

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

IEC 60034-2: 2007
(Publicada por la IEC en 1974)

**MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS—PARTE 2: MÉTODO
PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS Y EL
RENDIMIENTO DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS
ROTATIVAS A PARTIR DE LOS ENSAYOS (EXCEPTO LAS
MÁQUINAS PARA VEHÍCULOS DE TRACCIÓN)
[IEC 60034-2:1974, IDT + A1 (1995-04) = A2 (1996-11)]**

Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

La versión oficial en español de la Norma Internacional IEC 60034-2:1974 *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)* es adoptada como Norma Nacional idéntica con la referencia NC-IEC 60034-2:2007, la cual incluye las Modificaciones A1 (1995-04) y A2 (1996-11).

ICS: 29.180

1. Edición Junio 2007
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 36 de Electroenergética, en el cual están representadas las siguientes entidades:
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
 - Ministerio de la Industria Sideromecánica
 - Ministerio de Economía y Planificación
 - Ministerio del Transporte
 - Instituto Nacional de la Vivienda
 - Ministerio de Trabajo y Seguridad Social
 - Oficina Nacional de Normalización
- Es una adopción idéntica de la versión oficial en español de la Norma Internacional IEC 60034-2:1974 e incorpora las modificaciones (enmiendas) A1 (1995-04) y A2 (1996-11).

© NC, 2007

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

NORMA INTERNACIONAL

**CEI
IEC
60034-2**

1972-01

+ 60034-2A

Tercera edición
1974-01

Versión oficial en español

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 2:

Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)

Rotating electrical machines

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

Machines électriques tournantes

Partie 2:

Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)

© CEI 1974 } Reservados todos los derechos de reproducción
© AENOR 1998 }

Ninguna parte de esta publicación se puede reproducir ni utilizar de cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o microfilm, sin el permiso por escrito de los editores.

Secretaría Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 3 rue de Varembe. GINEBRA, Suiza

Sede Central de AENOR, C Génova, 6. 28004 MADRID, España



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CÓDIGO DE
PRECIO

V

Para información sobre el precio de esta norma, véase catálogo en vigor.

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

ÍNDICE

| | Página |
|--|---------------|
| ANTECEDENTES | 4 |
| ÍNDICE DE LA NORMA CEI 34-2:1972 | 6 |
| ÍNDICE DE LA NORMA CEI 34-2A:1974 | 29 |

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)

ANTECEDENTES

- 1) CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) es una organización mundial para la normalización, que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales (Comités Nacionales de CEI). El objetivo de CEI es promover la cooperación internacional sobre todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctrico y electrónico. Para este fin y también para otras actividades, CEI publica Normas Internacionales. Su elaboración se confía a los comités técnicos; cualquier Comité Nacional de CEI que esté interesado en el tema objeto de la norma puede participar en su elaboración. Organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con CEI también participan en la elaboración. CEI colabora estrechamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO), de acuerdo con las condiciones determinadas por acuerdo entre ambas.
- 2) Las decisiones formales o acuerdos de CEI sobre materias técnicas, expresan en la medida de lo posible, un consenso internacional de opinión sobre los temas relativos a cada comité técnico en los que existe representación de todos los Comités Nacionales interesados.
- 3) Los documentos producidos tienen la forma de recomendaciones para uso internacional y se publican en forma de normas, informes técnicos o guías y se aceptan en este sentido por los Comités Nacionales.
- 4) Con el fin de promover la unificación internacional, los Comités Nacionales de CEI se comprometen a aplicar de forma transparente las Normas Internacionales de CEI, en la medida de lo posible en sus normas nacionales y regionales. Cualquier divergencia entre la Norma CEI y la correspondiente norma nacional o regional debe indicarse de forma clara en ésta última.
- 5) CEI no establece ningún procedimiento de marcado para indicar su aprobación y no se le puede hacer responsable de cualquier equipo declarado conforme con una de sus normas.
- 6) Se debe prestar atención a la posibilidad de que algunos de los elementos de esta Norma Internacional puedan ser objeto de derechos de patente. No se podrá hacer responsable a CEI de identificar alguno o todos esos derechos de patente.

Esta recomendación ha sido elaborada por el subcomité 2D, Pérdidas y Eficiencia, del comité técnico N° .2 de CEI: Máquinas Rotativas. Reemplaza a la segunda edición publicada en 1960.

Los trabajos de revisión comenzaron en la reunión de Tokio en 1965, y un posterior borrador fue debatido en Londres en 1968. Como resultado de este último encuentro un borrador final fue sometido a la aprobación de los Comités nacionales, siguiendo la regla de los seis meses, en noviembre de 1969.

Los siguientes países votaron explícitamente a favor de esta publicación:

| | |
|----------------------------------|--|
| Alemania | Israel |
| Australia | Italia |
| Austria | Japón |
| Bélgica | Noruega |
| Corea (República Democrática de) | Polonia |
| Dinamarca | Reino Unido |
| Estados Unidos de América | Sudáfrica |
| Finlandia | Suecia |
| Francia | Suiza |
| Holanda | Turquía |
| Hungría | Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas |

En esta edición se incluye el primer suplemento a la publicación 34-2 (1972), la publicación 34-2A (1974).

Esta recomendación ha sido elaborada por el subcomité 2D, Pérdidas y Eficiencia, del comité técnico Nº 2 de CEI: Máquinas Rotativas.

Constituye el primer complemento a la publicación 34-2 de CEI: Máquinas eléctricas rotativas, parte 2.

Un primer borrador de este complemento fue debatido en las reuniones de Londres en 1968 y de Bucarest en 1970. Como resultado de la última reunión un borrador definitivo, el documento 2D(Oficina Central)17, fue sometido a la aprobación de los comités nacionales siguiendo la Regla de los Seis Meses en agosto de 1971. Las modificaciones, el documento 2D(Oficina Central)19, fueron sometidas a la aprobación de los comités nacionales siguiendo el Procedimiento de los dos Meses en febrero de 1973.

Los siguientes países votaron explícitamente a favor de esta publicación:

| | |
|---------------------------|--|
| Alemania | Japón |
| Australia | Noruega |
| Austria | Polonia |
| Bélgica | Portugal |
| Dinamarca | Reino Unido |
| Egipto | Rumania |
| España | Sudáfrica |
| Estados Unidos de América | Suecia |
| Finlandia | Suiza |
| Francia | Turquía |
| Israel | Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas |
| Italia | Yugoslavia |

Forma parte de una serie de recomendaciones que versan sobre máquinas eléctricas rotativas, cuyas otras partes son:

Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento (Publicación 34-1 de CEI).

Parte 3: Reglas específicas para las turbomáquinas síncronas (Publicación 34-3 de CEI).

Parte 4: Métodos para la determinación de las magnitudes de las máquinas síncronas a partir de ensayos (Publicación 34-4 de CEI).

Parte 5: Clasificación de los grados de protección proporcionados por las envolventes de las máquinas eléctricas rotativas (Código IP) (Publicación 34-5 de CEI).

Parte 6: Métodos de refrigeración (Código IC) (Publicación 34-6 de CEI).

ÍNDICE DE LA NORMA CEI 34-2:1972

| | | Página |
|---|---|--------|
| SECCIÓN UNO – GENERALIDADES | | |
| 1 | CAMPO DE APLICACIÓN | 8 |
| 2 | OBJETO | 8 |
| 3 | GENERALIDADES | 8 |
| 3.1 | Lista de símbolos | 8 |
| 4 | DEFINICIONES | 9 |
| 4.1 | Rendimiento | 9 |
| 4.2 | Pérdidas totales | 9 |
| 4.3 | Ensayo al freno | 9 |
| 4.4 | Ensayo con máquina auxiliar tarada | 9 |
| 4.5 | Ensayo en oposición | 10 |
| 4.6 | Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red | 10 |
| 4.7 | Ensayo de deceleración | 10 |
| 4.8 | Ensayo calorimétrico | 10 |
| 4.9 | Ensayo en vacío | 11 |
| 4.10 | Ensayo en circuito abierto | 11 |
| 4.11 | Ensayo de cortocircuito permanente | 11 |
| 4.12 | Ensayo con factor de potencia cero | 11 |
| 5 | TEMPERATURA DE REFERENCIA | 11 |
| SECCIÓN DOS – MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA | | |
| 6 | PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE | 11 |
| 6.1 | Pérdidas en el circuito de excitación | 11 |
| 6.2 | Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad) | 12 |
| 6.3 | Pérdidas en carga (Pérdidas normales dependientes de la intensidad) | 12 |
| 6.4 | Pérdidas adicionales en carga | 12 |
| 7 | DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO | 12 |
| 7.1 | Suma de pérdidas | 12 |
| 7.2 | Medida de las pérdidas totales | 16 |

SECCIÓN TRES – MÁQUINAS DE INDUCCIÓN POLIFÁSICAS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 8 | PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE | 16 |
| 8.1 | Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad) | 16 |
| 8.2 | Pérdidas en carga (Pérdidas dependientes de la intensidad) | 17 |
| 8.3 | Pérdidas adicionales en carga | 17 |
| 9 | DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO | 17 |
| 9.1 | Suma de pérdidas | 17 |
| 9.2 | Medida de las pérdidas totales | 20 |

SECCIÓN CUATRO – MÁQUINAS SÍNCRONAS

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 10 | PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE | 21 |
| 10.1 | Pérdidas constantes (pérdidas independientes de la intensidad) | 21 |
| 10.2 | Pérdidas en carga (pérdidas normales dependientes de la intensidad) | 21 |
| 10.3 | Pérdidas del circuito de excitación | 21 |
| 10.4 | Pérdidas adicionales con la carga | 21 |
| 11 | DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO | 22 |
| 11.1 | Suma de pérdidas | 22 |
| 11.2 | Medida de las pérdidas totales | 24 |

SECCIÓN CINCO – MÉTODOS DE ENSAYO

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 12 | GENERALIDADES | 25 |
| 13 | MÉTODO DEL MOTOR TARADO | 26 |
| 14 | ENSAYO CON FACTOR DE POTENCIA CERO | 26 |
| 15 | MÉTODO DE DECELERACIÓN | 26 |
| 16 | ENSAYO EN OPOSICIÓN | 28 |
| 17 | ENSAYO CALORIMÉTRICO | 28 |
| 18 | RELACIÓN DE ENSAYOS PREFERENTES | 28 |
| 18.1 | Máquinas de corriente continua | 28 |
| 18.2 | Máquinas de inducción polifásicas | 28 |
| 18.3 | Máquinas síncronas | 28 |

SECCIÓN UNO – GENERALIDADES

1 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a todas las máquinas eléctricas rotativas, de corriente continua y alterna, síncronas y de inducción, de todas las dimensiones que son objeto de la Norma CEI 34-1 (se excluyen las máquinas para vehículos de tracción). Algunos tipos especiales de máquinas, tales como las conmutatrices, motores de colector y motores de inducción monofásicos pueden exigir la aplicación de otros métodos de determinación de pérdidas, pero sin embargo, los principios contenidos en esta norma pueden adaptarse para la definición de dichos métodos.

2 OBJETO

Esta norma tiene por objeto definir los métodos de determinación del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de ensayos, e igualmente, especificar los métodos que permiten determinar pérdidas de cierta naturaleza cuando sea preciso conocerlas con otro objeto.

3 GENERALIDADES

Los ensayos se efectuarán con una máquina en perfecto estado, con todos sus elementos montados como en funcionamiento normal. Los dispositivos de regulación, de tensión automáticos que no constituyan parte integrante de la máquina, se desconectarán, salvo especificación en contrario.

Salvo especificación en contrario los aparatos de medida y sus accesorios tales como los transformadores de medida, shunts y puentes utilizados durante estos ensayos serán de una clase de precisión que no exceda de 1,0 (Norma CEI 51: Recomendaciones para los aparatos de medidas eléctricas indicadores de acción directa y sus accesorios). Los aparatos utilizados para determinar la resistencia en corriente continua serán de una clase de precisión que no exceda de 0,5.

Los aparatos de medida se elegirán de forma que proporcionen lecturas en la parte útil de la escala, tales que se pueda fácilmente estimar una fracción de división, que corresponda a una proporción de la lectura real.

En máquinas de escobillas regulables las escobillas se colocarán en la posición correspondiente al servicio nominal especificado. Para las medidas en vacío, las escobillas se podrán colocar en la línea neutra.

La velocidad de rotación se medirá por un método estroboscópico, con ayuda de un contador numérico o de un tacómetro. Para la medida del deslizamiento, se determinará la velocidad de sincronismo a partir de la frecuencia de la corriente de alimentación en el curso del ensayo.

Cuando se mide el rendimiento global o la potencia absorbida para un grupo de máquinas constituido por dos máquinas eléctricas, o por una máquina y un transformador, o un generador y su motor de accionamiento o un motor y la máquina accionada por él, no es necesario indicar los rendimientos individuales. Sin embargo, si se indican por separado, se considerarán como aproximados.

3.1 Lista de símbolos

A continuación se da una lista de símbolos utilizados en el texto de esta norma, con su significado:

I = corriente (intensidad)¹⁾

I_1 = corriente en carga a la tensión nominal

1) Los términos "corriente" e "intensidad", se utilizan indistintamente.

- I_{1r} = corriente primaria principal a la tensión reducida
- I_0 = corriente en vacío a la tensión nominal
- I_{0r} = corriente en vacío a la tensión reducida
- J = momento de inercia
- n = velocidad nominal, en revoluciones por minuto
- P_1 = potencia absorbida a la tensión nominal
- P_{1r} = potencia absorbida por el arrollamiento primario a la tensión reducida
- s = deslizamiento
- U = tensión de excitación en los bornes del reostato principal
- U_e = tensión total de excitación
- U_n = tensión nominal
- U_r = tensión reducida para ensayo en carga
- φ = ángulo de desfase en carga a la tensión nominal
- φ_r = ángulo de desfase en carga a la tensión reducida
- φ_0 = ángulo de desfase en vacío a la tensión nominal
- φ_{0r} = ángulo de desfase en vacío a la tensión reducida

4 DEFINICIONES

Para las definiciones de los términos generales empleados en esta norma, conviene referirse al Vocabulario Electro-técnico Internacional (Norma CEI 50).

A efectos de esta norma, son aplicables las siguientes definiciones:

4.1 rendimiento: Relación de la potencia útil a la potencia absorbida, expresadas en las mismas unidades, que se indica generalmente en forma porcentual.

4.2 pérdidas totales: Diferencia entre la potencia absorbida y la potencia útil.

4.3 ensayo al freno: Ensayo en el que la potencia mecánica suministrada por una máquina funcionando como motor se determina por medida del par en el eje mediante un freno o dinamómetro, al mismo tiempo que se mide la velocidad de rotación; el ensayo se puede efectuar igualmente en una máquina que funcione como generador, por medio de un dinamómetro para determinar la potencia mecánica absorbida.

4.4 ensayo con máquina auxiliar tarada: Ensayo en el que la potencia mecánica absorbida o suministrada por una máquina eléctrica se calcula a partir de la potencia eléctrica absorbida o suministrada por una máquina auxiliar tarada acoplada mecánicamente a la máquina que se ensaya.

4.5 ensayo en oposición: Ensayo en el cual se acoplan mecánicamente dos máquinas idénticas calculándose las pérdidas totales de ambas máquinas por diferencia de las potencias eléctricas que una absorbe y la otra suministra (Véase la figura 1).

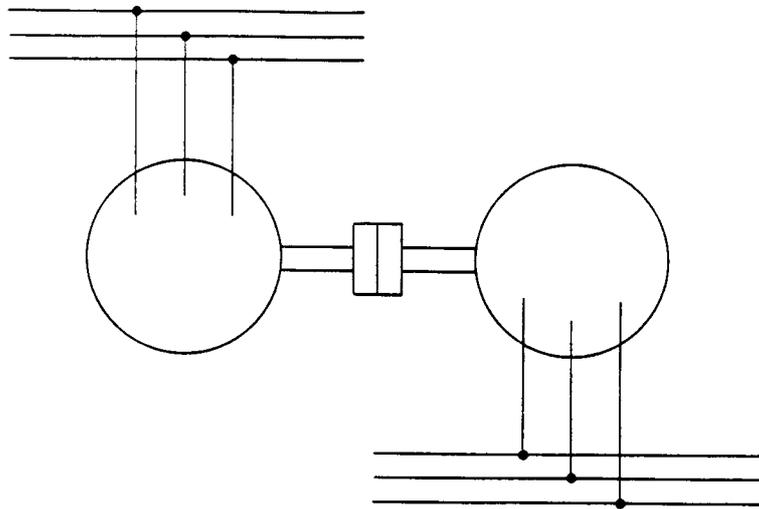


Fig. 1 – Esquema de acoplamiento de las máquinas para el ensayo en oposición

4.6 ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red: Ensayo en el cual dos máquinas idénticas se acoplan mecánicamente y se conectan ambas a la red, la cual suministra la energía eléctrica correspondiente a las pérdidas totales de ambas (Véase la figura 2).

