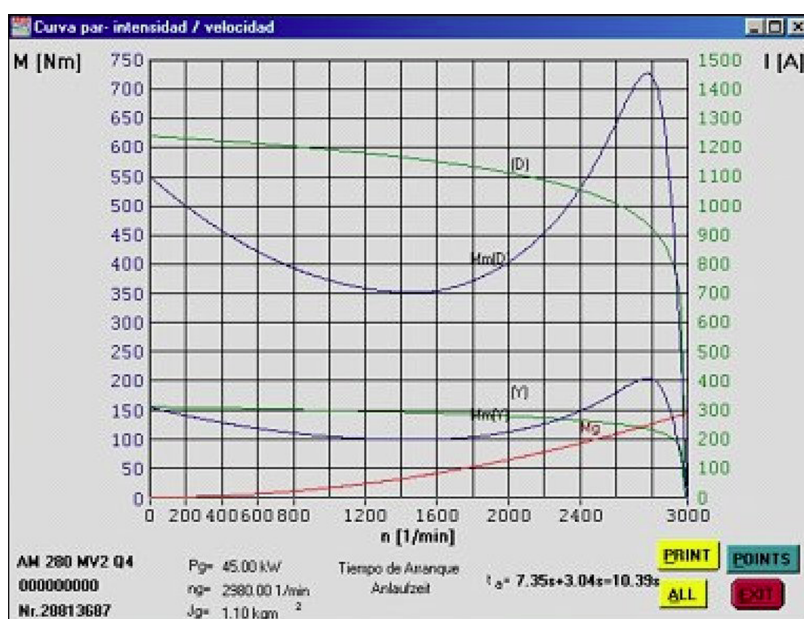
parell pot ser el doble del nominal i la intensitat fins a deu vegades superior a la intensitat nominal.

És adequat si no s'arrenca en buit o el corrent d'arrencada no arriba a nivells alts.

Connexió estrella-triangle

En la connexió estrella-triangle la tensió més petita de la placa característica del motor coincidirà amb la tensió de la línia d'alimentació. A la figura 1.13 podem apreciar el comportament de l'arrencada estrella-triangle amb un exemple de valors característics de poca variació de velocitat en la zona de treball d'un motor de gàbia.

FIGURA 1.13. Corba parell - intensitat - velocitat en l'arrencada estrella-triangle



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com>

Les mesures per limitar el corrent d'arrencada en un motor amb rotor de gàbia consisteixen a aplicar al motor, durant l'arrencada, una tensió reduïda.

Aquest tipus de connexió consisteix a arrencar el motor connectat en estrella, i una vegada arriba a la velocitat de règim, es connecta en triangle. El corrent d'arrencada descendeix en les escomeses a la xarxa a menys d'un terç. El parell d'arrencada es redueix en la mateixa proporció que el corrent de la xarxa i, per tant, és menor que un terç del parell d'arrencada en connexió directa. La commutació d'estrella a triangle es produirà en el moment d'estabilització de la velocitat en estrella i abans que es creui el parell resistent i el parell motor en connexió de triangle.

Connexió amb transformador d'arrencada

Amb la connexió amb transformador d'arrencada es redueix la tensió aplicada al motor per mitjà d'un transformador, i la intensitat d'aturada es redueix en aquest

en la mateixa proporció, mentre que el parell de sotrac i la intensitat de xarxa disminueixen de manera quadràtica.

Connexió amb resistència prèvia monofàsica a l'estator

La connexió amb resistència prèvia s'utilitza en els casos en què s'hagi de reduir el parell d'arrencada del motor amb mitjans elementals, amb vistes a la màquina operadora, o al procés tècnic. Es pot intercalar una resistència monofàsica en una de les tres escomeses del motor, la qual es curtcircuita una vegada acabat el procés d'acceleració.

Arrencada electrònica

Trossejadors (choppers)

Són un tipus de convertidors de tensió que abaixen la tensió de sortida a força de tallar trossos de la tensió inicial. Una manera de construir-los és basant-se en un modulador d'amplada de polsos (*pulse width modulator*, PWM).

Tant els arrencadors estàtics com els variadors arrenquen amb electrònica de potència. Utilitzen trossejadors de moduladors d'amplada de polsos (PWM), formats per triacs que són regulats mitjançant microprocessadors. Ens imaginem l'ona de la potència i apliquem polsos per tal de trossejar parts de l'ona i eliminar-ne d'altres.

Amb vistes a la xarxa i als aparells de maniobra s'ha de procurar mantenir reduït el corrent d'arrencada dels motors de connexió directa. En general, la seva intensitat s'expressa com a múltiple del corrent nominal, i permet així la comparació de motors de diferent mida. Un corrent d'arrencada excessivament petit repercuteix de manera desfavorable sobre els valors tècnics de les màquines, i especialment sobre el parell d'arrencada, el parell màxim i el factor de potència nominal. La influència sobre el rendiment és, al contrari, reduïda.

El parell d'arrencada serveix per accelerar l'accionament en repòs i ha de ser tan gran que superi el parell resistent de l'accionament. La fricció es menysprea en repòs. Però d'una altra banda no volem que es produeixin grans acceleracions perquè poden danyar l'engrenatge.

1.3.4 Parell i temps d'arrencada als motors de corrent altern

L'arrencada és un dels principals problemes que es presenten en els motors asíncrons trifàsics, ja que la ràpida acceleració del sistema motor-càrrega requereix un elevat parell d'arrencada. Aquest ha de ser superior al parell resistent de la càrrega i les friccions per rodaments de boles. Un altre problema és el de la intensitat d'arrencada, que de vegades pot ser molt elevada, i produeix pertorbacions en les xarxes de distribució.

Per a l'acceleració de masses en moviment és necessari un parell d'acceleració M_b . Per consegüent, el parell motor M ha de ser major que el parell resistent M_g , entre l'aturada i la velocitat de règim, atès que només es disposa com a parell d'acceleració M_b de la diferència $M - M_g$. Així, doncs, el valor del

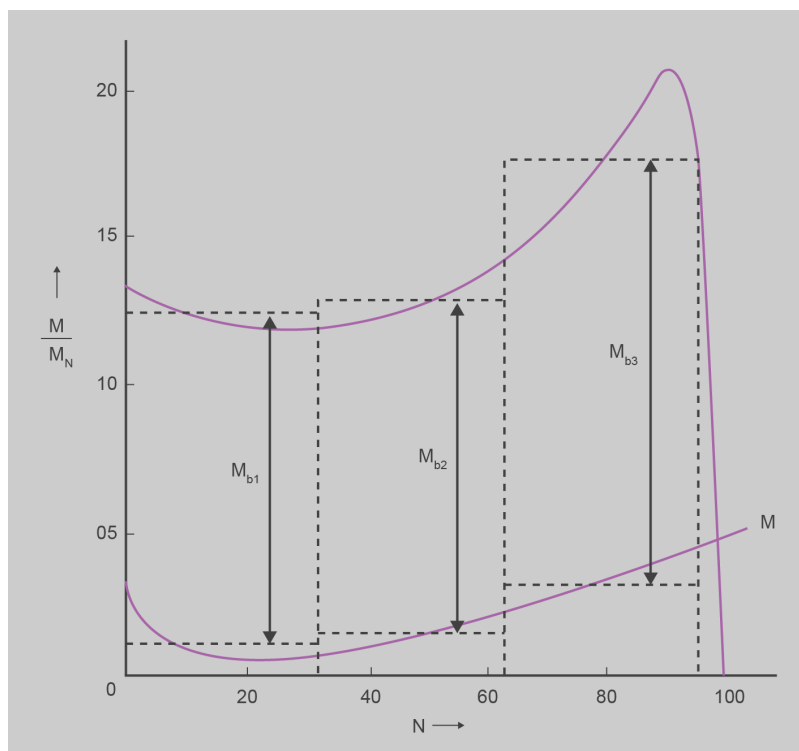
parell d'arrencada i del parell de sot en el temps d'acceleració desitjat han de correspondre, sobretot, a la magnitud de les masses arrossegades i al parell resistent de les màquines de treball.