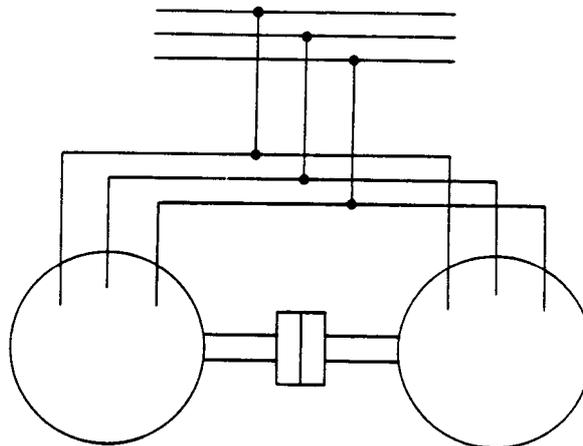


Fig. 2 – Esquema de acoplamiento de las máquinas para el ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red

4.7 ensayo de deceleración: Ensayo en el cual se calculan las pérdidas de la máquina a partir de la tasa de deceleración de la misma cuando no intervienen en ellas más que estas pérdidas.

4.8 ensayo calorimétrico: Ensayo en el cual se determinan las pérdidas de la máquina a partir de la cantidad de calor que producen. Las pérdidas se calculan a partir del producto de la cantidad de refrigerante por su calentamiento unitario, añadiendo dado el caso, la cantidad de calor disipado al exterior.

4.9 ensayo en vacío: Ensayo en el cual una máquina funciona como motor sin proporcionar potencia mecánica útil en el eje.

4.10 ensayo en circuito abierto: Ensayo en el cual una máquina funciona como generador con sus bornes en circuito abierto.

4.11 ensayo de cortocircuito permanente: Ensayo en el cual una máquina funciona como generador con sus bornes en cortocircuito.

4.12 ensayo con factor de potencia cero: Ensayo en vacío efectuado sobre una máquina síncrona sobreexcitada y funcionando con un factor de potencia próximo a cero.

5 TEMPERATURA DE REFERENCIA

Salvo especificación en contrario, todas las pérdidas debidas al efecto Joule se deben reducir a una de las temperaturas indicadas a continuación:

Clases A, E y B: 75 °C

Clases F y H: 115 °C

NOTA – No es necesario que la clase de aislante realmente empleado para la parte considerada de la máquina corresponda a los límites de calentamiento elegidos.

SECCIÓN DOS – MÁQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

6 PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE

Las pérdidas totales se considerarán como la suma de las pérdidas siguientes:

6.1 Pérdidas en el circuito de excitación

- a) Pérdidas por efecto Joule (RI^2) en los circuitos de excitación en derivación o separados y en los reostatos de excitación.
- b) Pérdidas en la excitatriz.

Todas las pérdidas de la excitatriz mecánicamente accionada por el eje principal y que forma parte integrante de un conjunto completo y se utilice exclusivamente para la excitación de la máquina, juntamente con las pérdidas en el reostato del circuito de excitación de tal excitatriz, pero con excepción de las pérdidas por rozamiento y ventilación.

En el caso de un medio de excitación independiente exterior, tal como una batería, rectificador o grupo motor-generador, no se hace ninguna provisión para las pérdidas en la fuente de excitación y las escobillas.

NOTA – Si se tienen que indicar las pérdidas en el circuito de excitación separado, éstas deben ser dadas separadamente y pueden considerarse como la diferencia entre el cociente entre la potencia de excitación y el rendimiento del sistema de excitación y la potencia de excitación.

6.2 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

- a) Pérdidas en el hierro y pérdidas suplementarias en vacío en el resto de las partes metálicas.
- b) Pérdidas debidas al rozamiento (en los cojinetes y escobillas) excluyendo las pérdidas de un sistema de engrase separado. Las pérdidas en cojinetes comunes, se indicarán separadamente, vayan o no suministrados con la máquina.

NOTA – Si se exige la indicación de las pérdidas en un sistema de engrase independiente, éstas deberán mencionarse separadamente.

- c) Pérdidas totales por ventilación en la máquina, incluyendo la potencia absorbida por los ventiladores que forman parte integrante de la misma, y en máquinas auxiliares, que asimismo, forman parte integrante de ella, si es que existen. Las pérdidas en las máquinas auxiliares tales como ventiladores exteriores, bombas de agua y aceite que no formen parte integrante de la máquina, pero destinadas exclusivamente a la máquina en cuestión, no deben ser incluidas más que por acuerdo.

NOTA – Si se exige la indicación de las pérdidas en un sistema de ventilación separada, éstas deberán mencionarse separadamente, ya que no forman parte de las pérdidas de la máquina.

6.3 Pérdidas en carga (Pérdidas normales dependientes de la intensidad)

- a) Pérdidas por efecto Joule (RI^2) en el inducido y en los arrollamientos recorridos por la intensidad del inducido (por ejemplo, arrollamientos de conmutación de compensación, de excitación y todos los arrollamientos conectados en serie con el inducido).
- b) Pérdidas eléctricas en las escobillas.

6.4 Pérdidas adicionales en carga

- a) Pérdidas adicionales en carga en el hierro y en las demás partes metálicas que no sean los conductores.
- b) Pérdidas por corriente de Foucault en los conductores del inducido debidas a la pulsación del flujo dependiente de la intensidad y a la conmutación.
- c) Pérdidas en las escobillas, debidas a la conmutación.

NOTA – Estas pérdidas denominadas adicionales, no comprenden las pérdidas suplementarias en vacío mencionadas en el apartado 6.2 a).

7 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

7.1 Suma de pérdidas

El rendimiento se calculará partiendo de las pérdidas totales, consideradas como la suma de las pérdidas determinadas de la forma siguiente:

7.1.1 Pérdidas en el circuito de excitación. Estas pérdidas son las siguientes:

7.1.1.1 Pérdidas por efecto Joule (RI^2) en el arrollamiento de excitación. Estas pérdidas se calculan por la fórmula RI^2 en la que R es la resistencia del arrollamiento de excitación en derivación o separada, reducida a la temperatura de referencia, e I la intensidad de excitación. Salvo en el caso c) especificado más adelante, la intensidad de excitación es la que corresponde a la velocidad nominal y al régimen nominal. En el caso c) expuesto más adelante, será la que corresponde a la velocidad nominal en vacío.

Si la intensidad de excitación no se puede medir durante el ensayo en carga, se admite que es igual a:

- a) En el caso de los generadores con excitación en derivación o con excitación separada con o sin polos de conmutación, la intensidad de excitación se toma igual a 110% de la intensidad de excitación correspondiente a la marcha en vacío a una tensión igual a la nominal incrementada en la caída óhmica en el circuito del inducido (inducido, escobillas, arrollamientos de conmutación. Véase también el apartado 7.1.3.2) a la corriente nominal en carga.
- b) En el caso de los generadores compensados con excitación en derivación o con excitación separada, la intensidad de excitación se toma igual a la intensidad de excitación correspondiente a la marcha en vacío a una tensión igual a la tensión nominal incrementada en la caída óhmica en el circuito del inducido (inducido, escobillas, arrollamientos de conmutación y de compensación. Véase también el apartado 7.1.3.2) a la corriente nominal en carga.
- c) En el caso de los generadores con excitación "compound" ajustada, la intensidad de excitación se toma igual a la intensidad de excitación correspondiente a la marcha en vacío a la tensión nominal.
- d) En el caso de los generadores con excitación "hipercompound" o "hipocompound" y los tipos de generadores especiales no cubiertos por los puntos a) al c), la intensidad de excitación se toma igual al valor convenido entre el constructor y comprador.
- e) En el caso de motores "shunt", la intensidad de excitación se toma igual a la intensidad de excitación en vacío a la tensión nominal.

7.1.1.2 Pérdidas en reostato principal. Estas pérdidas se calculan por la fórmula RI^2 en la que R es la resistencia de la parte de reostato intercalada en el circuito para el régimen considerado e I el valor de la intensidad de excitación definida en el apartado 7.1.1.1. También son iguales al producto IU de la intensidad de excitación por la fracción U de la tensión de excitación que se deberá absorber en el reostato.

La suma de las pérdidas consideradas en los apartados 7.1.1.1 y 7.1.1.2, es igual al producto IU_e de la intensidad de excitación I por la tensión total de excitación U_e .

NOTA – Cuando una resistencia se une de manera permanente en serie en el circuito de excitación, deberá ser tratada de la misma manera que el reostato principal.

7.1.1.3 Pérdidas en la excitatriz

NOTA – Solamente se tendrán en cuenta cuando la excitatriz está accionada mecánicamente por el eje principal y se utiliza exclusivamente para la excitación de la máquina principal.

Estas pérdidas comprenden las obtenidas por diferencia entra la potencia absorbida en el eje por la excitatriz y la potencia útil que ella suministra en sus bornes (la potencia útil en los bornes de la excitatriz es igual a la suma de las pérdidas de los apartados 7.1.1.1 y 7.1.1.2 de la máquina principal), así como las pérdidas de excitación de la excitatriz si ésta está excitada por una red separada.

Si la excitatriz puede ser desacoplada de la máquina principal y ensayada separadamente, la potencia que ella absorbe se puede medir por el método de la máquina auxiliar tarada.

Si la excitatriz no puede ser desacoplada de la máquina principal, la potencia que ella absorbe se puede medir sea por método de funcionamiento de la máquina principal como motor en vacío o por el método del motor tarado (véase capítulo 13), o por el método de deceleración (véase capítulo 15), aplicado al grupo completo. En estos tres métodos la potencia absorbida por la excitatriz se obtienen por diferencia entre las pérdidas totales del grupo medidas en condiciones idénticas, primeramente con la excitatriz en carga y después con la excitatriz no excitada, siendo suministrada la excitación por una red independiente.

Si no pudiera aplicarse ninguno de estos métodos la potencia absorbida por la excitatriz se obtiene añadiendo a la potencia medida en sus bornes, las diferentes pérdidas separadas determinadas como se indica en capítulo 6. Sin embargo, no hay que tener en cuenta las pérdidas mecánicas por rozamiento y ventilación que se miden al mismo tiempo que las de la máquina principal.

7.1.2 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

7.1.2.1 Ensayo en vacío a la tensión nominal. Las pérdidas independientes de la intensidad se determinan haciendo funcionar a la máquina como motor en vacío con una tensión igual a la nominal y a la velocidad nominal obtenida regulando la excitación, alimentada preferentemente por una red separada.

La potencia eléctrica total absorbida, menos las pérdidas por efecto de Joule (RI^2) en el inducido y en los arrollamientos de excitación, o si ha lugar, la potencia absorbida por la excitatriz, da la suma de las pérdidas independientes de la intensidad.

7.1.2.2 Ensayo en circuito abierto. Las pérdidas independientes de la intensidad pueden determinarse separadamente arrastrando la máquina a su velocidad nominal por medio de un motor tarado. La máquina a ensayar se excita (preferentemente por una red independiente), de forma que funcione como generador en vacío con una tensión igual a la nominal. La potencia que ella absorbe en su eje y que se obtiene por la potencia eléctrica absorbida por el motor tarado, da la suma de las pérdidas independientes de la intensidad. Suprimiendo la excitación, se obtiene de la misma forma la suma de las pérdidas por rozamiento y ventilación. Las pérdidas en el núcleo pueden determinarse separadamente restando las pérdidas medidas durante este ensayo de las obtenidas durante el ensayo en vacío anterior. Levantando las escobillas se pueden determinar separadamente las pérdidas por rozamiento de las escobillas, restando las pérdidas medidas durante este ensayo de las que se midieron durante el ensayo precedente sin excitación.

7.1.2.3 Ensayo de deceleración. En las máquinas de gran inercia, las pérdidas totales independientes de la intensidad, así como las pérdidas separadas independientes de la intensidad, se pueden determinar por el método de deceleración.

7.1.3 Pérdidas en cargas (Pérdidas dependientes de la intensidad). Estas pérdidas son las siguientes:

7.1.3.1 Pérdidas por efecto Joule (RI^2) en el circuito del inducido. Estas pérdidas se calculan partiendo de la intensidad y de los valores de resistencias medidos y referidos, por cálculo, a la temperatura de referencia; sin embargo, cuando la medida de resistencias es impracticable debido a los valores tan pequeños que se manejan, se admite su determinación por cálculo.

NOTA – Estas pérdidas comprenden igualmente las de los arrollamientos de compensación, las de los polos de conmutación y las resistencias de derivación ("shuntaje"). En el caso de una resistencia de derivación ("shuntaje") en paralelo con un arrollamiento serie, las pérdidas por efecto Joule (RI^2) se determinan partiendo de la intensidad total y de la resistencia resultante.

7.1.3.2 Pérdidas eléctricas en las escobillas. La suma de estas pérdidas es igual al producto de la intensidad total por una caída de tensión determinada.

La caída de tensión admitida para todas las escobillas de una misma polaridad es de un voltio para las escobillas de carbón o grafito, y de 0,3 V para escobillas de carbón metalizado, es decir que la caída de tensión total es de 2 V para escobillas de carbón o grafito y 0,6 V para las escobillas de carbón metalizado.

7.1.4 Pérdidas adicionales en carga. Salvo indicación en contrario, se admite que estas pérdidas varían como el cuadrado de la intensidad y que su valor total para intensidad nominal máxima es:

Para máquinas no compensadas

1% de la potencia nominal absorbida para los motores.

1% de la potencia nominal útil para los generadores.

Para máquinas compensadas

0,5% de la potencia nominal absorbida para los motores.

0,5% de la potencia nominal útil para los generadores.

Para las máquinas de velocidad constante, la potencia nominal suministrada o absorbida es la potencia que se obtendría con la intensidad nominal máxima y la tensión nominal máxima.

Para los motores de velocidad variable por variación de la tensión aplicada, la potencia nominal absorbida se define para cada velocidad como la potencia absorbida cuando la intensidad nominal máxima está asociada a la tensión correspondiente a la velocidad considerada.

Para los motores de velocidad variable compensados o no, en los que el aumento de velocidad se obtiene por debilitamiento del campo, la potencia nominal absorbida se define como la potencia absorbida cuando se asocia la tensión nominal a la intensidad nominal máxima. Para los generadores de velocidad variable, en los que la tensión se mantiene constante por variación del campo, la potencia nominal suministrada se define como la potencia suministrada disponible en los bornes a la tensión nominal y a la intensidad nominal máxima. Las pérdidas adicionales a la velocidad que corresponde a campo pleno son las especificadas anteriormente. Las pérdidas adicionales para las otras velocidades se obtienen multiplicando los valores precedentes correspondientes a la velocidad de campo pleno por el factor de corrección dado en la tabla 1 para la relación de velocidades considerada.

Tabla 1
Factor de corrección para diversas relaciones de velocidad

| Relación de velocidades | Factor de corrección |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1,5 :1 | 1,4 |
| 2 :1 | 1,7 |
| 3 :1 | 2,5 |
| 4 :1 | 3,2 |

La relación de velocidades que figura en la primera columna de la tabla 1, es la relación de la velocidad verdadera considerada a la velocidad nominal mínima en servicio continuo.

Para relaciones de velocidad diferentes a las indicadas en la tabla 1 se determinará el factor de corrección apropiado por interpolación.

NOTA – Las pérdidas adicionales se pueden obtener por medio de un ensayo en carga o en oposición, restando las pérdidas totales medidas, todas las otras pérdidas conocidas.

7.1.4.1 Variación de las pérdidas en el hierro debidas a la carga. Esta variación se considera generalmente como despreciable. Por acuerdo especial, en el caso de máquinas de muy baja tensión, la suma de las pérdidas de los apartados 6.2 a) y 6.4 a) se puede medir como se indica para las pérdidas independientes de la intensidad del apartado 6.2 a) por uno u otro de los dos métodos de funcionamiento como motor en vacío, o como generador en vacío, pero haciendo el ensayo, no a la tensión nominal, sino a esta tensión nominal incrementada o disminuida en la carga de tensión en el circuito del inducido para la intensidad considerada, según se trate de un generador o de un motor.

7.2 Medida de las pérdidas totales

7.2.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina funciona en las condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

7.2.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Cuando la máquina funciona en las condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil V la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

7.2.3 Ensayo en oposición. Cuando máquinas idénticas giran en las condiciones nominales que son prácticamente las mismas, las pérdidas se consideran igualmente repartidas y el rendimiento se calcula partiendo de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida (en caso de motor) o la potencia eléctrica suministrada (en caso de generador).

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

7.2.4 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red (véase capítulo 16). Cuando máquinas idénticas giran en las condiciones nominales, que son prácticamente las mismas, las pérdidas suministradas por la red se consideran como igualmente repartidas y el rendimiento se calcula como se indica en el apartado 7.2.3.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

SECCIÓN TRES – MÁQUINAS DE INDUCCIÓN POLIFÁSICAS

8 PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE

Las pérdidas totales se considerarán como la suma de las pérdidas siguientes:

8.1 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

- a) Pérdidas en el hierro y pérdidas suplementarias en vacío en el resto de las partes metálicas.
- b) Pérdidas debidas al rozamiento (en los cojinetes y escobillas si no son eliminadas durante el funcionamiento), excluyendo las pérdidas en un sistema de engrase independiente. Las pérdidas en cojinetes comunes, se indicarán separadamente, vayan o no suministrados con la máquina.