El temps d'arrencada estarà referit al moment d'inèrcia respecte a l'eix i al parell d'acceleració:

$$t_a = \frac{M \cdot I^2 \cdot n}{375 \cdot M_b}$$

La simplificació que implica prendre un parell constant d'acceleració pot no ser admissible, a causa de la forta inflexió de la corba del parell motor M respecte a la velocitat n . En la figura 1.14 es pot veure el parell accelerador d'un motor i una càrrega amb parell resistent quadràtic. Per fer el càlcul de temps d'arrencada més simplificat, la superfície entre les corbes característiques de parell motor i parell resistent es desglossa en tres parts iguals, que van de 0 a n_1 , de n_1 a n_2 i de n_2 a n_3 ; de manera convenient, per a n_3 es tria el 95% de la velocitat plena. En cada cas, aquestes parts se substitueixen per rectangles d'igual superfície amb altures M_{b1} , M_{b2} i M_{b3} , que donaran lloc a tres temps d'arrencada diferents per a cada cas, com a la figura 1.14.

FIGURA 1.14. Temps d'arrencada simplificat



1.3.5 Codi d'arrencada als motors de gàbia

Els motors porten la **lletra de codi d'arrencada** en la seva placa de característiques, que expressa un factor de potència aparent en funció dels cavalls de força.

A la taula 1.6 apareix aquesta classificació dels motors segons **NEMA MG-1**.

TAULA 1.6. Potència aparent per cavalls de força

Lletra codi	Rotor bloquejat kVA/CV	Lletra codi	Rotor bloquejat kVA/CV
A	0,00-3,15	M	9,00-10,00
B	3,15-3,55	N	10,00-11,20
C	3,55-4,00	P	11,20-12,50
D	4,00-4,50	Q	12,50-14,00
E	4,50-5,00	R	14,00-16,00
F	5,00-5,60	S	16,00-18,00
G	5,60-6,30	T	18,00-20,00
H	6,30-7,10	U	20,00-22,40
J	7,10-8,00	V	> 22,40
K	8,00-9,00		

La potència aparent d'arrencada màxima és:

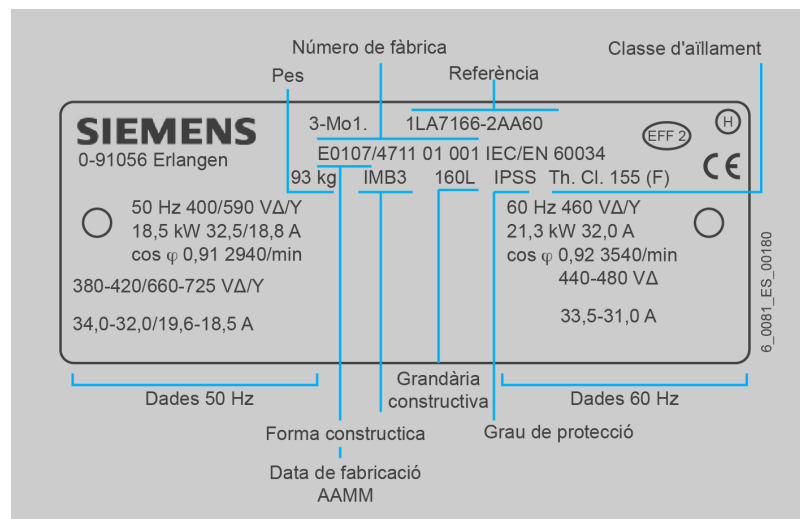
$$S_{arrencada} = (\text{cavalls}) \cdot (\text{codi})$$

i el corrent d'arrencada:

$$I_L = \frac{S_{arrencada}}{\sqrt{3} \cdot V_L}$$

Noteu que el corrent de línia o corrent nominal apareix a la figura 1.15, tant en estrella com en triangle, i que la potència nominal, que és la que apareix a la placa característica, és la potència absorbida menys les pèrdues o amb l'afectació del rendiment.

FIGURA 1.15. Placa característica amb valors nominals



1.3.6 Organització en la realització de maniobres de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

Una vegada posat en marxa el motor hem de verificar el sentit de gir, ja que en cas contrari l'aplicació no seria correcta. Per exemple, en un extractor d'aire si les pales gressin a l'inrevés no extraurien l'aire sinó que l'introduirien; vegeu la forma de les pales a la figura 1.16.

FIGURA 1.16. Ventiladors axials



Segons el tipus de motor l'acció que cal prendre per tal d'efectuar el canvi de sentit de gir es representa a la taula 1.7.

TAULA 1.7. Canvi de sentit de gir

Mode d'arrencada i tipus de debanat	Acció
Arrencada directa i motors de pols commutables amb debanats independents	Intercanviar dos conductors de la regleta dels borns del motor.
Arrencada I/D i motors commutables amb debanat Dahlander	Intercanviar dos conductors de la xarxa d'alimentació de la combinació del contactor.
Monofàsics	Invertir Z1 per Z2 fase auxiliar.

2. Qualitat i seguretat de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

La qualitat aplicada als processos amb màquines elèctriques agrupa tota una sèrie d'aspectes més enllà de la durabilitat o la fiabilitat de la màquina en si mateixa, que és el que tradicionalment podríem entendre com a *qualitat*. Així, en realitat parlaríem:

- D'estandardització dels paràmetres de la màquina, segons normes internacionals
- De documentació de la instal·lació
- De documentació del manteniment i avaries
- De documentació de seguretat

Pel que fa a la seguretat, en la manipulació de màquines rotatives, tot tenint en compte els factors de risc que hi ha, s'hauran de prendre mesures:

- De prevenció
- De protecció

Sempre d'acord amb la normativa vigent sobre seguretat.

2.1 Qualitat i millora contínua de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

La part que s'encarrega de la qualitat és el sentit comú envers les necessitats del mercat.

Per poder estandarditzar la construcció d'equips elèctrics, com dimensions físiques, característiques constructives i d'operació, condicions de seguretat, condicions de servei i medi ambient i la simbologia utilitzada en la representació d'equips i sistemes, s'han creat les normes tècniques. En projectes elèctrics, les normes indiquen des de la manera com s'han de fer les representacions gràfiques, fins a especificar les formes de muntatge i prova a què s'han de sotmetre els equips.

Hi ha organismes internacionals, com:

- **IEC:** International Electrotechnical Commission

- **CIE** o **ICI**: Commission International de l'Eclairage o International Commission of Illumination
- **ANSI**: American National Standards Institute
- **ISO**: International Organization for Standardization
- **IEEE**: Institute of Electrical and Electronics Engineers

Actualment, tot el que no preveu internacionalment l'ISO (gestió i procediments) ho fa l'IEC (normes).

Després, hi ha organitzacions més comunes en continents, com les americanes o asiàtiques:

- **NEC**: National Electrical Code (EUA)
- **NEMA**: National Electrical Manufacturers Association (EUA)
- **JEC**: Japanese Electrotechnical Committee (Japó)

Dins de les normes europees, algunes de les més conegudes al nostre país són:

- **DIN**: Deutsches Institut für Normung; normes alemanyes generals, dins de les quals les normes **VDE** (Verband der Elektrotechnik und Elektronik mit Informationen über die Mitglieder) es dediquen als equips elèctrics. El seu àmbit d'influència ha acabat essent pràcticament paneuropeu.
- **BS**: British Standard (Gran Bretanya)
- **UTE**: Union Technique d'Electricité (França)
- **IEC**: International Electrotechnical Comisión (Europa)

I cada país té les seves pròpies normes, desenvolupades d'acord amb les necessitats i experiències acumulades pels especialistes, com són, al nostre país:

- **AENOR**: Associació Espanyola de Normalització
- **UNE**: Una Norma Espanyola
- **ITC-BT**: Instruccions Tècniques Complementàries de Baixa Tensió
- **NTE**: Normes Tecnològiques en l'Edificació

La normativa sobre les màquines elèctriques té dos grans camps d'aplicació: la fabricació, per un costat, en què ja es recullen per mitjà de molts assajos predictius unes característiques tècniques, que posteriorment són les bases del manteniment, i de l'altre el muntatge o instal·lació, que s'utilitzen per muntar els plànols de manteniment i per a la diagnosi.

Les normatives estan ben definides, encara que de vegades en la normativa d'un dels camps aparegui alguna reglamentació específica de l'altre camp, com

per exemple en les instruccions tècniques complementàries, que estableixen les normes de muntatge i posada en marxa de les màquines: hi ha normes que parlen de la tipologia de les màquines, qüestió que ha estat concebuda en la fabricació.

2.1.1 Qualitat en el muntatge industrial de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

Els fabricants de materials i màquines compliran els requisits pertinents de materials i procediments; durant el procés de fabricació, i sobretot una vegada fabricades, les màquines se sotmetran a uns assajos de verificació que les classificaran amb unes corbes i característiques de qualitat, i que posteriorment quedaran com a part de la documentació tècnica de la màquina. Es tracta de detectar amb anticipació errades greus, i poder optimitzar les tasques de diagnòstic i tendències.

Aquests assajos es registren en un document intern com el mostrat en la taula 2.1, i es comparen amb el comportament ideal.

TAULA 2.1. Contingut d'un document intern de registre d'assajos

Valors calculats			
Primer assaig		Segon assaig	
Capacitat en BF (nF)	69	Capacitat a 1 kHz (nF)	67
Primera tensió d'assaig (V)	498	Segona tensió d'assaig (V)	2493
Resistència aïllament (M Ω)		Resistència aïllament (M Ω)	
Resistència aïllament a 20 °C (G Ω)	0,3	Resistència aïllament a 20 °C (G Ω)	0,28
Índex de polarització	1,6	Índex de polarització	1,61
Constant de temps (s)	24,15	Constant de temps (s)	22,33
Intensitat de fuga (mA)	493,04	Intensitat de fuga (mA)	2522,29
Int. fuga normalitzada 20 °C (mA/VF)	28,67	Int. fuga normalitzada 20 °C (mA/VF)	29,64
Intensitat reabsorció (mA)	437	Intensitat reabsorció (mA)	2010
Int. reabsorció norm. 20 °C (mA/VF)	18,65	Int. reabsorció norm. 20 °C (mA/VF)	17,18
Int. reabs. norm 20 °C i gruix (ma/VFe)	10,97	Int. reabs. norm 20 °C i gruix (ma/VFe)	10,1
Relació int. fuga / int. reabsorció	1,54	Relació int. fuga / int. reabsorció	1,73
Índex d'absorció	1,26	Índex d'absorció	1,25
Relació de capacitats (%)	2,9	Relació tensions	5

Finalment, tots aquests registres s'especifiquen en fulls de seguiment (taula 2.2) on es dictamina l'estat, la previsió o la retirada de la màquina si fos necessari.

TAULA 2.2. Full de seguiment del procés de fabricació

Anàlisi i conclusions	Tendència de la màquina	
	Baixa freqüència (CC)	Alta freqüència (1 kHz)
Capacitats (nF)	69	67
Relació de capacitats (%)	2,9	
	Petita	
Tensions d'assaig (V)	498	2493
Resistència aïllament a 20 °C (MΩ)	0,3	0,28
	Molt bona	
Constant de temps (s)	24,15	22,33
	Molt dolenta	
Índex de polarització	1,6	1,61
	Aïllament humit o brut	
Int. fuga normalitzada 20 °C (mA/VF)	28,67	29,64
	Molt alta	
Int. reabsorció norm. 20 °C (mA/VF)	18,65	17,18
	Dolenta	
Int. reabs. norm 20 °C i gruix (ma/VFe)	10,97	10,1
	Descamació avançada: important grau d'ionització. Degradació avançada de l'aïllament	
Índex d'absorció del dielèctric	1,26	1,25
	Qualitat de l'aïllament dolenta	
Relació int. fuga / int. reabsorció	1,54	1,73
	Alta	

En la documentació tècnica apareixeran les proves fetes; algunes figuren amb un símbol representatiu com el de la figura 2.1.

FIGURA 2.1. Símbol de motor protegit contra explosions



A la figura 2.2 apareix una prova d'estanquitat.

FIGURA 2.2. Prova d'estanquitat



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

Les corbes característiques també s'obtenen en assajos; els assajos són el mitjà i les corbes són les especificacions de qualitat.

Altres proves s'abreugen o representen amb sigles i nombres:

- **IM** (*index mounting*), representen la forma constructiva.
- **IC** (*index cooling*), representen la ventilació.
- **IP** (*index protection*), representen el tipus de protecció.

Totes aquestes proves són característiques de la classe d'assajos que han passat les màquines segons l'**IEC 60034-6** i **60034-7**.

La taula 2.3 mostra un fragment d'una taula comercial amb algunes de les normes i peticions pertinents que compleixen les màquines, i que trobem a la documentació tècnica del fabricant.

TAULA 2.3. Normes que compleixen les màquines

Títol	IEC/EC	DIN EN
Disposicions generals, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-1, IEC 60085	DIN EN 60034-1
Determinació de les pèrdues i l'eficiència de màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-2	DIN EN 60034-2
Motors asíncrons trifàsics per a ús generalitzat en dimensions i potències normalitzades	IEC 60072, només dimensions de muntatge	DIN EN 50347
Comportament d'arrencada, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-12	DIN EN 60034-12
Designació de connexions, sentit de gir, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-8	DIN EN 60034-8
.		