NOTA – Si se exige la indicación de las pérdidas en un sistema de engrase independiente, éstas deberán mencionarse separadamente.

- c) Pérdidas totales por ventilación en la máquina, incluyendo la potencia absorbida por los ventiladores que forman parte integrante de la misma, y en máquinas auxiliares, que, asimismo, formen parte integrante de ella, si es que existen. Las pérdidas en las máquinas auxiliares tales como ventiladores exteriores, bombas de agua y aceite que no formen parte integrante de la máquina, pero destinadas exclusivamente a la máquina en cuestión, no deben ser incluidas más que por acuerdo.

NOTA – Si se exige la indicación de las pérdidas en un sistema de ventilación separada, éstas deberán mencionarse separadamente.

8.2 Pérdidas en carga (Pérdidas dependientes de la intensidad).

- a) Pérdidas por efecto Joule (R^2) en los arrollamientos primarios.
- b) Pérdidas por efecto Joule (R^2) en los arrollamientos secundarios.
- c) Pérdidas eléctricas en las escobillas, (si las hubiere).

8.3 Pérdidas adicionales en carga

- a) Pérdidas adicionales en carga en el hierro y en las demás partes metálicas que no sean los conductores.
- b) Pérdidas por corrientes de Foucault en los conductores de los arrollamientos primarios o secundarios, debidas a la pulsación del flujo dependiente de la intensidad.

NOTAS

- 1 Las pérdidas, del apartado 8.3, párrafos a) y b) son denominadas adicionales, pero no comprenden las pérdidas suplementarias en vacío mencionadas en el apartado 8.1 a).
- 2 En el caso de máquinas auxiliares tales como compensadores de fase accionados mecánicamente por el eje principal, las pérdidas se considerarán en la misma forma que las pérdidas de la excitatriz, en las máquinas síncronas. Las pérdidas en los compensadores de fase o aparatos de regulación accionados independientemente, se indicarán separadamente, referidos al régimen nominal de la máquina. Estas pérdidas deberán determinarse por el método normal para el tipo de aparato considerado.

9 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

9.1 Suma de pérdidas

El rendimiento se calculará partiendo de las pérdidas totales, consideradas como la suma de las pérdidas determinadas de la forma siguiente:

9.1.1 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

9.1.1.1 Ensayo en vacío a la tensión nominal. La suma de las pérdidas independientes de la intensidad, es decir la suma de las indicadas en el apartado 8.1, párrafos a) b) y c), se determina por el método de la marcha en vacío del motor. La máquina se alimenta a su tensión y frecuencia nominales. La potencia absorbida, disminuida en las pérdidas por efecto Joule en el arrollamiento primario (R^2) da el total de las pérdidas independientes de la intensidad. Las pérdidas por efecto Joule en el arrollamiento secundario (R^2) se pueden despreciar.

9.1.1.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Las pérdidas independientes de la intensidad se pueden determinar separadamente, accionando la máquina, desconectada de la red, a su velocidad nominal por medio de un motor tarado (véase apartado 9.2.2). Con las escobillas colocadas, si hubiera lugar a ello, la potencia absorbida en el eje de la máquina que se deduce de la potencia eléctrica absorbida por el motor tarado, da el total de las pérdidas indicadas en el apartado 8.1, párrafos b) y c). Con las escobillas levantadas, si hubiera lugar a ello, se obtiene de la misma forma la suma de las pérdidas por rozamiento en los cojinetes y las pérdidas totales por ventilación. Las pérdidas definidas en el apartado 8.1 a) se deducen de las del ensayo del apartado 9.1.1.1, por sustracción.

9.1.1.3 Ensayo en vacío a tensión variable. Las pérdidas definidas en el apartado 8.1 a) y la suma de las pérdidas definidas en los apartados 8.1 b) y c) se pueden asimismo determinar separadamente haciendo funcionar la máquina, como motor en vacío a su frecuencia nominal, pero a tensiones diferentes. La potencia absorbida, disminuida en las pérdidas por efecto Joule (RI^2) en el arrollamiento primario es trasladada a un gráfico en función del cuadrado de la tensión. De esta forma, para débiles saturaciones, se obtiene una línea recta que se puede extrapolar hasta un valor nulo de la tensión, que nos define la suma de las pérdidas indicadas en los apartados 8.1 b) y c).

No puede olvidarse que con tensiones muy bajas las pérdidas trasladadas al diagrama pueden ser elevadas debido al aumento de pérdidas en el arrollamiento secundario por aumento excesivo del deslizamiento. Por tanto esta parte del diagrama debe abandonarse en el momento de trazar la línea recta.

Si el motor se arranca con un arrollamiento secundario en cortocircuito y con las escobillas levantadas (cosa que es posible si el alternador que suministra la alimentación se arranca al mismo tiempo que el motor) las pérdidas por rozamiento y las pérdidas totales por ventilación se obtienen por extrapolación a un valor nulo de la tensión como antes.

NOTA – Para los motores de rotor bobinado, un ensayo síncrono en vacío puede ser efectuado de la misma manera que para las máquinas síncronas con alimentación de corriente continua en dos fases rotóricas (o tres si se prefiere).

9.1.2 Pérdidas en carga (Pérdidas normales dependientes de la intensidad)

9.1.2.1 Ensayo en carga. Las pérdidas definidas en el apartado 8.2 a) se calculan a partir de las resistencias de los arrollamientos primarios, medidos con corriente continua y reducidos a la temperatura de referencia y la intensidad correspondiente a la carga para la que las pérdidas son calculadas.

Para determinar las pérdidas definidas en el apartado 8.2 b) una vez efectuado el ensayo en carga, las pérdidas en el arrollamiento secundario, se toman iguales al producto del deslizamiento por la potencia total transmitida al arrollamiento secundario, es decir, la potencia absorbida disminuida en las pérdidas en el hierro, indicadas en el apartado 8.1 a) y las pérdidas por efecto Joule (RI^2) en el arrollamiento primario, indicadas en el apartado 8.2 a). Este método da directamente la suma de las pérdidas de los apartados 8.2 b) y 8.2 c) para las máquinas de rotor bobinado, y las pérdidas del apartado 8.2 b) para las máquinas de rotor en jaula. Es el único sistema aplicable para este último tipo de máquinas en las que la medida directa de la resistencia y de la intensidad del arrollamiento secundario no es posible. Cuando se utiliza este método, el deslizamiento se puede medir por un método estroboscópico, o contando las oscilaciones de un milivoltímetro de imán permanente conectado entre dos anillos (para los motores de rotor bobinado) o en los bornes de una bobina auxiliar (para los motores de rotor en jaula), o entre los extremos del eje.

9.1.2.2 Valores calculados. Para los motores de rotor bobinado, las pérdidas definidas en el apartado 8.2 b) se pueden calcular a partir de las resistencias, medidas con corriente continua y reducidas a la temperatura de referencia, y debidas a la intensidad secundaria deducida del diagrama del círculo o de un circuito equivalente, habiendo tenido en cuenta la relación de transformación real de la máquina. El tipo del diagrama del círculo a usar debe tomarse según acuerdo entre fabricante y comprador.

Para el ensayo en carga, las pérdidas del apartado 8.2 c) en las escobillas, no se pueden medir directamente y se tomarán iguales al producto de la intensidad que circula a través de las escobillas por una caída de tensión determinada. La caída de tensión en todas las escobillas de una fase se toma igual a 1,0 V para las escobillas de carbón o de grafito, y a 0,3 V para las de carbón metalizado.

9.1.2.3 Ensayo en carga a tensión reducida. Este método es también aplicable a las máquinas de rotor en jaula.

Cuando se reduce la tensión manteniendo la velocidad de rotación a un valor constante, las intensidades disminuyen de forma aproximadamente proporcional a la tensión, y la potencia aproximadamente proporcional al cuadrado de la tensión. Cuando la tensión se reduce a la mitad de su valor nominal, las intensidades se reducen aproximadamente a la mitad y la potencia aproximadamente a la cuarta parte de su valor a la tensión nominal.

Cuando se aplica una carga a un motor de inducción a la tensión reducida U_r , se mide la potencia absorbida P_{1r} la intensidad primaria principal I_{1r} y el deslizamiento s así como la intensidad en vacío I_{or} a la misma tensión reducida U_r y la intensidad en vacío I_o a la tensión nominal U_n .

El vector de intensidad I_1 de la carga a la tensión nominal se obtiene por construcción de un diagrama vectorial de la forma siguiente (figura 3).

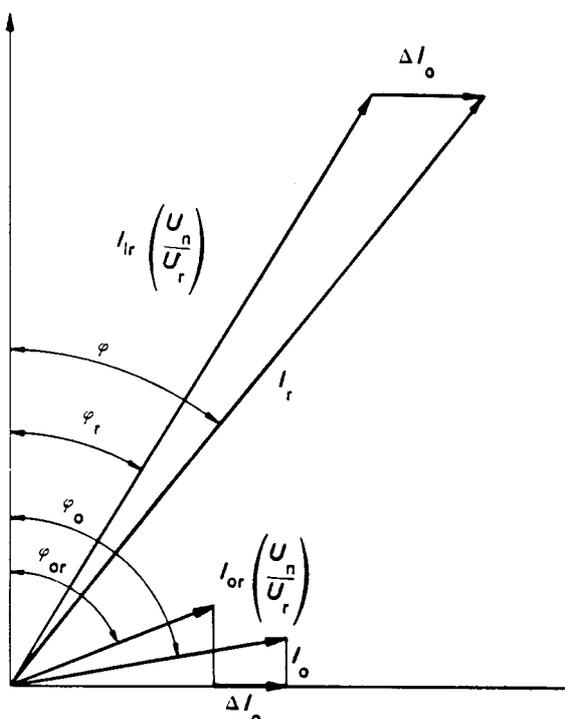


Fig. 3 – Diagrama vectorial para obtener el vector de intensidad de la carga I_1 a la tensión nominal

Al vector de intensidad I_{1r} , multiplicado por la relación

$$\frac{\text{Tensión nominal}}{\text{Tensión reducida}} = \frac{U_n}{U_r}$$

se añade al vector:

$$\Delta I_o = I_o \sin \varphi_o - I_{or} \left(\frac{U_n}{U_r} \right)^2 \sin \varphi_{or}$$

El vector resultante representa la intensidad que circularía a la tensión nominal U_n para la potencia absorbida siguiente:

$$P_1 = P_{1r} \left(\frac{U_n}{U_r} \right)^2$$

Por medio de los valores I_1 y P_1 determinados y del deslizamiento s , medido a la tensión reducida, se podrán entonces calcular las pérdidas normales dependientes de la intensidad como se indica en el apartado 9.1.2.1.

9.1.3 Pérdidas adicionales en carga. Salvo especificación contraria se admite que las pérdidas definidas en los apartados 8.3 a) y 8.3 b) varían como el cuadrado de la intensidad primaria y que su valor total a plena carga es igual al 0,5% de la potencia nominal absorbida para los motores y 0,5% de la potencia nominal útil para los generadores.

NOTA – En ciertos tipos de máquinas pequeñas, estas pérdidas pueden ser superiores al 0,5% de la potencia nominal. Si, en un caso particular, su valor es de importancia, estas pérdidas se deberán medir por el método directo.

9.2 Medida de las pérdidas totales

9.2.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina gira en las condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

9.2.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Cuando la máquina gira en las condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad de acuerdo con el capítulo 13, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

9.2.3 Ensayo en oposición. Cuando máquinas idénticas giran en las condiciones nominales, que son prácticamente las mismas, las pérdidas se consideran igualmente repartidas y el rendimiento se calcula partiendo de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida. La máquina accionada funciona como un alternador asíncrono si se dispone de una fuente de potencia reactiva magnetizante y se conectan sus bornes a una carga apropiada.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

9.2.4 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red (véase capítulo 16). Cuando máquinas idénticas giran en las condiciones nominales, que son prácticamente las mismas, las pérdidas suministradas por la red se consideran como igualmente repartidas y el rendimiento se calcula partiendo de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida por una de las máquinas.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

NOTA – En caso de necesidad de un reductor, como es en el caso de los motores de inducción, es necesario, restar las pérdidas en el reductor de la potencia eléctrica absorbida antes de determinar las pérdidas en la máquina eléctrica.

SECCIÓN CUATRO – MÁQUINAS SÍNCRONAS

10 PÉRDIDAS QUE DEBEN CONSIDERARSE

Las pérdidas totales se considerarán como la suma de las pérdidas siguientes:

10.1 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

- a) Pérdidas en el hierro y pérdidas suplementarias en vacío en el resto de las partes metálicas.
- b) Pérdidas debidas al rozamiento (en los cojinetes y escobillas), sin incluir las pérdidas en los sistemas separados de lubricación. Las pérdidas en cojinetes comunes se darán separadamente, vayan o no tales cojinetes suministrados con la máquina. Para generadores hidráulicos y motores síncronos en sistemas de bombeo, las pérdidas en el pivote o cojinete de empuje, o si el pivote está asociado con cojinete guía, se darán separadamente. El empuje, temperatura de los cojinetes y el tipo y temperatura de aceite para los cuales los valores de las pérdidas son válidos se darán también.

NOTA – Si se exige la indicación de las pérdidas en un sistema separado de lubricación, se hará en lista independiente.

- c) Pérdidas totales por ventilación en la máquina incluyendo la potencia absorbida por los ventiladores propios del rotor y de las máquinas auxiliares que forma parte integral de la máquina. Las pérdidas en las máquinas auxiliares tales como ventiladores exteriores, bombas de agua y aceite que no forman parte integral de la máquina, pero están destinadas exclusivamente a la máquina, pero están destinadas exclusivamente a la máquina en cuestión, serán incluidas solo por acuerdo.

NOTA – Cuando se soliciten las pérdidas en sistemas separados de ventilación se pondrán en lista independiente.

10.2 Pérdidas en carga (Pérdidas normales dependientes de la intensidad)

- a) Pérdida por efecto Joule (R^2) en los arrollamientos primarios.
- b) Pérdidas por efecto Joule (R^2) en los arrollamientos de arranque o de amortiguación.

NOTA – Estas sólo son consideradas en las máquinas monofásicas.

10.3 Pérdidas del circuito de excitación

- a) Pérdidas por efecto Joule (R^2) en los arrollamientos de excitación y en los reostatos de excitación.
- b) Todas las pérdidas de la excitatriz, acoplada mecánicamente al eje principal, que forma parte de la unidad completa, y es usada solamente para excitar la máquina, juntamente con las pérdidas en el reostato del circuito de excitación de tal excitatriz, pero con excepción de las pérdidas de rozamiento y ventilación.

Se deben incluir las pérdidas en los rectificadores rotativos y en el reductor, cadenas o correas, o similar acoplamiento entre eje y excitatriz.

Todas las pérdidas en cualquier aparato para la auto-excitación y regulación que reciban su potencia de entrada de la red de corriente alterna conectada a los terminales de la máquina síncrona.

En el caso de un medio de excitación exterior independiente, tal como una batería, rectificador o grupo motor generador, no se hace ninguna previsión para las pérdidas en la fuente de excitación y las escobillas.

- c) Pérdidas eléctricas en las escobillas.

10.4 Pérdidas adicionales con la carga

- a) Pérdidas adicionales en carga en el hierro y en las demás partes metálicas que no sean los conductores.
- b) Pérdidas por corriente de Foucault en los conductores del arrollamiento primario.

11 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

11.1 Suma de pérdidas

El rendimiento se calculará partiendo de las pérdidas totales que se toman como la suma de las pérdidas obtenidas de la siguiente manera:

11.1.1 Pérdidas en el circuito de excitación

11.1.1.1 Pérdidas por efecto Joule (R^2) en el circuito de excitación. Estas pérdidas se calculan con la fórmula (R^2), tomando por R la resistencia del arrollamiento de excitación corregido a la temperatura de referencia, y para I el valor de la intensidad de excitación para el régimen de potencia considerado, medido directamente durante el ensayo en carga o calculada cuando este ensayo no es posible. Cuando se hace tal cálculo, el método empleado se determinará por acuerdo entre el fabricante y el comprador.

11.1.1.2 Pérdidas en el reostato principal. Estas pérdidas se calculan por la fórmula R^2 en la que R es la resistencia de la parte del reostato atravesada por la intensidad para la carga considerada, e I es el valor de la intensidad de excitación para la carga considerada definida de acuerdo con el apartado 11.1.1.1. Es también igual al producto (IU) de la intensidad de excitación a la carga considerada y la tensión U entre los bornes del reostato.

NOTA – Cuando una resistencia se une de manera permanente en serie en el circuito de excitación, deberá ser tratada de la misma manera que el reostato principal.

11.1.1.3 Pérdidas eléctricas en las escobillas. La suma de estas pérdidas se tomará como el producto de la intensidad de excitación a la carga considerada por una caída de tensión fija. La caída de tensión permitida para todas las escobillas de una misma polaridad será 1 V, para escobillas de carbón o grafito, y 0,3 V, para escobillas metalográficas, es decir, una caída total de 2 V, para escobillas de carbón o grafito y de 0,6 V, para escobillas metalográficas.