TAULA 2.3 (continuació)

Títol	IEC/EC	DIN EN
Designació de formes constructives, instal·lació i posició de la caixa de borns	IEC 60034-7	DIN EN 60034-7
Introducció en la caixa de borns		DIN 42925
Protecció tèrmica incorporada	IEC 60034-11	DIN EN 60034-11
Límits de soroll, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-9	DIN EN 60034-9
Tensions normalitzades IEC	IEC 60038	DIN EN 60038
Tipus de refrigeració, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-6	DIN EN 60034-6
Vibracions mecàniques, màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-14	DIN EN 60034-14
Límits de vibracions		DIN ISO 10816
Graus de protecció en màquines rotatives elèctriques	IEC 60034-5	DIN EN 60034-5

A la figura 2.3 veieu un formulari comercial amb altres dades per fer peticions de comandes.

FIGURA 2.3. Dades de comanda

Motores normalizados hasta tamaño 315 L					
Motores con refrigeración natural sin ventilador externo - Series de aluminio 1LP7/1LP5					
Datos para selección y pedidos					
Potencia nominal con	Tamaño		Referencia	Precio	Peso
60 Hz	60 Hz	Tam.	Complementos de la referencia para tensión y forma constructiva, ver tabla siguiente		con forma const. IM B3 aprox.
P_N kW	P_N kW				m kg
2 polos, 3000 min ⁻¹ a 50 Hz, 3600 min ⁻¹ a 60 Hz, clase de aislamiento 155 (F), utilización según 155 (F), grado de protección IP55, potencia reducida					
0,12	0,14	63 M	1LP7 060-2AA□□		3,4
0,16	0,18	63 M	1LP7 063-2AA□□		3,9
0,19	0,22	71 M	1LP7 070-2AA□□		4,9
0,27	0,3	71 M	1LP7 073-2AA□□		6,4
0,35	0,40	80 M	1LP7 080-2AA□□		8,0
0,55	0,6	80 M	1LP7 083-2AA□□		9,6
0,82	0,95	90 S	1LP7 090-2AA□□		12,5
1,1	1,25	90 L	1LP7 096-2AA□□		15,2
1,3	1,5	100 L	▶ 1LP7 106-2AA □□		22,3
1,8	2,1	112 M	▶ 1LP7 113-2AA □□		29,0
2,5	2,9	132 S	▶ 1LP7 130-2AA □□		42,0
3,4	3,9	132 S	▶ 1LP7 131-2AA □□		51,0
5	5,7	160 M	▶ 1LP7 163-2AA □□		70,0
6	6,9	160 M	▶ 1LP7 164-2AA □□		82,0
7	8	160 L	▶ 1LP7 166-2AA □□		99,0
10	11,5	180 M	1LP5 183-2AA□□		112,0
13,5	15,5	200 L	1LP5 206-2AA□□		160,0
16,5	19	200 L	1LP5 207-2AA□□		182,0

Imatge cortesia de SIEMENS (<http://www.siemens.es/>)

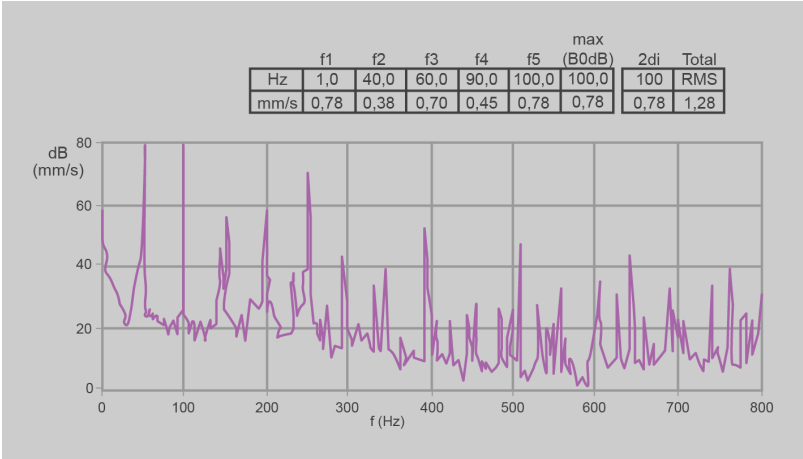
La figura 2.4 i figura 2.5 mostren el posicionament i els resultats de l'assaig **DIN-ISO 2372/0680**; són normes per a l'equilibrament dinàmic i el mètode Half Key (mitja claveta).

FIGURA 2.4. Assaig d'equilibrament



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

FIGURA 2.5. Assajos de vibracions en diverses banquetes



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

La ventilació forçada també complirà la seva norma de tolerància **DIN-EN-60034-1** (figura 2.6).

FIGURA 2.6. Tolerància de ventilació forçada

Características técnicas de la ventilación forzada (según tolerancia DIN EN 60034-1)						
Tamaño	Rango de tensión nominal V		Frecuencia Hz	Velocidad nominal min ⁻¹	Potencia consumida kW	Corriente nominal A
100	1 AC	230 a 277	50	2790	0,075	0,29
	3 AC	220 a 290 Δ	50	2830	0,086	0,27
	3 AC	380 a 500 Y	50	2830	0,086	0,16
	1 AC	230 a 277	60	3280	0,094	0,28
	3 AC	220 a 332 Δ	60	3490	0,093	0,27
	3 AC	380 a 575 Y	60	3490	0,093	0,16
112	1 AC	230 a 277	50	2720	0,073	0,26
	3 AC	220 a 290 Δ	50	2770	0,085	0,27
	3 AC	380 a 500 Y	50	2770	0,085	0,15
	1 AC	230 a 277	60	3000	0,107	0,31
	3 AC	220 a 332 Δ	60	3280	0,094	0,28
	3 AC	380 a 575 Y	60	3280	0,094	0,16
132	1 AC	230 a 277	50	2860	0,115	0,40
	3 AC	220 a 290 Δ	50	2880	0,138	0,45
	3 AC	380 a 500 Y	50	2880	0,138	0,24
	1 AC	230 a 277	60	3380	0,185	0,59
	3 AC	220 a 332 Δ	60	3470	0,148	0,41
	3 AC	380 a 575 Y	60	3470	0,148	0,24
160	1 AC	230 a 277	50	2780	0,236	0,96
	3 AC	220 a 290 Δ	50	2840	0,220	0,76
	3 AC	380 a 500 Y	50	2830	0,220	0,43
	3 AC	220 a 332 Δ	60	3400	0,284	0,94
	3 AC	380 a 575 Y	60	3400	0,284	0,56

Imatge cortesia de SIEMENS (<http://www.siemens.es/>)

La norma **IEC 60034-2-1**, adoptada com a norma UNE, presenta grans similituds amb la norma americana, principalment en el mode de determinació de pèrdues addicionals en càrrega i en la inclusió de nous procediments per a la determinació. Aquesta norma inclou diversos mètodes i procediments per a la determinació del rendiment, indicats en el fragment de taula comercial mostrat a la taula 2.4, on es destaca la necessitat característica bàsica d'equipament en cada mètode.

TAULA 2.4. Procediments per a la determinació del rendiment

Mètode	Necessitat bàsica
Mètodes directes	
Mesura directa del parell	Fre i mesurador de parell fins a plena càrrega
Màquina equilibrada	Una altra màquina completament equilibrada
<i>Back-to-back</i> , doble alimentació	Dues màquines idèntiques
Mètodes de pèrdues totals	
Mètode calorimètric	Embolcall tèrmic específic
<i>Back-to-back</i> , simple alimentació	Dues màquines idèntiques, de rotor bobinat
Suma de pèrdues, amb mesura del parell	
Pèrdues addicionals en càrrega a partir de la separació de pèrdues	Fre i mesurador de parell fins a un 25% per sobre de plena càrrega
Suma de pèrdues, sense mesura del parell	
Pèrdues addicionals en càrrega assignades	Mesurador de potències
Rotor desmuntat i assaig de rotació inversa	Motor auxiliar de pot. inferior a 5 cops les pèrdues del motor que s'ha d'assatjar
<i>Eh-Star</i>	Resistència per a un corrent un 50% per sobre del de plena càrrega
Circuit equivalent	Sistema de bloqueig del rotor

Moltes de les normes tenen convalidacions o equivalències amb les normes internacionals sobre motors, com es pot veure al fragment de taula mostrat a la taula 2.5.

TAULA 2.5. Equivalència de normativa internacional

		I	D	F	E	GB	EU
Descripció	IEC	CEI	VDE/VDE	NFC	DEC	BS	CENELEC
Caract. generals i de funcionament	IEC 34-1	CEI 2-3	VDE 0530-1	NFC 51-100	UNE 20111-95	BS 4999-1	EN 60034-1
Mètode de determinació de la pèrdua per rendiment	IEC 34-2	CEI 2-6	VDE 0530-2	NFC 51-112	UNE 20116-74	BS 4999-34	HD 53.2
		.	.	.	.	.	.

TAULA 2.5 (continuació)

Classificació IEC 34-5 del grau de protecció externa	IEC 34-5	CEI 2-16	VDE 0530-5	NFC 51-115	IR-89 UNE 20111-5	BS 4999-20	EN 60034-5
Formes constructives i tipus d'instal·lació	IEC 34-7	CEI 2-14	DIN IEC 34-7	NFC 51-117	UNE 20112-1-74 UNE 20112-2-74	BS 4999-22	EN 60034-7
Valors màxims de rumorositat	IEC 34-9	CEI 2-24	VDE 0530-9	NFC 51-119	UNE 20121-75	BS 4999-51	EN 60034-9
Arrencada del motor trifàsic d'una velocitat, 50 Hz, $V_{alim} \leq 660$ V	IEC 34-12	CEI 2-15	VDE 0530-12		UNE 20162-83	BS4999-112	EN 60034-12
Vibració mecànica del motor amb alçada de l'eix ≥ 56 mm	IEC 34-14	CEI 2-23	DIN ISO 2373	NFC51-111	UNE 20180-86	BS 4999-50	HD 53.14 S1
Dimensions de muntatge i pot. del motor trifàsic en forma IMB3	IEC 72	UNEL 13113	DIN 42673	NFC 51-105 NFC 51-120	UNE 20106-2-74 UNE 20106-240-80	BS 4999-10	HD 231
Dimensions de muntatge i pot. del motor trifàsic en forma IMB5 i IMB14	IEC 72	UNEL 13117/8	DIN42677	NFC 51-105 NFC 51-120	UNE 20106-2-74 UNE 20106-2-IC-80	BS 4999-10	HD 231
Extrem cilíndric per a l'eix del motor	IEC 72	UNEL 13502	DIN 784-3	NFC 51-111	UNE 20106-2-74 UNE 20106-16-80	BS 4999-10	HD 231

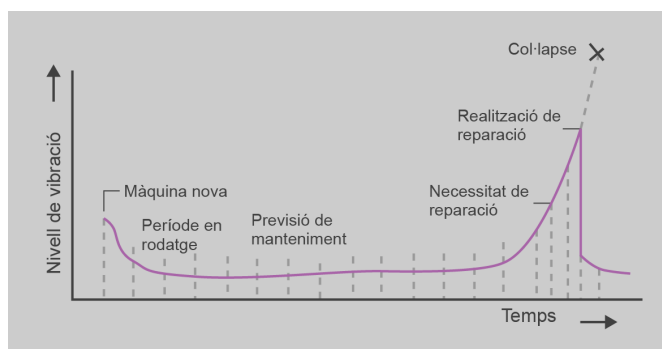
La norma **UNE-EN 60034-7**, per exemple, especifica les diferents formes constructives de fixació dels motors i la situació de la placa de borns a la carcassa (figura 2.7).

FIGURA 2.7. Formes constructives dels motors

Motors per fixar amb potes	Motors per fixar amb brides	Motors sense escut
IM B3 (IM 1001) 	IM B5 (IM 3001) Brida de subjecció forma A DIN 42948 en el costat de l'accionament 	IM B9 (IM 9101) Sense escut ni rodament en el costat de l'accionament 
IM B6 (IM 1051) 	IM VI (IM 3011) Brida de subjecció forma A DIN 42948 en el costat de l'accionament 	IM V8 (IM 9111) Sense escut ni rodament en el costat de l'accionament 
IM B7 (IM 1061) 	IM V3 (IM 3031) Brida de subjecció forma A DIN 42948 en el costat de l'accionament 	IM V9 (IM 9131) Sense escut ni rodament en el costat de l'accionament 
IM B8 (IM 1071) 	IM B35 (IM 2001) Brida de subjecció forma A DIN 42948 en el costat de l'accionament 	IM B15 (IM 1201) Sense escut ni rodament en el costat de l'accionament 

2.1.2 Qualitat en la instal·lació i el manteniment

La qualitat en el manteniment, quant a tasques i temps, es deriva bàsicament de la documentació aportada pels fabricants, amb dades com ara el temps de vida útil. Es complementa amb les normatives d'instal·lació. Amb aquesta documentació i amb les tècniques de manteniment es confeccionen els plans de manteniment, que juntament amb els procediments normalitzats, integren la gestió del manteniment, i es fan certificar per part de l'organisme autoritzat. La figura 2.8 mostra el temps de vida estimada en funció de la vibració del motor.

FIGURA 2.8. Estimació de vida en funció de la vibració

Les normes **EN 60898** i **EN 60947** regulen els temps de disparament tèrmic i magnètic.

La classe de servei (*S* de 2 a 10) especifica l'ús i la freqüència d'ús, i apareix a la placa.

En el sistema de qualitat és important que tota acció quedi registrada.

2.2 Seguretat i prevenció de riscos en les màquines elèctriques rotatives de corrent altern

Si bé és cert que la freqüència dels accidents elèctrics és relativament baixa, el seu índex de gravetat, en què es pot arribar a la mort, té una proporció molt alta. Els accidents produïts per l'electricitat representen:

- El 0,3% del total dels accidents de treball amb baixa laboral associada
- L'1% dels accidents que provoquen incapacitats permanents
- El 4% dels accidents mortals

La falta de coneixements i de precaucions adequades en l'ús de l'electricitat creen riscos que poden derivar en accidents. S'entén per risc elèctric la possibilitat que circuli un corrent elèctric pel cos humà. Els factors que s'han de complir perquè circuli el corrent elèctric són dos:

- Que hi hagi una tensió elèctrica.
- Que el circuit sigui o pugui ser tancat.