La suma de las pérdidas de los apartados 11.1.1.1, 11.1.1.2 y 11.1.1.3 es también igual al producto IU_e de la intensidad de excitación I y la tensión de excitación U_e .

11.1.1.4 Pérdidas en la excitatriz

NOTA – Esto se aplica sólo en el caso en que la excitatriz está mecánicamente acoplada al eje principal y se emplea únicamente para la excitación de la máquina síncrona.

Estas pérdidas incluyen la diferencia entre la potencia absorbida por el eje de la excitatriz y la potencia útil que da en sus bornes (la potencia útil en los bornes de la excitatriz es igual a la suma de las pérdidas indicadas en los apartados 11.1.1.1, 11.1.1.2 y 11.1.1.3 de la máquina principal), y las pérdidas de excitación de la excitatriz si esta máquina está excitada por una fuente separada.

Si la excitatriz puede ser desacoplada de la máquina principal y ensayada por separado, la potencia que absorbe se puede medir por el método de la máquina tarada.

Si la excitatriz no puede ser desacoplada de la máquina principal, la potencia que absorbe puede ser medida por el método de la máquina tarada o por el método de deceleración aplicado a toda la unidad. En estos dos métodos, la potencia absorbida por la excitatriz se obtiene como la diferencia entre las pérdidas totales del grupo medidas bajo idénticas condiciones, primero con la excitatriz en carga y después con la excitatriz no excitada, con su excitación obtenida de una fuente exterior.

Si ninguno de estos métodos es aplicable, las pérdidas separadas se determinarán como se describe en el capítulo 6 para las máquinas de corriente continua. (Véase último párrafo del apartado 7.1.1.3).

NOTA – El fabricante y comprador se pondrán de acuerdo en el método para determinar las pérdidas en aparatos para la autoexcitación y regulación, que reciben su potencia de entrada de las líneas de corriente alterna conectadas a los bornes de la máquina.

11.1.2 Pérdidas constantes (Pérdidas independientes de la intensidad)

11.1.2.1 Ensayo con factor de potencia unidad a tensión y frecuencia nominales. La suma de las pérdidas independientes de la intensidad se determina generalmente por el método de rodar la máquina como motor en vacío. La máquina síncrona se alimenta a tensión y a frecuencia nominales, de modo que trabaje como motor en vacío. La excitación se ajusta de manera que la máquina absorba la mínima corriente alterna. La potencia eléctrica absorbida, disminuida por las pérdidas por efecto Joule ($R I^2$) de los arrollamientos primarios y, si hay lugar, también por la potencia absorbida por la excitatriz da la suma de las pérdidas independientes de la intensidad.

NOTA – Esta última corrección puede ser evitada con el empleo de una fuente de excitación separada.

11.1.2.2 Ensayo a circuito abierto. La suma de las pérdidas independientes de la intensidad indicadas en los apartados 10.1 a), 10.1 b) y 10.1 c), las pérdidas de los apartados 10.1 a) y la suma de las pérdidas de los apartados 10.1 b) y 10.1 c) pueden ser también determinadas arrastrando a la máquina a su velocidad nominal por medio de una máquina tarada. La máquina se excita por una fuente independiente de manera que funcione como generador en vacío a tensión igual a la nominal. La potencia que absorbe su eje, y que puede ser calculada a partir de la potencia absorbida por el motor tarado, da la suma de las pérdidas de los apartados 10.1 a), 10.1 b) y 10.1 c). Quitando la excitación, la suma de las pérdidas de los apartados 10.1 b) y 10.1 c), se obtiene de la misma manera. Las pérdidas en el hierro del apartado 10.1 a), se obtienen por sustracción. Debido al pequeño número de escobillas usadas en máquinas síncronas no es generalmente posible separar las pérdidas por rozamiento de las escobillas de la suma de las otras pérdidas independiente de la intensidad, por medio de un ensayo con escobillas levantadas.

11.1.2.3 Ensayo de deceleración (véase capítulo 15). La suma de las pérdidas constantes de los apartados 10.1 a), 10.1 b) y 10.1 c), las pérdidas de los apartados 10.1 a) y la suma de las pérdidas de los apartados 10.1 b) y 10.1 c), se pueden determinar usando el método de deceleración. (Véase el apartado 5.3).

11.1.2.4 Ensayo con factor de potencia unidad a tensión variable. Las pérdidas de los apartados 10.1 a), 10.1 b) y 10.1 c), se pueden separar arrastrando la máquina como motor a frecuencia nominal, pero a distintas tensiones como se describe en el apartado 9.1.1.3, de la sección tres.

El factor de potencia se conservará igual a la unidad durante todo el ensayo, ajustando la intensidad de excitación durante el ensayo.

11.1.2.5 Ensayo con densidades variables del gas de refrigeración. Las pérdidas totales de ventilación se pueden separar de las de rozamiento por ensayos a diferentes densidades del gas de refrigeración para las máquinas refrigeradas por un gas de presión variable.

NOTA – Asimismo se están considerando los ensayos a distintas velocidades.

11.1.2.6 Ensayo calorimétrico. (Véase capítulo 17). Las pérdidas en los cojinetes se pueden determinar separadamente usando el método calorimétrico.

NOTA – El ensayo de pérdidas en pivotes, probablemente combinados con cojinetes guía, en las máquinas de eje vertical, se realizará solamente de común acuerdo.

11.1.3 Pérdidas en carga (Pérdidas normales dependientes de la intensidad). Consiste en:

- Las pérdidas por efecto Joule ($R I^2$) en los arrollamientos de un inducido.
- Las pérdidas por efecto Joule ($R I^2$) en los arrollamientos de inducido se miden normalmente durante el ensayo de cortocircuito descrito en el apartado 11.1.4.

Cuando se dan por separado, las pérdidas se calculan a partir de la intensidad nominal y de la resistencia de los arrollamientos corregida a la temperatura de referencia.

11.1.4 Pérdidas adicionales en carga. A menos que se especifique algo en contra, la suma de las pérdidas de los apartados 10.4 a) y 10.4 b), se mide por medio del método de ensayo de cortocircuito.

La máquina a ensayar con su arrollamiento de inducido cortocircuitado, se arrastra a su velocidad nominal y se excita de manera que la intensidad en el arrollamiento de inducido cortocircuitado sea igual a la intensidad nominal. La potencia absorbida en el eje, disminuida en las pérdidas mecánicas de los apartados 10.1 b) y 10.1 c), antes citadas, y la potencia absorbida por la excitatriz, si hay lugar, da la suma de las pérdidas normales dependientes de la intensidad y las pérdidas adicionales de los apartados 10.2 y 10.4. Si la reactancia de fugas es anormalmente alta, como en el caso de una máquina de alta frecuencia, se hará también una corrección para las pérdidas en el hierro. Las pérdidas dependientes de la intensidad varían en sentidos distintos en función de la temperatura. La suma de las pérdidas dependientes de la intensidad y las adicionales, se supone que es independiente de la temperatura y no se hace ninguna corrección para llevarlas a la temperatura de referencia.

NOTA – Se admite que la suma de las pérdidas adicionales de los apartados 10.4 a) y 10.4 b), así determinada, es generalmente un poco más alta que las pérdidas que existan realmente a plena carga.

La potencia absorbida por el eje de la máquina durante el ensayo de cortocircuito será medida por el método de la máquina tarada (Véase el capítulo 13), o por el de deceleración (Véase el capítulo 15).

11.2 Medidas de las pérdidas totales

11.2.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina se arrastra en condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

11.2.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase el capítulo 13). Cuando la máquina funciona en condiciones nominales de velocidad, tensión e intensidad, el rendimiento se toma igual a la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

11.2.3 Ensayo en oposición. Cuando máquinas idénticas se arrastran en condiciones nominales esencialmente las mismas, se supone que las pérdidas están distribuidas igualmente, y el rendimiento se calcula a partir de la mitad de las pérdidas totales y la potencia eléctrica absorbida.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

11.2.4 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre la red (véase el capítulo 16). Cuando máquinas idénticas funcionan en condiciones nominales esencialmente las mismas, las pérdidas suministradas por el sistema eléctrico se suponen que están igualmente distribuidas y el rendimiento se calcula como en el apartado 11.2.3.

El ensayo se efectuará a una temperatura lo más próxima a la alcanzada en funcionamiento al final del tiempo especificado en el servicio nominal. No se efectuará ninguna corrección para tener en cuenta la variación de la resistencia de los arrollamientos con la temperatura.

11.2.5 Ensayo con factor de potencia cero (véase el capítulo 14). Cuando la máquina se arrastra en condiciones nominales de velocidad, tensión o intensidad, las pérdidas totales son equivalentes a la potencia absorbida durante este ensayo, corregidas para la diferencia entre las pérdidas de excitación en el momento del ensayo y las que existen para la excitación de la plena carga.

SECCIÓN CINCO – MÉTODOS DE ENSAYO

12 GENERALIDADES

Los ensayos se pueden clasificar dentro de una de las tres categorías siguientes:

- a) Medida de la potencia absorbida y de la potencia útil de una sola máquina. Ello implica en general la medida de la potencia mecánica absorbida o suministrada por la máquina.
- b) Medida de la potencia absorbida y de la potencia útil de dos máquinas en oposición, por ejemplo, dos máquinas idénticas o una máquina a ensayar acoplada a una máquina tarada. Tiene por objeto eliminar la medida de la potencia mecánica absorbida o suministrada por una máquina.
- c) Medida de las pérdidas reales de una máquina bajo determinadas condiciones.

Estas pérdidas no son en general, las pérdidas totales, pero comprenden ciertas pérdidas particulares. El método puede en todo caso ser aplicado para calcular las pérdidas totales o para calcular las pérdidas particulares.

La elección del ensayo a efectuar depende de los datos a determinar, de la precisión deseada, del tipo y de las dimensiones de la máquina considerada. Cuando se dispone de varios métodos para un tipo dado de máquina, se indicará el método preferente (véase capítulo 18).

Se distingue entre medidas de rendimiento directas e indirectas.

La medida directa del rendimiento consisten en medir directamente la potencia suministrada por la máquina y la potencia que ella absorbe.

La medida indirecta del rendimiento consiste en medir las pérdidas de la máquina. Añadiendo estas pérdidas a la potencia suministrada por la máquina, se obtiene la potencia absorbida.

La medida indirecta del rendimiento puede ser efectuada por los métodos siguientes:

- (i) Determinación de las pérdidas separadas para una posterior adición.
- (ii) Determinación de las pérdidas totales.

NOTA – Los métodos para la determinación del rendimiento de máquinas se apoyan sobre un cierto número de hipótesis; no es por tanto posible establecer una comparación entre las pérdidas obtenidas por medición directa y las obtenidas por medición de las pérdidas separadas.

Salvo especificación en contra, el rendimiento garantizado de una máquina es el basado en la determinación de las pérdidas separadas, pero cuando se puede escoger el método, la valoración del rendimiento se debe basar en la precisión que ofrece el método, el rendimiento y el tipo de máquina considerado.

NOTA – En ciertos países, un rendimiento del 90% se toma como base de aplicación para el método indirecto, mientras que otros países prefieren un valor más bajo, por ejemplo el 70%.

Cuando el rendimiento o las pérdidas totales se deducen a partir de la potencia absorbida y de la potencia útil medidas, toda la inexactitud de estas mediciones se traduce directamente en un error en el rendimiento (por ejemplo, con una precisión de la medición de la potencia del 1%, el error en el rendimiento puede ser de un 2%, o el error en las pérdidas totales puede ser de un 2% de la potencia total absorbida). En máquinas pequeñas o de rendimiento relativamente bajo (inferior, por ejemplo, a 90%), este método puede ser válido y representa un método de ensayo cómodo para dichas máquinas. En estas y en las otras máquinas el rendimiento se puede obtener con una buena precisión por el cálculo de las pérdidas a partir de medidas directas.

13 MÉTODO DEL MOTOR TARADO

La máquina a la que se trata de determinar las pérdidas es separada de la red, desacoplándola de su motor de accionamiento si ha lugar, y se acciona a su velocidad nominal por un motor tarado, es decir, por un motor eléctrico al cual se le han determinado previamente sus pérdidas con gran precisión, de manera que permita determinar la potencia mecánica que suministra en su eje conociendo la potencia eléctrica que absorbe y su velocidad de rotación. La potencia mecánica transmitida por el motor tarado al eje de la máquina ensayada son las pérdidas de esta última, para las condiciones de funcionamiento en las que se realiza el ensayo. En este método, la máquina ensayada puede estar en vacío, excitada o sin excitar, con o sin escobillas, o en corto circuito, de forma que permite separar ciertas categorías de pérdidas.

Como variante el motor tarado puede ser reemplazado por un motor dinamométrico, o por un motor que accionando la máquina a ensayar a través de un medidor de par apropiado permita conocer el par transmitido a la máquina ensayada, y por tanto, la potencia mecánica absorbida por esta última.

Cuando se hace uso de esta variante, la velocidad de rotación, que interviene directamente en el cálculo de la potencia, debe medirse con una gran precisión.

14 ENSAYO CON FACTOR DE POTENCIA CERO

La máquina funciona como motor en vacío, a la velocidad nominal y con un factor de potencia próximo a cero. La intensidad de excitación es regulada de forma que por la máquina circule la intensidad primaria nominal.

La tensión de alimentación debe ser tal que las pérdidas magnéticas tengan el mismo valor que funcionando en vacío a la tensión nominal. La tensión de alimentación se toma en general igual a la tensión nominal, a menos que esta dé unas pérdidas en el hierro más elevadas que a plena carga. En principio, la potencia reactiva debe ser positiva, es decir que la máquina está sobreexcitada pero si ello no es posible debido a que la tensión de la excitatriz sea insuficiente, puede efectuarse el ensayo con absorción de potencia reactiva (o sea con la máquina subexcitada).

NOTA – La exactitud de este método depende de la precisión, con bajo factor de potencia, de los vatímetros empleados.

15 MÉTODO DE DECELERACIÓN

Este método es aplicable en particular a las grandes máquinas síncronas dotadas de gran inercia. También puede ser aplicado a máquinas de corriente alterna de inducción y a máquinas de corriente continua. Consiste en medir el tiempo empleado por la máquina para su deceleración, en diferentes condiciones, entre dos velocidades predeterminadas, por ejemplo de 110% a 90% o de 105% a 95% de la velocidad nominal. Este tipo varía en sentido inverso al valor medio de las pérdidas durante el mismo tiempo.

Este método permite medir las pérdidas mecánicas (pérdidas por rozamiento, pérdidas totales de ventilación), las pérdidas en el hierro a diferentes excitaciones y las pérdidas debidas a la carga en cortocircuito a diferentes excitaciones.

Durante el ensayo la máquina funciona como motor en vacío alimentada por un generador, durante un tiempo suficiente para que se establezca la temperatura de los cojinetes. Si las pérdidas en los cojinetes están garantizadas para una cierta temperatura de los mismos, se debe regular el agua que llega al sistema de refrigeración del cojinete de manera que se obtenga la temperatura especificada.

Se lleva la máquina en ensayo a una velocidad lo suficientemente superior a aquella a partir de la cual se medirán los tiempos de deceleración. Seguidamente se separa la máquina en ensayo de la máquina que la alimenta, se aplica el valor de la excitación y se hacen las conexiones necesarias del arrollamiento primario. Estas maniobras deben hacerse lo suficientemente rápidas para que el régimen establecido necesario para el ensayo se alcance antes de que la velocidad de la máquina, que decrece constantemente durante este intervalo de tiempo, pase por el límite superior a partir de cual se mide el tiempo de deceleración.

En los ensayos de deceleración en vacío, la excitación y la tensión estáticas son medidas en el instante en que la máquina pasa por su velocidad nominal. En los ensayos de deceleración en cortocircuito, la intensidad de excitación y la intensidad estática son medidas en el mismo instante. El ensayo debe ser efectuado con diferentes valores de excitación, estando las conexiones abiertas y en cortocircuito.

El tiempo entre los dos límites de velocidad debe ser medido con una precisión del 2%. El intervalo entre los dos límites escogidos depende de la precisión de la medida. Como tacómetro se puede emplear un generador de imán permanente o una excitatriz. La medida se puede realizar también por medio de dispositivos electrónicos.

Para obtener el valor absoluto de las pérdidas existentes en la máquina durante el ensayo correspondiente de deceleración en vacío, en el momento de pasar por su velocidad nominal se efectúan medidas con la máquina funcionando como motor en vacío a la velocidad nominal, con un factor de potencia igual a uno y a la misma tensión que durante las medidas de deceleración, preferentemente a la tensión nominal. La potencia absorbida, que es igual a las pérdidas, debe ser medida con una gran precisión.

Cuando no se conoce con suficiente precisión la inercia de la máquina, se puede determinar por un ensayo de deceleración el que se conozcan las pérdidas medidas por otro método.

Se repite la medición varias veces y se calcula el valor medio. Para efectuar diferentes medidas a la misma tensión, se pueden determinar varios puntos a diferentes tensiones entre 95% y 100% de la tensión nominal a fin de obtener la curva de pérdidas en función de la tensión por debajo y por encima de su valor nominal. Las medidas de deceleración deben ser efectuadas dentro de la misma zona de tensión. Se establece entonces la relación entre las pérdidas P y el tiempo de deceleración.