2.2.1 Factors de risc elèctric

La gravetat de l'accident, que pot arribar a l'electrocució, es pot mesurar mitjançant dos factors:

1. Temps de contacte
2. Intensitat del corrent

Aquests dos conceptes condicionen el grau de les lesions produïdes, encara que altres factors també poden influir en el risc elèctric (humitat, presència d'agents químics, etc.).

Temps de contacte

El temps màxim de contacte o llindar absolut del temps en què no es pot produir la fibril·lació del cor és de 0,03 segons. Per a temps d'1 a 3 segons de durada dels contactes elèctrics, la fibril·lació es produeix per a intensitats a partir de 50 mA.

Intensitat del corrent

La resistència mínima del cos és 1.000Ω . La intensitat màxima suportable pel cos sense risc de dany és 25 mA.

Si multipliquem les dues ens dona la tensió màxima que es pot produir en extrems del cos, que és precisament la tensió que autoritza el Reglament electrotècnic per a baixa tensió en locals humits o molls.

La tensió o voltatge

Davant del risc elèctric...

... per exemple, un quadre elèctric sense grau IP adequat de protecció, la prevenció serà:

- Dotar el quadre de la instal·lació, quan es trobi sotmès a agents atmosfèrics, d'un grau de protecció IP65.
- Les caixes de connexió estaran estancades.

El perill real amb l'electricitat ve quan es forma un pas entre els punts on hi ha la tensió i una part del cos: la tensió per si sola no té influència decisiva, però sí amb relació a la resistència que posi el cos humà al pas del corrent que aquella tensió porta associat.

La cadira elèctrica

Als EUA, quan es va començar a utilitzar la cadira elèctrica per a execucions, s'empraven tensions d'uns 2.000 V, i havia passat que, després de suportar el condemnat la tensió reglamentària durant alguns minuts, *tornava a la vida* quan cessava el corrent sense més danys que algunes cremades (i amb la condemna acomplida); això era perquè la intensitat que rebia era inferior als 4 A, i l'efecte que s'obtenia era una paràlisi temporal dels centres nerviosos. En canvi, quan es va reduir la tensió a 400 V, augmentant el corrent, es produïa la mort inevitablement per fibril·lació del cor.

Resistència del cos

La resistència del cos és un factor molt variable (de 500Ω a $100 \text{ k}\Omega$). La resistència de l'organisme al pas del corrent elèctric depèn del següent:

- La resistència pròpia de la pell
- La resistència interna del cos.

La quantitat de corrent que passarà pel cos es pot saber per la llei d'Ohm: a mesura que augmenta la resistència, si la tensió és invariable i constant, disminueixen les conseqüències. Interessa augmentar la resistència.

Recorregut del corrent

El corrent elèctric s'estableix sempre entre els punts de contacte de menys resistència.

Els recorreguts per al corrent més perillosos en un contacte sobre el cos humà són els que afecten al capdavant, tòrax i cor, i són els següents:

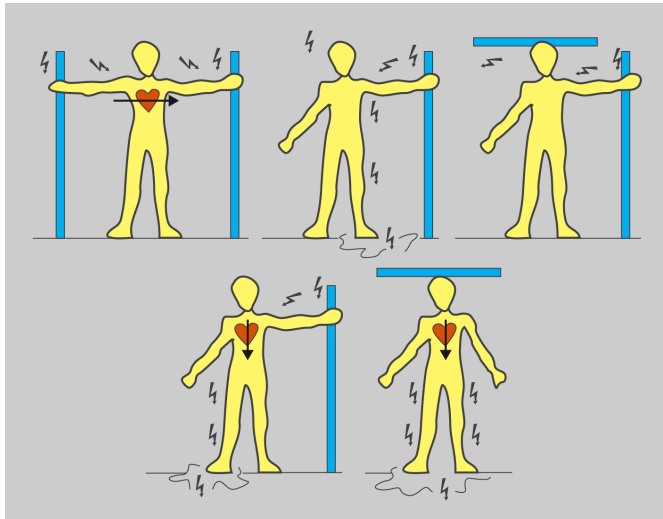
1. Mà - peu o viceversa
2. Mà - cap

3. Mà dreta - mà esquerra

4. Peu dret - peu esquerre

En la figura 2.9 podeu observar els possibles recorreguts del corrent a través del cos humà.

FIGURA 2.9. Recorregut del corrent pel cos humà



Freqüència del corrent

Les companyies subministradores espanyoles subministren corrent altern de 50 Hz. Per a freqüències superiors a aquesta, calen intensitats de corrent majors per produir els mateixos efectes nocius.

Naturalesa de l'accidentat

No s'ha d'oblidar que la capacitat de reacció de l'individu que rep una descàrrega elèctrica és un factor variable en funció del següent:

- Estat anímic
- Edat
- Sexe
- Etc.

El següent augmenta la sensibilitat als efectes del corrent elèctric:

- Gana
- Set
- Son

- Fatiga
- Embriaguesa
- Por

Les persones adormides resisteixen millor el corrent elèctric que despertes.

2.2.2 Prevenció

Davant del risc elèctric...

... com en la falta de revisió de cables d'alimentació dels motors, la prevenció és revisar trimestralment els cables d'alimentació per detectar possibles fallades d'aïllament.

Les mesures de seguretat per prevenir accidents elèctrics poden ser:

- Mesures informatives
- Mesures protectores

La seguretat és qüestió de tot el personal. Les mesures informatives són de dues classes:

1. **Informació dels riscos:** amb els senyals de perill que van dirigits a tothom.
2. **Informació al personal:** tots els treballadors relacionats amb l'electricitat han de ser instruïts dels riscos que comporta el seu treball i de les precaucions que han d'adoptar per combatre'ls.

Davant del risc elèctric...

... com l'absència de protecció contra sobrecàrregues i contactes elèctrics indirectes (en molts casos la protecció és només amb fusibles), la prevenció és dotar la instal·lació de protecció contra sobrecàrregues i contra contactes elèctrics indirectes.

Aquesta informació comprèn les normes generals de seguretat en matèria d'instal·lacions elèctriques i a més les pròpies de les feines que duen a terme els operaris.

Les mesures protectores poden anar adreçades al següent:

1. **Personal:** els mitjans utilitzats pels treballadors de la indústria elèctrica per a aquesta protecció elèctrica, són els següents:
 - Casc protector
 - Perxes de maniobra
 - Guants aïllants
 - Banquetes aïllants
 - Calçat aïllant
 - Eines amb mànec aïllant
2. **Instal·lacions:** les proteccions a les instal·lacions elèctriques tenen per objecte reduir els riscos. Les més emprades són les següents:
 - Presa de terra de les parts metàl·liques que no han d'estar en tensió
 - Aïllament amb tanques de les instal·lacions d'alta tensió
 - Muntatge d'interruptors diferencials a les instal·lacions de baixa tensió
 - Utilització de tensions de seguretat

2.2.3 Mesures de protecció

S'ha de tenir en compte que l'absència d'accidents durant el funcionament d'una màquina sense els mitjans de protecció necessaris durant un temps determinat no significa que les parts o mòbils de la màquina no siguin perillosos.

El principi fonamental és que, llevat que la posició mateixa del punt o zona de perill en garanteixi la seguretat, les màquines han d'estar proveïdes d'un dispositiu adequat que elimini o redueixi el perill abans que es pugui accedir a aquest punt o zona de perill.