Las pérdidas bajo determinadas condiciones (por ejemplo, en vacío, en cortocircuito) se pueden calcular como el producto de la potencia absorbida P , medidas según el ensayo antes citado, por la relación del tiempo de deceleración de dicho ensayo al tiempo de deceleración del ensayo real.

Las pérdidas mecánicas se obtienen por un ensayo de deceleración sin excitación; las pérdidas en el hierro se obtienen a partir del ensayo en vacío por sustracción de las pérdidas mecánicas y las pérdidas en cortocircuito a partir de un ensayo de deceleración en cortocircuito por sustracción de las pérdidas mecánicas.

El momento de inercia se puede calcular a partir del ensayo de deceleración por la fórmula siguiente:

$$J \approx \frac{45\,600\, P t}{\delta n^2}$$

donde

$$45\,600 = \frac{60^2 \times 10^3}{8\pi^2}$$

La deceleración se mide desde la velocidad $n(1 + \delta)$ hasta la velocidad $n(1 - \delta)$, siendo n la velocidad nominal en revoluciones por minuto. Si P está expresada en kW, la inercia J se obtiene en kgm^2 , siendo t la duración en segundos entre los dos instantes en que la velocidad es $n(1 + \delta)$ y $n(1 - \delta)$ respectivamente.

Durante el ensayo de deceleración, la excitación de la máquina ensayada debe provenir con preferencia de una fuente separada. Se puede utilizar en todo caso una excitatriz acoplada directamente si la variación de velocidad en la deceleración es reducida, por ejemplo 105% a 95%. Se debe entonces hacer una corrección apropiada para las pérdidas en el circuito de excitación teniendo en cuenta igualmente el hecho de que la intensidad de excitación puede diferir ligeramente entre el ensayo de deceleración y el ensayo en vacío, aunque la tensión sea la misma. Es necesario que la excitatriz tenga excitación separada.

Para aplicar el método en vacío para obtener el valor absoluto de las pérdidas, se puede emplear el método del motor auxiliar tarado.

16 ENSAYO EN OPOSICIÓN

Este método es aplicable cuando se dispone de dos máquinas idénticas. Estas máquinas son acopladas mecánicamente y eléctricamente de forma que funcionan a la velocidad nominal, la una como motor y la otra como generador. La temperatura real a la cual son efectuadas las medidas debe ser lo más próxima posible a la temperatura de régimen y no se efectúa corrección. Las pérdidas de las máquinas acopladas son suministradas por la red a la cual están conectadas, por un motor tarado de accionamiento, por una sobretensión o por una combinación de varios de estos medios.

El valor medio de la intensidad de inducido, es regulado a su valor nominal, el valor medio de la tensión de los dos inducidos es superior o inferior a la tensión nominal de un valor igual a la caída de tensión, según que las máquinas sean suministradas para ser empleadas como generador o como motor respectivamente.

Cuando dos máquinas de inducción son acopladas eléctricamente, deben ser acopladas mecánicamente con la ayuda de un dispositivo de regulación de velocidad, tal como un caja de engranajes, a fin de asegurar la transmisión correcta de la potencia. El valor de la potencia transmitida depende de la diferencia de velocidad. La red eléctrica que suministra las pérdidas magnetizante a las dos máquinas.

Cuando dos máquinas síncronas son acopladas eléctricamente, deben ser acopladas mecánicamente con un decalaje correcto entre los ángulos de fase. El valor de potencia transmitida depende del decalaje entre las dos máquinas.

17 ENSAYO CALORIMÉTRICO

En estudio¹⁾.

18 RELACIÓN DE ENSAYOS PREFERENTES

18.1 Máquinas de corriente continua

El ensayo preferente para las máquinas de corriente continua es el correspondiente al apartado 7.1 y el método preferente para el cálculo del rendimiento el del apartado 7.1.2

18.2 Máquinas de inducción polifásicas

El ensayo preferente para las máquinas de inducción polifásicas es el correspondiente al apartado 9.1 y el método preferente para la determinación de las pérdidas independientes de la intensidad el del apartado 9.1.1.1.

18.3 Máquinas síncronas

El ensayo preferente para las máquinas síncronas es el correspondiente al apartado 11.1 y el método preferente para la determinación de las pérdidas independientes de la intensidad el del apartado 11.1.2.1.

1) Véase CEI 34-2A, a continuación.

ÍNDICE DE LA NORMA CEI 34-2A:1974

| | Página |
|--|--------|
| INTRODUCCIÓN | 30 |
| 3.1 Lista de símbolos | 30 |
| SECCIÓN UNO – GENERALIDADES | |
| 1 GENERALIDADES | 31 |
| 2 DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS P_1 POR MEDIDA DEL CAUDAL Y DEL CALENTAMIENTO DEL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN | 31 |
| 3 PÉRDIDAS P_1 DETERMINADAS POR MEDIDA ELÉCTRICA UTILIZANDO EL MÉTODO CALORIMÉTRICO DE TARADO | 33 |
| 4 CONDICIONES DE ESTABILIDAD | 33 |
| 5 PÉRDIDAS P_2 NO TRANSMITIDAS AL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN | 34 |
| 6 PÉRDIDAS EN EL EXTERIOR DE LA SUPERFICIE DE REFERENCIA P_e | 35 |
| SECCIÓN DOS – DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EL MÉTODO CALORIMÉTRICO CUANDO EL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN ES EL AGUA | |
| 7 APLICACIÓN Y RELACIONES BÁSICAS | 35 |
| 8 MEDIDA DEL CAUDAL DE AGUA | 36 |
| 9 MEDIDA DEL CALENTAMIENTO DEL AGUA | 37 |
| 10 PRECISIÓN DE LA MEDIDA | 40 |
| SECCIÓN TRES – DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EL MÉTODO CALORIMÉTRICO CUANDO EL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN ES EL AIRE | |
| MEDIDAS REALIZADAS EN EL CIRCUITO PRIMARIO | |
| 11 APLICACIÓN Y RELACIONES BÁSICAS | 41 |
| 12 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXICO DE AIRE | 41 |
| 13 DETERMINACIÓN DEL CALENTAMIENTO DEL AIRE | 45 |
| 14 DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DEL AIRE | 46 |
| 15 PRECISIÓN DE MEDIDA | 46 |
| SECCIÓN CUATRO – CONSIDERACIONES PRÁCTICAS | |
| 16 PREPARATIVOS PARA LAS MEDIDAS CALORIMÉTRICAS CON LÍQUIDOS DE REFRIGERACIÓN | 47 |
| 17 CONEXIONES Y EQUIPO PARA LAS MEDIDAS CALORIMÉTRICAS CON LÍQUIDOS DE REFRIGERACIÓN | 47 |

INTRODUCCIÓN

El método calorimétrico puede utilizarse para determinar el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas:

- por determinación directa de las pérdidas totales en carga;
- por determinación de las pérdidas separadas y deduciendo de ellas convencionalmente las pérdidas totales sumando las pérdidas separadas.

Según los casos, pueden efectuarse las medidas calorimétricas de dos formas diferentes:

- ya sea por medida del caudal y del calentamiento del fluido de refrigeración (método directo);
- o bien por tarado del calentamiento del fluido de refrigeración.

Las medidas calorimétricas se deben aplicar en cada circuito de refrigeración, primario o secundario, separadamente.

Los métodos de determinación de las pérdidas indicadas en esta norma, han sido puesto a punto principalmente para los grandes generadores, pero los principios pueden aplicarse igualmente a otras máquinas.

3.1 Lista de símbolos

Completar la lista de símbolos, del apartado 3.1 de la página 7 de esta norma, con los siguientes:

P_i = pérdidas producidas en el interior de la superficie de referencia

P_e = pérdidas producidas en el exterior de la superficie de referencia

P_1 = pérdidas disipadas por los circuitos de refrigeración en forma de calor y que son calorimétricamente medibles

P_2 = pérdidas no transmitidas a los fluidos de refrigeración pero que son disipadas a través de la superficie de referencia por conducción, convección, radiación, fugas, etc

c_p = calor específico del fluido de refrigeración

Q = caudal del fluido de refrigeración

ρ = densidad del fluido de refrigeración

Δt = calentamiento del fluido de refrigeración, o diferencia entre la temperatura de la superficie de referencia de la máquina y la temperatura ambiente externa

v = velocidad de salida del fluido de refrigeración

α = coeficiente de descarga

e = error de medida de las pérdidas P_1 y P_2

h = coeficiente de transmisión de calor

Δp = diferencia entre la presión estática de la tobera de aspiración y la presión ambiente

A = sección recta de la tobera de aspiración

t = temperatura

t_1 = temperatura de entrada del fluido de refrigeración

t_2 = temperatura de salida del fluido de refrigeración

b = presión barométrica

Sustituir el capítulo 17, página 27, de esta norma por lo siguiente:

SECCIÓN UNO – GENERALIDADES

1 GENERALIDADES

Con el fin de permitir una clasificación de las pérdidas totales, se puede definir para una máquina "la superficie de referencia", como una superficie que rodea completamente la máquina y tal que todas las pérdidas producidas en el interior (P_i) deben evacuarse hacia el exterior a través de esta superficie de referencia (véase la figura 1).

La totalidad de las pérdidas de la máquina se compone de las pérdidas producidas:

- en el interior de esta superficie P_i
- en el exterior de esta superficie P_e

Las pérdidas producidas en el interior de la superficie de referencia P_i pueden dividirse en dos categorías:

$$P_i = P_1 + P_2$$

P_1 = Las pérdidas medibles por calorimetría que son evacuadas bajo forma de calor por el o los circuitos de refrigeración; constituyen la mayor parte de las pérdidas (pérdidas en el interior medibles).

P_2 = Las pérdidas no transmitidas a los fluidos de refrigeración y evacuadas a través de la superficie de referencia por conducción, convección, radiación, fugas, etc. Constituyen una mínima parte de las pérdidas totales y pueden ser estimadas (pérdidas en el interior no medibles).

NOTA – P_2 puede ser negativo y, por tanto, restado si el calor penetra en el interior de la superficie de referencia.

Las pérdidas producidas en el exterior de la superficie de referencia (P_e) pueden formar parte de las pérdidas especificadas y, en este caso, deben medirse separadamente.

NOTA – Las pérdidas de los cojinetes interiores a la superficie de referencia están comprendidas en las pérdidas P_i .

2 DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS P_1 POR MEDIDA DEL CAUDAL Y DEL CALENTAMIENTO DEL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN

En condiciones estables de funcionamiento, cuando se alcanza el equilibrio térmico, las pérdidas evacuadas por el fluido refrigerante son:

$$P_1 = c_p \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta t \text{ kW}$$

c_p = calor específico del fluido de refrigeración a la presión p en kJ/ (kg K).

Q = caudal del fluido de refrigeración en metros cúbicos por segundo.

ρ = densidad del fluido de refrigeración a la temperatura en que se mide el caudal en kg/m³.

Δt = calentamiento del fluido de refrigeración en K.

Si el fluido de refrigeración es el agua, el método de medida se expone en la sección dos.

Si el fluido de refrigeración es el aire, el método de medida se expone en la sección tres.

NOTA – Las pérdidas de los cojinetes pueden medirse utilizando el aceite como fluido de refrigeración, pero es preferible efectuar la medida en el lado del agua del cambiador de calor de aceite-agua ya que las características térmicas del agua son mejor conocidas.

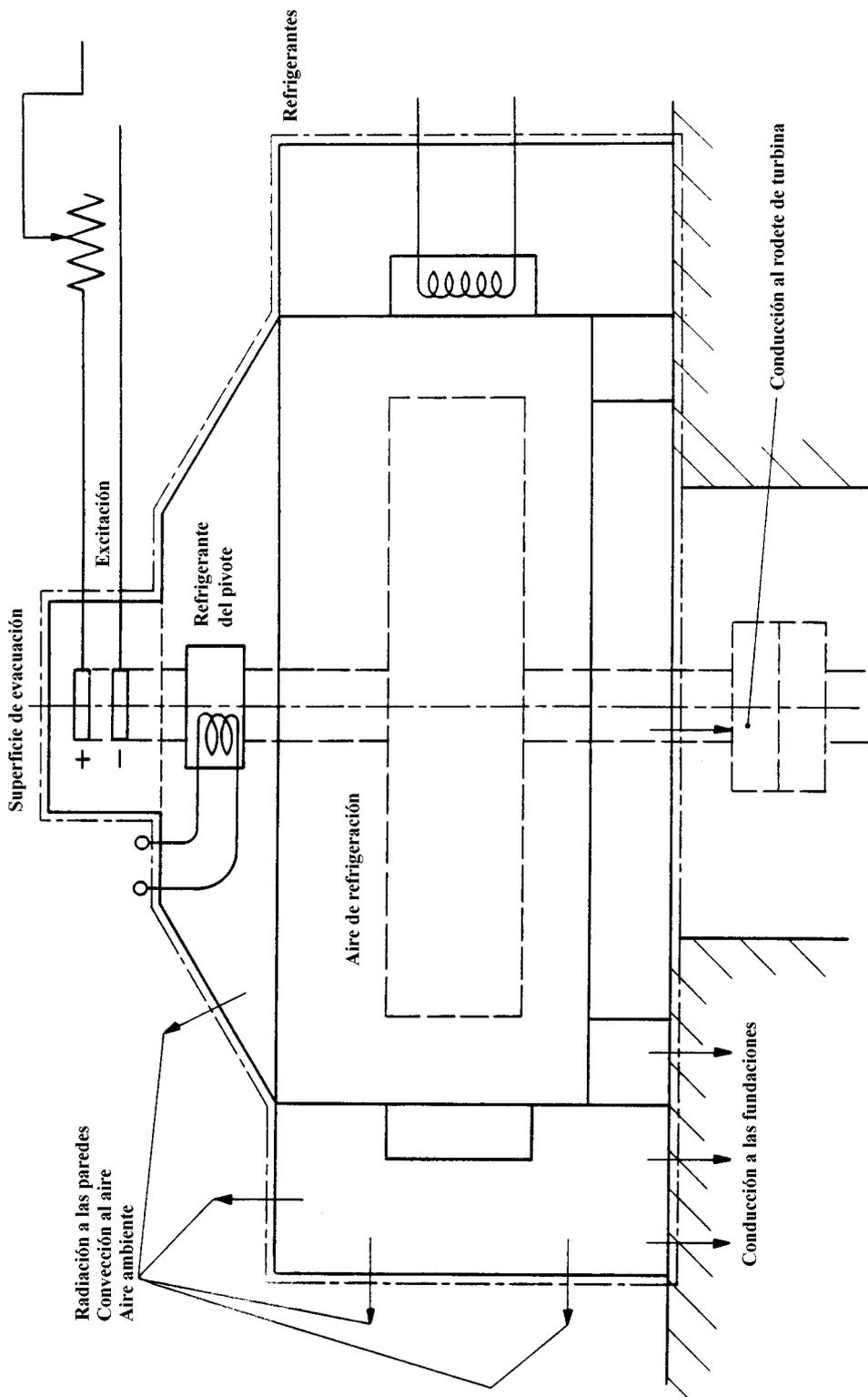


Fig. 1 – Superficie de referencia

3 PÉRDIDAS P_i DETERMINADAS POR MEDIDA ELÉCTRICA UTILIZANDO EL MÉTODO CALORIMÉTRICO DE TARADO

3.1 Generalidades

Este método consiste en determinar la curva de tarado del calentamiento del fluido de refrigeración en función de las pérdidas disipadas en la máquina, por ensayos efectuados en condiciones para las que pueden ser conocidas las pérdidas P_i por medidas eléctricas directas. Este método no necesita la evaluación de las pérdidas P_2 mientras las condiciones de ensayo se ajusten correctamente; las condiciones exteriores (ambientales) durante el tarado han de coincidir en lo más posible con las del ensayo real. Se puede utilizar este método cuando no es posible la medida calorimétrica directa sobre el circuito de refrigeración o cuando conduce a dificultades de llevarlo a la práctica.

3.2 Producción de pérdidas para el tarado

Las pérdidas de la máquina debe provenir de una fuente de potencia eléctrica que permita una medida precisa. Pueden producirse en el interior de la máquina: bien a) bajo forma de pérdidas normales de la máquina, es decir, utilizando la máquina en marcha normal en rotación en vacío o en carga reactiva según las pérdidas deseadas, o bien, b) bajo forma de pérdidas producidas por efecto Joule por una resistencia especialmente montada en la máquina para este ensayo, de tal forma que estas pérdidas produzcan un efecto térmico parecido al que proviene de la máquina utilizada en condiciones normales.

Es esencial, para obtener la máxima precisión que el valor total de las pérdidas utilizado para trazar la curva de tarado, englobe los valores que se quieren medir por el método calorimétrico de tarado. Si esto no puede ser realizado la extrapolación de la curva de tarado será objeto de un acuerdo.

3.3 Determinación de las pérdidas a medir

Cuando se ha trazado la curva de tarado, se hace girar la máquina en las condiciones deseadas para producir las pérdidas a medir. La medida del calentamiento del fluido de refrigeración permite basándose en la curva de tarado, determinar las pérdidas.

3.4 Condiciones a cumplir durante el tarado y la medida

La máquina estará en las mismas condiciones durante estos dos funcionamientos, es decir, en el mismo recinto, con el mismo sistema de refrigeración y el mismo montaje. La temperatura de los alrededores y las condiciones ambiente, deben ser tan iguales como sea posible en los dos casos. El caudal del fluido refrigerante se debe conservar con el mismo valor y con las temperaturas del lado "frío" tan cercanas como sea posible.

Las condiciones de estabilidad descritas en el capítulo 4, deben ser alcanzadas antes de la comprobación de los valores finales del ensayo y de las condiciones definidas en las secciones 1, 2 y 3, en conformidad con este método.

4 CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Si las condiciones de funcionamiento son suficientemente estables (así como la temperatura del fluido de refrigeración a la entrada de la máquina), se considera que se ha alcanzado el equilibrio térmico cuando los controles de elevación de las temperaturas y del caudal demuestran que las pérdidas medidas durante 2 h son constantes dentro de un $\pm 1\%$, o que la elevación de la temperatura del fluido no varía más de un $\pm 1\%$ durante 1 h, permaneciendo constante el caudal del fluido.

Si la temperatura de entrada del fluido de refrigeración o de los bobinados varía más de $\pm 0,3$ °C/h, puede ser difícil obtener el equilibrio térmico; en tales casos se puede tomar un valor inferior. En el caso de la medida calorimétrica en el aire, esta condición puede ser elegida como criterio de estabilidad. Sin embargo, en el caso de determinación de las pérdidas globales o cuando las tolerancias de medida no lo exigen, se puede admitir $\pm 0,5$ °C/h.

Si las condiciones de estabilidad de temperatura a la entrada de la máquina no son satisfactorias, puede ser necesario posponer los ensayos a un momento más propicio.

A título indicativo, la duración del ensayo será variable según la medida de las pérdidas: 10 a 20 h para una medida de las pérdidas a plena carga, 15 a 30 h para una medida de las pérdidas en vacío sin excitación.

5 PÉRDIDAS P_2 NO TRANSMITIDAS AL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN

Estas pérdidas consisten en:

- las pérdidas disipadas en las fundaciones y en el eje por conducción. Estas son usualmente despreciables y muy difíciles para medir;
- las pérdidas por contacto de las superficies exteriores de la máquina con la atmósfera (convección) y con las paredes (radiación);
- las pérdidas debidas a la variación de la energía cinética del aire de refrigeración circulando por la máquina, que tiene un circuito abierto de refrigeración. Esta pérdidas son generalmente pequeñas, pero pueden ser calculadas usando la fórmula:

$$P = \frac{\rho Q}{2000} v^2 \text{ kW}$$

en la que:

Q = es el caudal de aire, en m^3/s ,

ρ = es la densidad del aire, en kg/m^3 ,

v = es la velocidad de salida del aire, en m/s .

Para reducir estas pérdidas, P_2 (incluyendo las debidas a filtraciones) a un valor mínimo, pueden ser mejoradas las condiciones de ensayo mediante variación bien sea del flujo o de la temperatura del medio de refrigeración para así reducir las diferencias de temperatura entre el sistema y el aire ambiente. Debe de tenerse cuidado, sin embargo, de asegurar que la exactitud de medidas de temperaturas, no queda afectada por la temperatura del ambiente. Estas precauciones son esenciales en la medida de las pérdidas separadas.

Las pérdidas P_2 pueden ser minimizadas por un calorifugado apropiado de las superficies de cambio de calor, o de ciertas partes de la máquina. Se tienen en cuenta en los cálculos las conocidas propiedades de transmisión de calor de los materiales del calorifugado. Este calorifugado es particularmente apropiado en las instalaciones en donde es difícil suprimir las corrientes de aire exteriores o mantener condiciones de temperatura ambiente relativamente constantes.

En la práctica, no se tomará en consideración más que las pérdidas P_2 evacuadas por la superficie de la máquina haciendo las medidas de tal manera que esta pérdidas sean inferiores al 2,5% de las pérdidas P_1 medidas en carga, e inferiores al 5% de las pérdidas P_1 determinadas por el método de las pérdidas disipadas por la superficie de la máquina. Estas pérdidas pueden ser obtenidas por la fórmula:

$$\text{Pérdidas } P_2 = h \times \text{área (m}^2) \times \Delta t \text{ (K)}$$

en la que:

Δt = diferencia en temperatura entre la superficie de referencia de la máquina y la temperatura ambiente exterior.

Se admite que el valor de h para pérdidas disipadas por la superficie está entre 10 y 20 $W/(m^2 \cdot K)$, siendo un valor razonable 15 $W/(m^2 \cdot K)$, cuando se han tomado las precauciones de eliminar las corrientes de aire sobre las superficies de transmisión. El valor a emplear será objeto de un acuerdo entre constructor y comprador. Ejemplos de determinación de h para las pérdidas disipadas por las superficies de intercambio en contacto con aire es:

- para superficies exteriores $h = 11 + 3 v$ $W/(m^2 \cdot K)$.
donde: v = velocidad del aire ambiente en m/s; y
- para superficies enteramente dentro de la superficie externa de la máquina: $h = 5 + 3 v$ $W/(m^2 \cdot K)$
donde v = velocidad del aire de refrigeración en m/s (véase figura 1).

6 PÉRDIDAS EN EL EXTERIOR DE LA SUPERFICIE DE REFERENCIA P_e

Las pérdidas P_e comprenden en particular:

- las pérdidas en el reostato colocado en el circuito de excitación principal, en los elementos de regulación de tensión, "shunt" y circuito de excitación separado del de la excitatriz;
- las pérdidas en la excitatriz y en los anillos colectores si su circuito de refrigeración es independiente del de la máquina;
- las pérdidas por frotamiento en los cojinetes, en total o en parte, según su colocación completamente o parcialmente fuera de la superficie de referencia.

Estas diversas pérdidas, evaluadas separadamente, deben añadirse a las pérdidas en el interior P_i .

SECCIÓN DOS – DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EL MÉTODO CALORIMÉTRICO CUANDO EL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN ES EL AGUA

7 APLICACIÓN Y RELACIONES BÁSICAS

Este método es solamente aplicable a las máquinas con circuito de refrigeración primario cerrado y que utilizan el agua como fluido de refrigeración secundario, pero es de un empleo muy práctico y conduce a medidas muy precisas. En las figuras 2 y 3 se reproducen esquemas de conexiones típicos para los refrigerantes unidos en paralelo y en serie.

Las pérdidas evacuadas por el agua, se dan por la fórmula:

$$P_1 = c_p \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta t \text{ kW}$$

donde:

c_p = es el calor específico del agua en $kJ/(kgK)$ (a presión constante $p = 0,1 \text{ MN}/m^2$) determinada a partir de la figura 4 como el valor medio integrado de c_p entre las temperaturas de entrada (t_1) y de salida (t_2) de agua.

ρ = es la densidad del agua (kg/m^3) leída sobre la curva de la figura 4 en el punto en que el caudal Q (m^3/s) se mide.

$\Delta t = t_2 - t_1$, calentamiento del agua, en K.

Si se pone en duda la exactitud de los valores utilizados para c_p y ρ y si, en particular, el agua de la refrigeración contiene sales, se medirán c_p y ρ .

El cuidado que se pone en la preparación y la conducción de las medidas así como en las verificaciones de los aparatos de medida es un factor decisivo para la obtención de resultados precisos.

8 MEDIDA DEL CAUDAL DE AGUA

La regulación del caudal de agua, para obtener un calentamiento fácilmente medible, puede hacerse por medio de una válvula situada aguas abajo del aparato de medida del caudal.

La medida del volumen de agua podrá hacerse de diferentes maneras:

- tanques calibrados;
- rebosadero y rebosaderos con aberturas normalizadas;
- contador volumétrico de precisión tarada;
- medidor del caudal con hélice o electromagnético;
- diafragma, venturi, tobera, según la Recomendación ISO R 541

8.1 Recomendaciones para la medida del caudal de agua

8.1.1 Por tanques calibrados. Se elegirá el volumen del tanque de tal modo que el tiempo de llenado sea de un minuto por lo menos.

Las dimensiones del tanque cuyo volumen no puede ser determinado más que por el cálculo, serán de tal modo que las variaciones de volumen debidas a la presión del agua, permanecerán inferiores a 0,02%.

El caudal de agua no deberá cambiar durante la medida.

Se utilizarán simultáneamente dos cronómetros para la medida del tiempo, o cualquier otro contador de tiempo de naturaleza eléctrica.

8.1.2 Por contador volumétrico o caudalímetro de hélice. Las instrucciones del constructor concerniendo a la instalación del aparato de medida (tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo, posición, etc.) (secciones rectas aguas arriba y aguas abajo, posición, etc.), deberán seguirse exactamente y deberá prestarse atención para que el agua no contenga burbujas de aire.

Se debe verificar el instrumento de medida antes y después de cada ensayo. Se hará esta verificación conservando las mismas características de instalación que en servicio y esto más particularmente cuando la instalación no haya podido ser rigurosamente puesta según las instrucciones del constructor del aparato de medida.

En el caso de la medida con un contador volumétrico, se hará la medida del tiempo con dos cronómetros o cualquier otro contador de tiempo eléctrico. El tiempo de medida será suficientemente largo para permitir una precisión conveniente y no será inferior a 5 min.

Si se hace la medida con un caudalímetro, se harán alrededor de 20 lecturas y se calculará el valor medio.

NOTA - Se pueden determinar los diferentes puntos de medida en el momento del establecimiento de los planos de la central por acuerdo entre suministrador y comprador.

En algunos casos, puede ser conveniente utilizar un montaje que permita la puesta en servicio o fuera de servicio del aparato de medida sin interrumpir la marcha de la máquina (véase la figura 9).

9 MEDIDA DEL CALENTAMIENTO DEL AGUA

Puede hacerse la medida por uno de los medios siguientes:

- por termopares o sondas de resistencia preferentemente de platino, colocadas directamente en el agua o en unos dedos de guante llenos de aceite y situados en oposición para obtener directamente el calentamiento del agua. Las sondas de platino conducen a la mayor precisión;
- por termómetros de precisión colocados en unos dedos de guante llenos de aceite; con el fin de evitar los errores sistemáticos, se permutarán los termómetros en cada lectura y el nivel de aceite se mantendrá en la medida deseada.

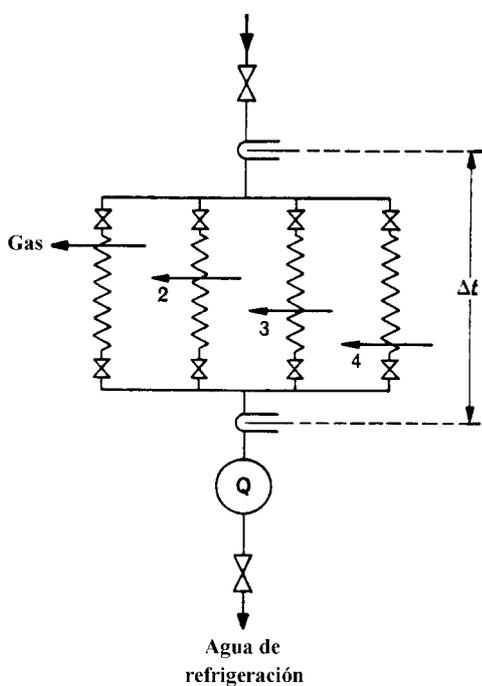


Fig. 2 – Refrigerantes en paralelo

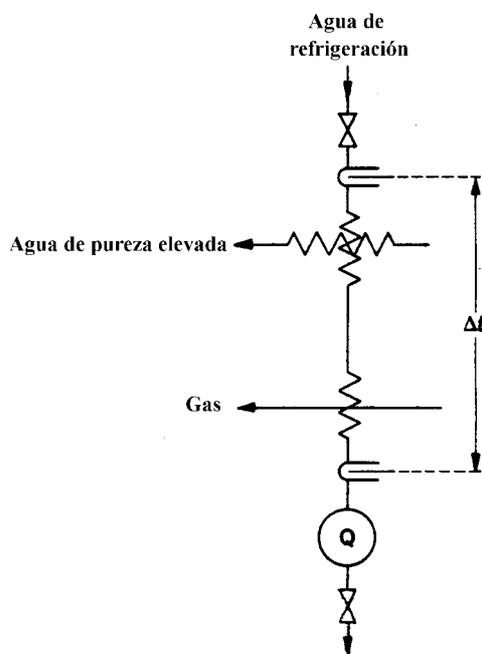


Fig. 3 – Refrigerantes en serie

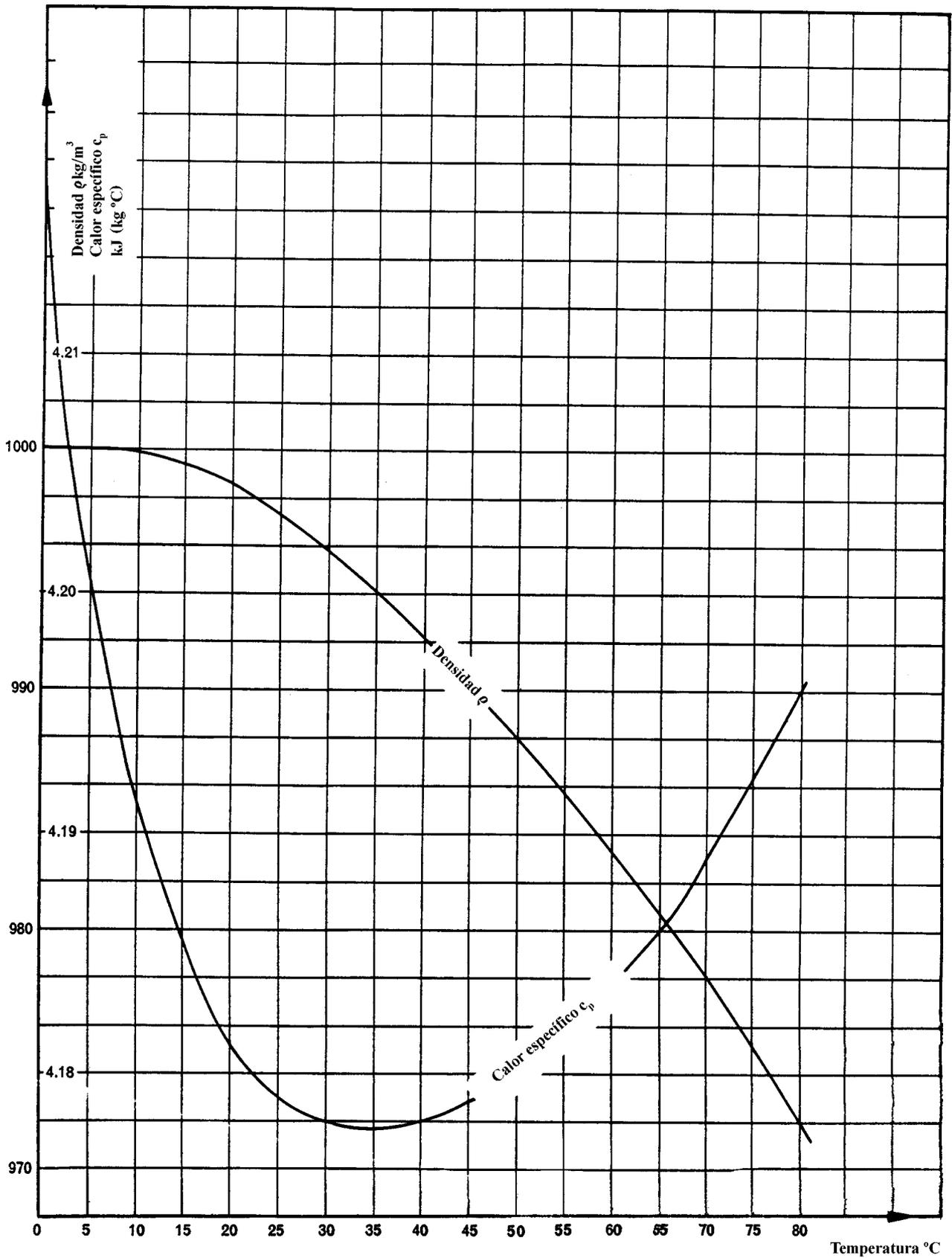


Fig. 4 – Valores característicos del agua pura en función de la temperatura

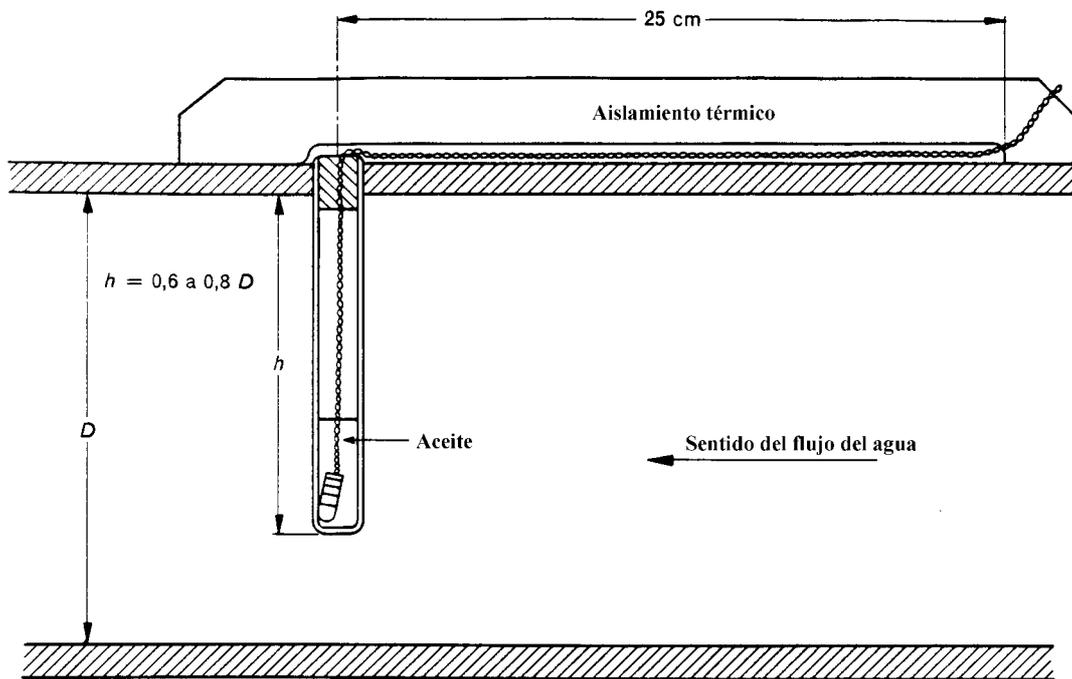


Fig. 5 – Posición de los dedos de guante en la tubería de agua

La verificación de los instrumentos de medida deberá efectuarse antes y después de los ensayos.