Aquest principi fonamental es pot desglossar en els 3 següents:

1. El punt o zona de perill ha de ser segur per la seva pròpia posició o per la col·locació a la màquina.
2. La protecció que impedeixi o dificulti l'accés al punt o zona de perill.
3. La màquina ha d'estar proveïda d'un adequat medi de protecció, que elimini o redueixi el perill abans que pugui arribar al punt o zona de perill.

Com que és difícil garantir que la màquina està dissenyada de manera segura, s'han de preveure els mitjans de protecció adequats, allà on sigui raonablement previsible l'existència d'un possible punt o zona de perill. A la figura 2.10 es mostren alguns senyals de perill elèctric.

FIGURA 2.10. Senyals de perill elèctric

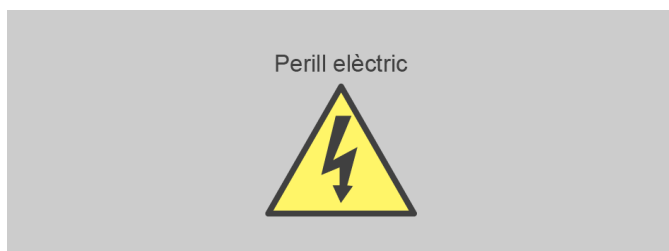


FIGURA 2.11



FIGURA 2.12



FIGURA 2.13



Mitjans de protecció

Per establir el grau de seguretat en una màquina s'ha de seguir un mètode que reculli els punts següents:

1. **Descripció dels perills:** una màquina pot generar perills molt diversos:

- Perills mecànics, que poden donar lloc a lesions per aixafada, tall, enganxada, impacte, fricció, abrasió, projeccions, etc. Aquests perills solen estar condicionats per la forma de les màquines, els òrgans en moviment, la seva resistència, la seva velocitat, etc.
- Perills elèctrics, com a conseqüència de contactes directes o indirectes, per fenòmens electrostàtics o per sobrecàrregues.
- Perills tèrmics, que donen lloc a cremades provocades per materials o peces a molt alta o baixa temperatura.
- Perills originats per sorolls, vibracions o radiacions.
- Perills produïts per materials o substàncies utilitzades en els processos, i que poden donar lloc a inhalacions i intoxicacions.
- Perills deguts a defectes en un deficient disseny ergonòmic dels llocs de treball que provoquen fatigues innecessàries.

2. **Zonificar les màquines:** cal dividir la màquina en diferents subconjunts per poder analitzar-los independentment. Podem considerar 7 zones diferents:

- I: punt d'operació. Lloc on es du a terme el treball.
- II: part cinètica. Motor, transmissions, etc.

- III: peça per treballar. La peça pròpiament dita.
 - IV: alimentació. Sistemes d'alimentació.
 - V: serveis auxiliars. Refrigeració, greixatge, etc.
 - VI: òrgans de control. D'energia, de serveis, etc.
 - VII: entorn ambient. Entorn del lloc de treball.
3. **Establir la correlació zones-perill:** mitjançant una fitxa podem descobrir les zones sense risc i les que sí que representen algun risc. En aquest últim cas hem de conèixer el grau de protecció de les zones esmentades.
4. **Selecció d'accions correctores:** quan es planteja una mesura de seguretat, hem de tenir en compte que s'ha de mantenir un equilibri entre el següent:
- La fiabilitat de la mesura
 - El cost econòmic
 - Els inconvenients que dona la mesura

Selecció de les mesures de seguretat

La primera pregunta que ens hem de plantejar per analitzar les mesures de seguretat en les màquines és si aquestes estan o no integrades a la màquina.

La normativa vigent de seguretat en les màquines estableix la prevenció integrada, ja que han d'estar dissenyades de manera que les persones no estiguin exposades a risc. Cal utilitzar-les, muntar-les i fer el manteniment d'acord amb les condicions previstes pel fabricant.

Aquestes condicions han de tenir en compte les consideracions següents:

- Ser resistents a ruptures durant el servei.
- Subjecció de certes parts de les màquines que poden incidir en les persones.
- Evitar les caigudes de les màquines per manca d'estabilitat.
- Eliminar arestes agudes o tallants.
- Evitar les caigudes a diferent nivell.
- Evitar contactes amb superfícies calentes o fredes.
- Prendre mesures per evitar els incendis.
- Evitar la projecció de líquids, gasos i vapors.
- Subjecció de les peces per treballar.
- Protecció dels òrgans de transmissió.
- Tenir en compte els elements i peces mòbils.
- Considerar l'alimentació d'energia elèctrica.

- Considerar les canonades a pressió.
- Controlar els agents químics i físics.
- Estudiar un disseny ergonòmic.
- Que hi hagi facilitat d'accés als llocs de comandament.
- Disseny en el manteniment i ajustament.
- Protecció en el punt d'operació:
 - Eliminació i reducció de riscos
 - Protecció
 - Advertència
 - Dispositius suplementaris

La falta de neteja al centre de treball de la qual no es derivi cap risc per a la integritat física o la salut del treballador és una falta lleu i, per tant, sotmesa a sanció.

2.2.4 Maneig d'eines manuals

Tant en l'àmbit laboral com en la vida quotidiana és freqüent l'ús d'eines manuals.

La utilització correcta és fonamental per evitar accidents, ja que un ús inadequat provoca:

- 8% dels accidents lleus,
- 3% dels accidents greus,
- 0,3% dels accidents mortals.

Les eines s'han de transportar en caixes, bosses i cinturons (cinturó portaeines) dissenyats especialment, i mai a la butxaca.

La part del cos més afectada pels accidents són les mans (en un 30% dels accidents).

Regles generals de maneig d'eines manuals

Les eines manuals:

- Només s'han d'emprar per a la finalitat per a la qual van ser creades.
- No s'han d'usar si es troben en mal estat o tenen defectes que en dificultin la utilització, com ara desgast, etc.
- Eines i mans han d'estar perfectament netes, per a una subjecció correcta.

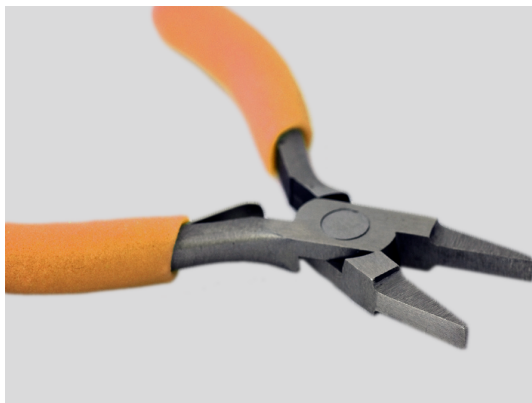
Regles específiques de maneig d'eines manuals

Vegem les normes que s'han de tenir en compte per treballar amb seguretat amb diferents tipus d'eines.

- **Alicates** (figura 2.14):

- No s'han d'utilitzar per estrènyer o afloixar femelles, ja que, a més de fer esforços anormals, s'arrodoneixen les femelles.
- Si s'utilitzen amb elements sotmesos a tensió, han d'estar aïllades.
- S'han d'utilitzar amb la finalitat per a la qual van ser creades (per exemple, no utilitzar-les com a martell).