Esta medida incluye la diferencia de temperatura debida a las pérdidas de carga del agua en los refrigeradores y en la canalización situada entre los puntos de medidas, y se estima en $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para una pérdida de carga de $4,2\text{ MN/m}^2$. La potencia correspondiente a esta pérdida de carga debe ser deducida de las pérdidas totales medidas de esta forma.

Se puede utilizar un registrador cuando el proceso de medida lo permita.

9.1 Posición de los dedos de guante (véase la figura 5)

Los dedos de guante serán del menor diámetro posible, y se colocaran en la cercanía inmediata del foso del alternador y en el exterior de éste, pero a una distancia tal que el dispositivo de homogeneización de las temperaturas indicado a continuación pueda ser instalado.

Las canalizaciones de salida del agua serán eventualmente calorifugadas, si hay un peligro de cambio térmico con el exterior.

La temperatura del agua en el lugar de los dedos de guante deberá ser homogénea. Podrá instalarse eventualmente un dispositivo de homogeneización con este fin. Puede ser este un codo (o dos) de 90° , combinado con un tubo recto cuya longitud sea de aproximadamente 20 veces el diámetro. En el caso de varios refrigeradores, el caudal de agua de cada refrigerador podrá igualmente ajustarse para tener la misma temperatura del agua de salida, o se hará la medida sobre cada refrigerador separadamente.

La profundidad del dedo de guante estará comprendida entre 0,6 a 0,8 veces el diámetro de la tubería. Sus paredes deberán tener tan poco espesor como sea posible y serán de un material de gran conductividad térmica.

9.2 Instalación del aparato de medida en el interior del dedo de guante

El aparato de medida se situará lo más cerca posible de la pared del dedo de guante; se añadirá aceite para mejorar el contacto térmico sin llenar completamente el dedo de guante. Un tapón en la parte superior, evitará los cambios con el aire.

Cuando la temperatura se lee con termopares o sondas de resistencia, los hilos de salida se pondrán en contacto con la canalización sobre una longitud de 25 cm y aislados térmicamente (véase la figura 5).

10 PRECISIÓN DE LA MEDIDA

La precisión obtenida para la determinación de las pérdidas por el método calorimétrico, depende del método de medida empleado, del tipo de instrumentos utilizados y del error sobre la estimación de las pérdidas P_2 . Dos categorías de errores de medida se dan en la tabla 1:

Tabla 1
Errores de medida por calorimetría en el agua

| Capítulo | Magnitud medida | Efecto del error e como porcentaje de P_i | |
|----------|--|---|-------------|
| | | Categoría A | Categoría B |
| 4 | Equilibrio térmico ¹⁾ | ≤ 1 | |
| 7 | Calor específico \times densidad del agua | ≤ 1 | |
| 8 | Caudal de agua | ≤ 1 | |
| 9 | Calentamiento | ≤ 1 | |
| 5 | Estimación de las pérdidas P_2 ²⁾ . . . | $\left\{ \begin{array}{l} \leq 0,5 \\ \leq 1,5 \end{array} \right.$ | ≤ 3 |
| | Pérdidas P_i : 95% confianza | $\leq 2,5$ | ≤ 5 |
| | Límite de error = $\sqrt{\sum e^2}$ | | |

1) Si no se ha alcanzado el equilibrio térmico, el error puede ser sensible.

2) El valor más bajo es válido si se observan todas las precauciones definidas en el capítulo 5. Se da el valor más alto en el caso de que P_2 sea inferior al 5% de P_1 , a la categoría A.

– la categoría A que está adaptada a la mayor precisión que se pueda obtener;

– la categoría B que está adaptada a un nivel de precisión aceptable que pueda convenir en la mayoría de los casos.

Si el error relativo en P_i , causado por un error en P_2 llega a ser superior a 1,5% en el caso de la categoría A, o superior al 3% para la categoría B, el método calorimétrico no se recomienda.

Ciertas imprecisiones son comunes a todos los métodos de medida como por ejemplo la inestabilidad de las magnitudes que intervienen en la medida de velocidad, tensión, intensidad, etc.

NOTA – Las medidas efectuadas por calorimetría en el agua dan generalmente resultados más precisos que las efectuadas en el aire. De este modo, si se está en presencia de burbujas de gas en el agua (un cristal de observación permite detectarlas), es preferible eliminarlas con el fin de utilizar la calorimetría en el agua, más que emplear el método calorimétrico en el aire.

SECCIÓN TRES – DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EL MÉTODO CALORIMÉTRICO CUANDO EL FLUIDO DE REFRIGERACIÓN ES EL AIRE

MEDIDAS REALIZADAS EN EL CIRCUITO PRIMARIO

11 APLICACIÓN Y RELACIONES BÁSICAS

La medida en el circuito primario necesita una experiencia en aerodinámica aplicada. Los métodos de medidas que deben ser utilizados, variarán según las dimensiones del sistema y el tipo de ventilación adoptado.

El método calorimétrico por aire, tiene la ventaja de poder aplicarse a todos los sistemas de ventilación, en circuito abierto o en circuito cerrado. No hay que incorporar a la máquina ningún elemento particular de medida en el momento del montaje. Es por esto que estas medidas por el método calorimétrico en el aire, pueden efectuarse igualmente sobre máquinas montadas en la central, y que no han sido especialmente concebidas para estas medidas. Sin embargo, es preciso notar que pueden presentarse algunas dificultades de medida a consecuencia de las velocidades de aire desiguales a través de la sección de medida o a consecuencia de la desigualdad de temperaturas.

El método calorimétrico por aire debe utilizarse:

- si la máquina está completamente refrigerada en circuito abierto y por consecuencia no es disponible un circuito de agua secundario;
- si el agua del circuito secundario contiene burbujas o gases que hacen imposible una medida precisa del caudal de agua y no es aplicable ningún método de medida del caudal de agua;
- si no ha sido previsto ningún dispositivo en el circuito de agua secundario para la medida de su caudal y de su temperatura, y si tal dispositivo no puede ser instalado posteriormente.

Como en el caso de la calorimetría por agua, se supone, empleando la calorimetría por aire, que el sistema ha alcanzado el equilibrio térmico.

Las corrientes de aire en el circuito primario entre el aire caliente y el frío, no tienen efecto sobre la medida calorimétrica, siempre que este cambio de aire tenga lugar enteramente en el interior de la superficie de referencia.

El fin de la calorimetría por aire es la medida de las pérdidas P_1 (véase la sección uno).

Para ello, hay que resolver tres problemas:

- determinación del caudal másico del aire ρQ ;
- determinación del calentamiento del aire Δt ;
- determinación del calor específico del aire c_p a presión constante.

12 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁSIKO DE AIRE

Para determinar el caudal másico del aire, el caudal volumétrico Q se mide y la densidad del aire ρ se lee sobre el gráfico de la figura 7, en el lugar preciso en que ha sido efectuada la medida del caudal.

12.1 Medida del caudal

Puede ser determinado el caudal Q introduciendo en el circuito de aire una resistencia aerodinámica verificada, por ejemplo, un diafragma de medida verificado (véase apartado 12.1.1), midiendo la velocidad del aire en una sección atravesada por el caudal de aire total, o utilizando un método de comparación.

12.1.1 Principio de la medida por un resistencia aerodinámica verificada. Para aplicar este principio, se coloca un diafragma en el circuito primario y se mide la pérdida de carga. Por medio de calibración, dando la variación del caudal volumétrico en función de la diferencia de presión, la lectura de la pérdida de carga permite determinar la ley del caudal. La verificación es sólo válida para una densidad de aire determinada. En consecuencia, el valor del caudal determinado por la calibración, deberá ser corregido y calculado para la densidad del aire en el momento de la medida.

Se utiliza como diafragma de medida una pantalla constituida por una hoja perforada (véase figura 6). Estas hojas, de dimensiones iguales y verificada, se colocan en lugares convenientes perpendicularmente a la corriente de aire, y se utilizan en número suficiente, para obtener para el caudal de aire normal una pérdida de carga de valor fácilmente medible ($100 \text{ N/m}^2 = 10,2 \text{ kg/m}^2 = 10,2 \text{ mm de agua}$).

Con el fin de no reducir la ventilación de la máquina de manera excesiva, la pérdida de carga no debería ser superior a los valores indicados antes.

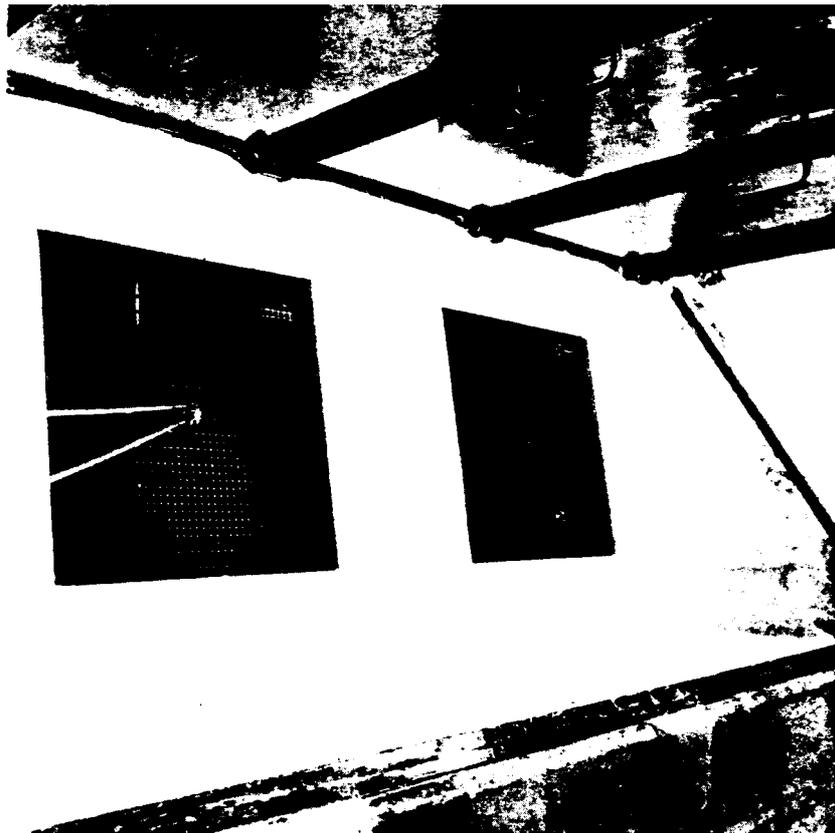


Fig. 6 – Diafragma de rejilla en el circuito de refrigeración en la central

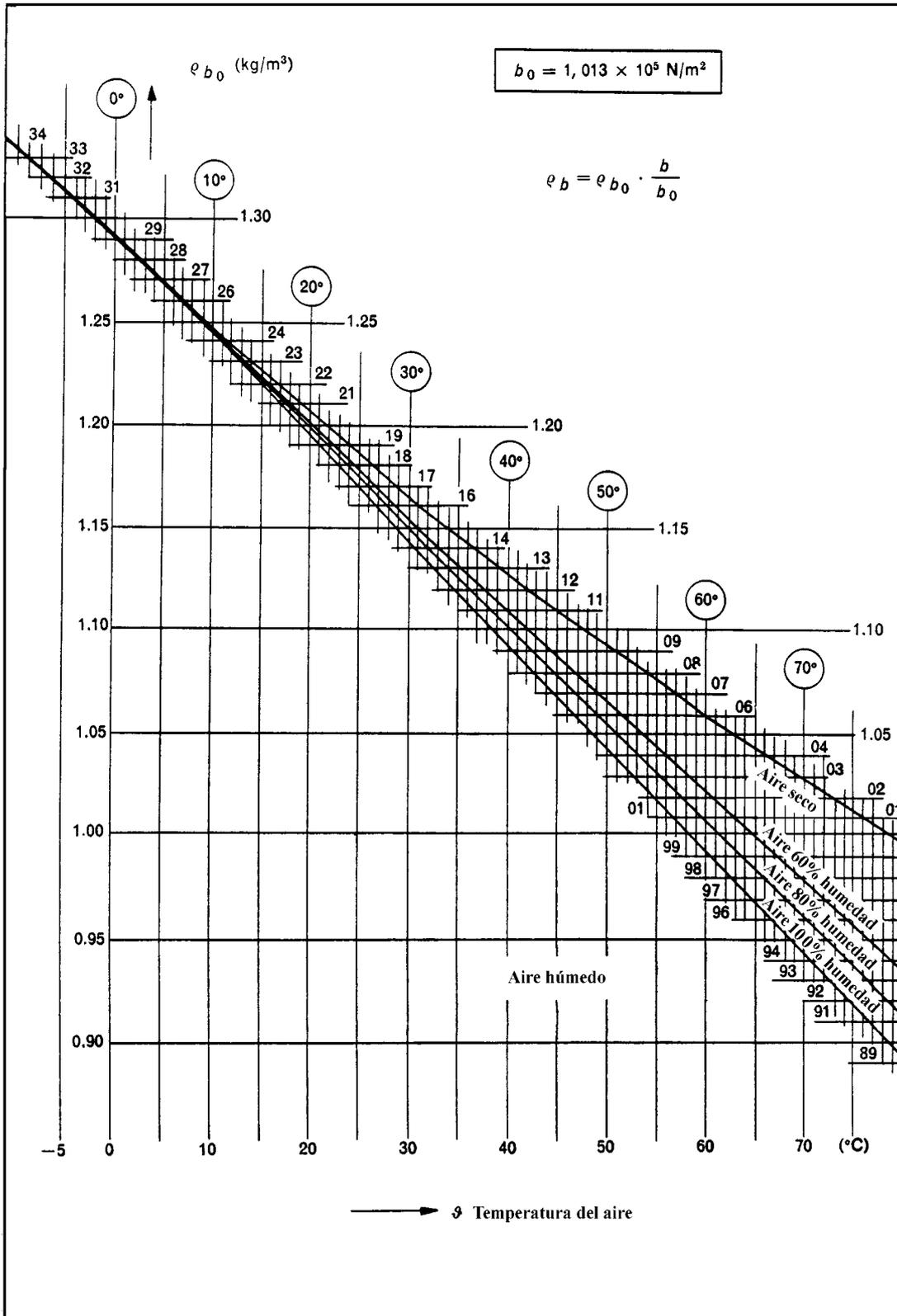


Fig. 7 – Densidad del aire en función de la temperatura y la humedad

Este método sirve especialmente para las máquinas ventiladas en circuito abierto. Para calcular el caudal de aire Q para otros valores de la densidad de aire, se aplica la fórmula siguiente:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\rho_1/\rho_2}$$

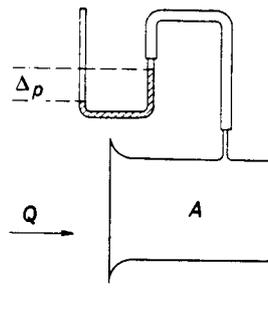
La utilización del principio de la introducción de una resistencia aerodinámica en el circuito del aire, necesita una medida de pérdida de carga. Para esto se utiliza un manómetro de tubos inclinados, o en todo caso un manómetro de escala, en N/m^2 , suficientemente amplia ($\pm 1 N/m^2$).

En el caso de un circuito cerrado, los refrigeradores pueden ser usados para este fin, pero es difícil su calibración.