FIGURA 2.14. Alicates



Imatge: Jarod Carruthers a <http://goo.gl/5cmGm>

- **Tornavisos** (figura 2.15):

- Tenen una funció ben definida: cargolar i descargolar.
- No s'han d'emprar com a palanca o cisell, ni per perforar.
- El xamfrà ha de permetre l'adaptació als cargols.
- Cal utilitzar l'adequat a cada tipus de ranura.
- Cal substituir-los quan el mànec estigui espatllat.
- No s'ha de subjectar la peça amb el palmell de la mà, ja que si el tornavís rellisca pot provocar l'accident.

FIGURA 2.15. Tornavisos

Imatge: Vaguely Artistic a <http://goo.gl/LiFDJ>

Les eines que puguin estar en tensió elèctrica hauran de portar el corresponent aïllament.

- Amb les **eines elèctriques portàtils**, com la de la figura 2.16, cal:
 - Inspeccionar periòdicament els endolls i allargadors: revisar la funda protectora dels fils i les connexions de les clavilles.
 - Evitar posar aquest tipus d'eines sobre llocs humits.
 - Efectuar les preses de corrent amb clavilles normalitzades, mai directament sobre els cables.
 - En utilitzar eines giratòries (esmoladores, polidores...) mantenir-se fora del radi de rotació del disc.
 - En llocs humits o en locals on se sua molt, utilitzar transformadors que redueixin la tensió a menys de 50 V.

FIGURA 2.16. Eines elèctriques portàtils (trepant)

Imatge: aseba a <http://goo.gl/0QAeG>

En cas d'avaria

El cables no s'han de reparar amb cinta aïllant, ja que amb el temps perd poder adhesiu i absorbeix la humitat. S'han de reemplaçar per altres de nous.

- Pel que fa a les **eines pneumàtiques portàtils**, com les de la figura 2.17, cal:

- Vigilar periòdicament que els ràcords i l'eina estiguin ben acoblats a la màquina en qüestió.
- Mantenir les mànegues d'aire comprimit fora dels passadissos i zones de passada per evitar ensopegar-hi o que puguin ser atrapades per rodes de vehicles.
- Mai no s'ha de doblegar la mànega per tallar l'aire, sinó que s'ha d'interrompre des de la font d'alimentació.
- No dirigir l'aire a pressió cap a les persones.

FIGURA 2.17. Eines pneumàtiques portàtils



Imatge: chiaraogan a <http://goo.gl/CMqIR>

- Les **limes**, mostrades a la figura 2.18:
 - Són d'acer temperat, per la qual cosa poden resultar fràgils. Resulta molt perillós copejar o fer palanca amb una llima, ja que es pot trencar.
 - Han d'estar proveïdes d'un mànec amb abraçadora.
 - Cal introduir al mànec la longitud adequada i de manera que quedi alineada amb el seu eix.
 - Han d'estar netes.

Les eines que siguin punxants o tallants hauran d'estar afilades correctament i desades en fundes protectores quan no s'utilitzin.

FIGURA 2.18. Limes



Imatge: CosmoCAX a <http://goo.gl/elYTQ>

- A la figura 2.19 veiem les **serres**, amb què hem de tenir el manteniment següent:
 - Les dents han d'estar en bones condicions.
 - Les serres de metalls han d'estar tensades convenientment.
 - Cal immobilitzar la peça que es vol tallar. En començar el tall es guiarà la fulla amb el polze fins que comenci a tallar, i a continuació es retirarà.
 - Cal no fer una força excessiva que pugui fer que la fulla es doblegui o es trenqui.
 - Cal desar-les en fundes adequades per evitar talls accidentals.

FIGURA 2.19. Serres



Imatge: jwcline a <http://goo.gl/JAdzz>

- Les **claus**, com les de la figura 2.20:
 - Les claus fixes i les ajustables o angleses s'ampren per estrènyer o afloixar femelles.
 - Les seves dimensions permeten fer manualment el major esforç que poden suportar, per la qual cosa no s'han d'utilitzar accessoris com ara tubs per augmentar la força.
 - S'han d'adaptar perfectament al capdavant del cargol, i col·locar-se perpendicularment a l'eix del cargol.
 - En usar claus angleses, la mandíbula fixa cal col·locar-la al costat oposat a la direcció del moviment que s'efectua.

- És més segur estirar la clau que empènyer-la.

FIGURA 2.20. Claus



Imatge: sgrace a <http://goo.gl/Af66j>

- A la figura 2.21 tenim les **tenalles**:
 - S'empren per arrencar claus i tallar filferros i peces metàl·liques de resistència i seccions reduïdes.
 - Algunes no estan dissenyades per subjectar peces.
 - Els seus braços han de deixar l'espai suficient perquè l'operari no s'enganxi els dits.
 - No s'han d'utilitzar com a martell.

FIGURA 2.21. Tenalles



Imatge: Noel C. Hankamer a <http://goo.gl/F6STJ>

2.2.5 L'electricitat estàtica

S'entén per **electricitat estàtica** aquella que es produeix quan es freguen dues substàncies de diferents constants dielèctriques i almenys una no és conductora.

Aquest fenomen pot ocasionar una descàrrega. Això passa amb certa facilitat i freqüència, per la qual cosa els riscos que se'n deriven són elevats.

Algunes situacions en les quals amb freqüència es produeix electricitat estàtica són:

- Transport de fluids per canonades
- Fabricació de paper
- Pintar objectes amb pistola per polvorització
- Etc.

Electricitat estàtica:
perill d'incendi o explosió



Descàrrega per electricitat estàtica

L'efecte de les càrregues elèctriques sobre les persones no té més transcendència que la molèstia que se sent en el moment de saltar l'espurna. El veritable risc és l'incendi o explosió que es pot presentar quan a l'ambient hi ha pols, gasos o vapors inflamables o explosius.

Per evitar aquest risc convé establir unes sèrie de mesures preventives, com ara:

- Presa de terra per a cisternes d'emmagatzemament i transport.
- Bona ventilació, per evitar l'acumulació de vapors inflamables.
- Manteniment adequat del grau d'humitat dels locals. Es mantindrà la humitat relativa de l'aire sobre un 50%.

2.2.6 Normativa sobre seguretat i prevenció de riscos en les màquines elèctriques de corrent altern

Les proteccions contra sobreintensitats i curtcircuits es dimensionen amb les instruccions **ITC-BT-22** i **32**.

Segons la **ITC-BT-47** els conductors d'alimentació d'un motor s'han de dimensionar un 125% de la intensitat a plena càrrega del motor.

En la **ITC-BT-47** s'estableixen les normes d'arrencada dels motors.

Tots els materials compliran unes normes derivades del bon fer, la qualitat i la seguretat; per exemple, els elements per fer actuar els motors, com els contactors, compleixen les categories d'utilització **IEC 60 947 (VDE 0660) AC**, categoria d'ús per a voltatges AC:

- AC-1. Càrregues no inductives o feblement inductives
- AC-2. Motors d'anells arrossegants: arrencada, aturada
- AC-3. Motors d'inducció de gàbia d'esquirol: arrencada, desacceleració i tall en funcionament
- AC-4. Motors d'inducció de gàbia d'esquirol: servei intermitent, inversió de gir