12.1.2 Medida con tobera de aspiración. En el caso de una máquina refrigerada por aire, se puede medir también el caudal de aire en el lado de la entrada del aire, con la ayuda de toberas de aspiración.

Se aplica para esta medida la relación siguiente:

$$Q = \alpha \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{\Delta p} \cdot A \text{ m}^3/\text{s}$$



en donde:

A = sección recta de la tobera de aspiración (m^2);

ρ = densidad del aire local (kg/m^3);

Δp = diferencia entre la presión estática en la tobera de aspiración y la presión ambiente (N/m^2).

El coeficiente α tiene como valor 0,98 con una tobera de aspiración de modelo estándar, y este coeficiente no depende del caudal de aire.

La sección recta total de los aparatos, según el número de ellos a utilizar, depende de la pérdida de carga a medir y cuyo valor óptimo es del orden de $100 N/m^2$.

12.1.3 Método por comparación. Este método consiste en introducir en el circuito de refrigeración de la máquina, un dispositivo que permita inyectar una potencia P (kW) conocida a la que corresponde una elevación de temperatura medible Δt (K) del fluido de refrigeración. Conociendo por otra parte, el calor específico c_p (kJ/kgK) en el lugar del dispositivo de medida, se determina entonces el caudal másico del fluido de refrigeración:

$$\rho \cdot Q = \frac{P}{c_p \cdot \Delta t} \text{ kg/s}$$

12.2 Medida de la densidad del aire

La densidad del aire ρ es función de la presión barométrica real b , de la temperatura t y de la humedad relativa del aire en el lugar real de la medida del caudal.

La presión atmosférica en el lugar de la medida del caudal difiere muy poco de la presión atmosférica en las cercanías de la instalación que se puede medir con un barómetro, u obtener de una estación meteorológica local. La presión barométrica será la de la presión actual y no el valor corregido según la altitud por encima del nivel del mar. La temperatura en el lugar de la medida, puede ser determinada de manera suficientemente precisa con un termómetro normal.

Cuando se utilizan los refrigeradores para la medida del caudal, es preciso tomar el valor medio aritmético entre la entrada y la salida del aire del refrigerador para determinar la densidad del aire.

Se debe utilizar un higrómetro especial para medir la humedad.

El diagrama de la figura 7 indica las densidades del aire seco y húmedo en función de la temperatura.

La influencia de la presión barométrica, se calculará con la fórmula siguiente:

$$\rho_b = \rho_{b_0} \cdot \frac{b}{b_0}$$

donde:

$$b_0 = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

13 DETERMINACIÓN DEL CALENTAMIENTO DEL AIRE

La medida de la temperatura puede hacerse por medio de detectores eléctricos (sondas de resistencia, termopares, termistancias). Si el calentamiento es el orden de 10°C , unos termómetros de mercurio graduados a $1/10$ de grado, dan una precisión suficiente.

13.1 Medida con ventilación en circuito abierto

En el caso de las máquinas refrigeradas con el aire ambiente, se debe medir la temperatura del aire a la entrada y a la salida. La distribución de temperatura puede ser muy diferente. Con el fin de obtener valores más exactos, la abertura de salida debe subdividirse, por ejemplo con una malla, en secciones de $0,1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$ aproximadamente. En el interior de cada una de ellas se medirá la temperatura del aire de salida según el mismo principio que se ha explicado en el capítulo 13.

Es preciso tener cuidado de que la velocidad del aire sea uniforme en la sección de medida. Si no lo es, se colocará una pantalla de modo que iguale las velocidades del aire a la salida, se efectuarán entonces las medidas y se determinará el valor medio. Esta pantalla puede considerarse como pantalla de valor medio térmico, y debe fijarse con soportes aislados térmicamente.

13.2 Medida con ventilación en circuito cerrado

En el caso de una máquina con ventilación en circuito cerrado, la diferencia de temperatura del aire en los refrigeradores, es decir, la diferencia entre la temperatura de aire caliente y la temperatura de aire frío a la salida del cambiador, determina las pérdidas absorbidas por el refrigerador.

Si el lado de aire caliente de los refrigeradores es accesible unos termómetros de mercurio indicarán esta temperatura. La temperatura del aire a la salida debe medirse en diferentes puntos, ya que la temperatura del aire es diferente según los lugares a causa del calentamiento del agua.

Si el lado de aire caliente de los refrigeradores no es accesible, se utilizarán unas sondas eléctricas para medir la temperatura del aire caliente colocándolas antes de las aletas del cambiador, sin que las sondas estén en contacto con las referidas aletas.

14 DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO DEL AIRE

El calor específico del aire c_p a presión constante es prácticamente constante para la gama de presión y temperatura previsible (7 °C a 70 °C) y el aire seco tiene el valor siguiente:

$$c_p = 1,01 \text{ kJ/(kg K)}$$

Los valores son más elevados para el aire húmedo (véase la figura 8).

15 PRECISIÓN DE MEDIDA

La precisión de la determinación de las pérdidas por el método calorimétrico, depende del método de medida utilizado.

En la tabla 2 se da el error de medida para cada categoría de medidas según el método utilizado, y el valor de la diferencia de temperatura.

El método elegido para los ensayos deberá permitir una precisión de medida de por lo menos el 2,5% para la categoría A y del 5% para la categoría B, a menos que se acuerden particularmente condiciones diferentes (véase el capítulo 10).

Tabla 2
Error de medida por calorimetría en el aire

| Magnitud de medida y método de medida | Porcentaje de error (%) | |
|---|----------------------------|-------|
| Calor específico c_p | ± 0,5 | |
| Densidad del aire ρ | ± 0,5 | |
| Caudal del aire: | | |
| – diafragma de medida | ± 2,5 | |
| – anemómetro o aparato eléctrico | ± 3,0 | |
| – tubo de Pitot | ± 3,0 | |
| – tobera de aspiración | ± 1,5 | |
| Calentamiento Δt | | |
| | en la gama de: | |
| por termómetro de mercurio o eléctricamente | 5 °C < Δt < 10 °C | ± 2,0 |
| | 10 °C < Δt < 20 °C | ± 1,0 |
| | 20 °C < Δt | ± 0,8 |

SECCIÓN CUATRO – CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

16 PREPARATIVOS PARA LA MEDIDAS CALORIMÉTRICAS CON LÍQUIDOS DE REFRIGERACIÓN

Las medidas calorimétricas deben efectuarse separadamente sobre cada uno de los circuitos de refrigeración. En el caso de alternadores refrigerados por medio de un solo fluido, son necesarios uno o varios calorímetros para el aceite de los cojinetes, y un calorímetro para el agua de refrigeración de los cambiadores de aire o de gas (véase la figura 2). Cuando está asegurada la refrigeración del alternador por medio de dos fluidos de refrigeración primarios, por ejemplo, hidrógeno y agua pura, hacen falta uno o varios calorímetros (véase la figura 3), según el modo de conexión de los refrigeradores y el objeto de la medida.

Según las exigencias que conciernen a la precisión y a la accesibilidad es aconsejable prever los recorridos de los circuitos de medida de los caudales de agua y de aceite, así como los puntos de medida de las temperaturas, cuando se establezca el plano de las tuberías. Las instalaciones y modificaciones ulteriores no sólo son onerosas, sino que pueden igualmente llevar a una contaminación del aceite de los cojinetes y de los circuitos de agua de gran pureza.

Suponiendo que los caudalímetros tales como los de rodete o de estrangulamiento, en el circuito de agua no tratada, pierden rápidamente su precisión a causa del engrase o de la corrosión, no se deben instalar más que durante el tiempo necesario para la media. Para poder instalarlos y retirarlos sin interrumpir el funcionamiento del alternador, se utilizan unos tubos paralelos (véase la figura 9) que pueden cerrarse en las dos extremidades. Este montaje debe dejar longitudes de tubos entre las compuertas y el caudalímetro.

– a la entrada S 1: $l \geq 10$ veces el ancho nominal.

– a la salida S 2: $l \geq 5$ veces el ancho nominal.

Se debe prever una pequeña compuerta S 5 para verificar que el agua de refrigeración no circule fuera del brazo del caudalímetro (Q), es decir, que las compuertas S 3 y S 4 son bien herméticas en posición de cerradas.

El caudalímetro, comprendidas las uniones adyacentes, ya que perturba el desagüe, debe ser verificado antes del ensayo, así como los emisores de impulsos, amplificadores y aparatos de medida asociados si los hay. Las porciones de tuberías comprendidas entre los puntos de medida de la temperatura deben llevar un aislante térmico. Un aislamiento térmico insuficiente, puede inducir a errores en los dos sentidos.

Si los refrigeradores son exteriores al armazón del alternador, se puede efectuar una medida calorimétrica del fluido refrigerador primario, si los conductos de aire permiten la instalación de los aparatos convenientes para una medida correcta. Si no, los conductos de aire deben estar provistos de un aislamiento térmico conveniente entre el alternador y los refrigeradores, con el fin de permitir medidas satisfactorias en el circuito secundario de refrigeración. Los conductos de aire y el armazón del alternador deben ser estancos, con el fin de evitar las fugas de aire.

17 CONEXIONES Y EQUIPO PARA LAS MEDIDAS CALORIMÉTRICAS CON LÍQUIDOS DE REFRIGERACIÓN

El ejemplo de la figura 2 representa el caso normal de un alternador refrigerado por cuatro refrigeradores de gas-agua conectados en paralelo al lado del circuito de agua. Las pérdidas totales de potencia disipadas por el agua de refrigeración, se obtienen por la medida del caudal de agua Q, y del calentamiento total Δt .

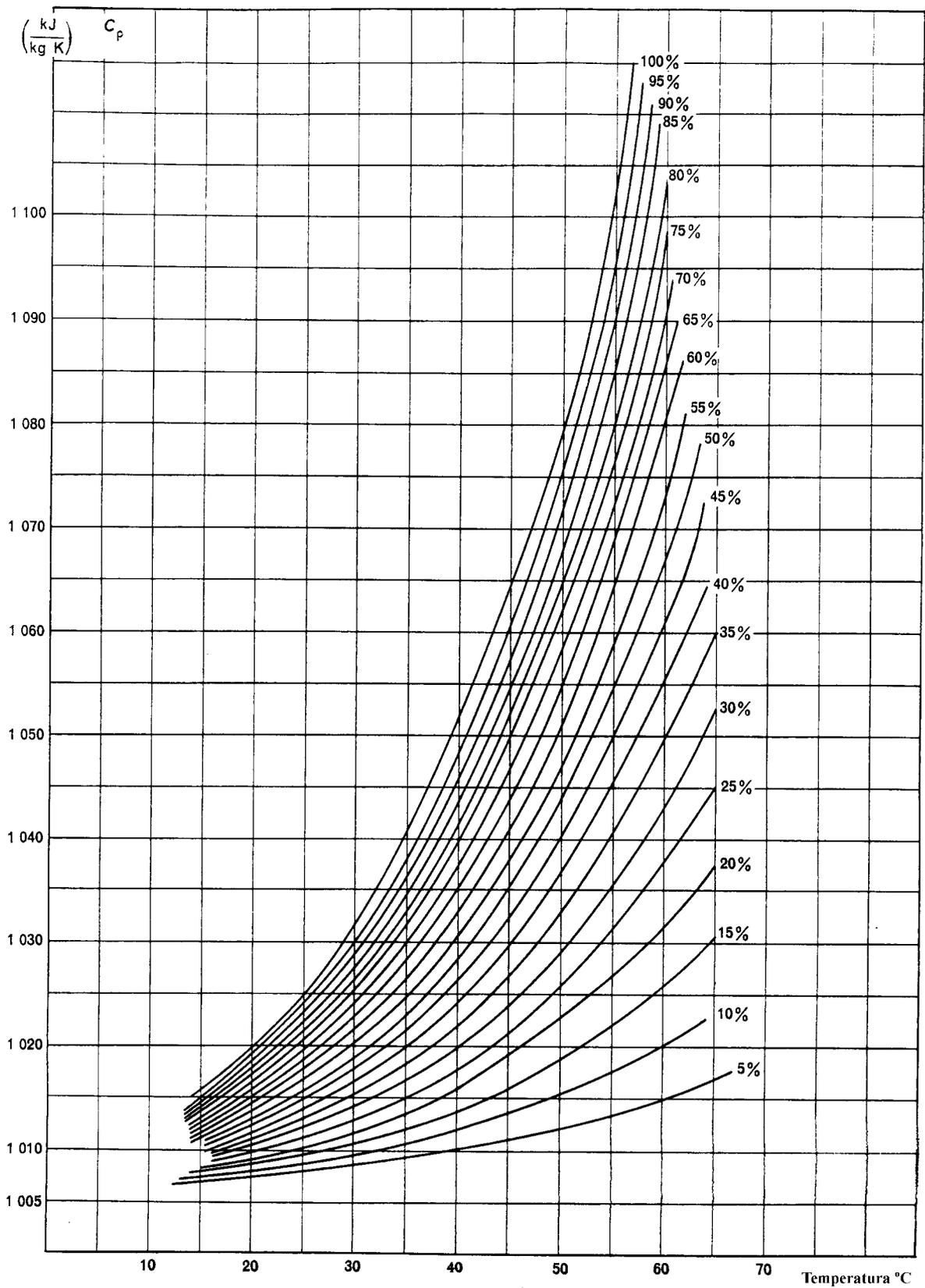


Fig. 8 – Calor específico del aire c_p para distintos valores de humedad y de temperatura

El resultado es independiente de la repartición del agua entre los refrigeradores en paralelo, de la repartición del gas y de la distribución de las pérdidas entre los circuitos individuales de gas 1 a 4. El aislamiento térmico de los conductos de agua entre los puntos de medida de la temperatura es necesario (Véase también el apartado 9.1).

La figura 3 representa la disposición de los refrigeradores en serie, utilizados por ejemplo, en el caso de refrigeración por dos fluidos. En este caso igualmente, se puede determinar el total del agua de refrigeración y el calentamiento total. Es necesario asegurar el aislamiento térmico de los tubos de agua.

Si la realización del aislamiento térmico se hace muy costosa, se puede evitar en el caso de los refrigeradores en serie, midiendo el caudal total Q de agua de refrigeración, pero determinando por separado los calentamientos parciales Δt_1 y Δt_2 o midiendo la potencia disipada por el agua de gran pureza en el circuito de refrigeración. Consideraciones similares son válidas, para el caso de la refrigeración en paralelo.

Con el fin de aumentar la precisión de la medida del calentamiento del fluido refrigerante, se debe efectuar la medida con el calentamiento más elevado posible. A este efecto, se puede reducir el caudal del fluido refrigerante lo más posible, sin sobrepasar los límites de temperatura permitidos. Se puede aplicar esto con un agua de refrigeración suficientemente fría, pero es menos aplicable cuando se emplea el agua de condensación a modo de refrigerante.

Cuando el calentamiento del fluido refrigerador es demasiado débil durante las medidas calorimétricas, y no se puede modificar el desagüe (por ejemplo, el aceite de los cojinetes), es conveniente en el momento de la medida, introducir las pérdidas en el interior de la derivación, porque se llevan sólo sobre una parte del líquido en circulación, conforme a la figura 10 y reintroducir en el refrigerador la parte del fluido refrigerada a una temperatura más baja t_u . Esto implica una temperatura suficientemente baja del fluido refrigerador secundario.

Este método calorimétrico por derivación, permite obtener las diferencias de temperaturas Δt más importantes y, por ello, aumentar la precisión de la medida. Un dispositivo con estrangulamiento permite una distribución conveniente del fluido en los conductos paralelos.

Cuando la disposición materialmente correcta representada sobre la figura 2, no es realizable a causa de la disposición de los conductos y del aislamiento térmico, se puede emplear el método calorimétrico combinado en el que el caudal total medido, se multiplica por el valor medio de los calentamientos en cada refrigerador (véase figura 11). En este caso, antes de la medida se regulan los caudales parciales q_1 a q_4 , con ayuda de las válvulas de entrada, de tal suerte que las diferencias de temperatura Δt_1 a Δt_4 sean iguales. Cuanto mejor es la precisión con la que se realiza este dispositivo, más disminuye el error de evaluación de las pérdidas por medida del calentamiento medio. La diferencia máxima autorizada entre los valores Δt debe ser objeto de un acuerdo. Se puede evitar el calorificar los tubos.

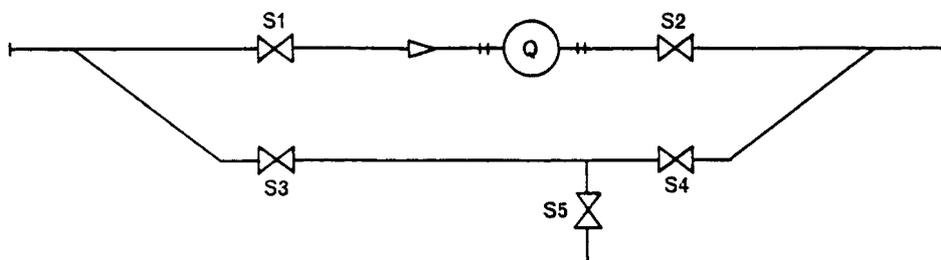
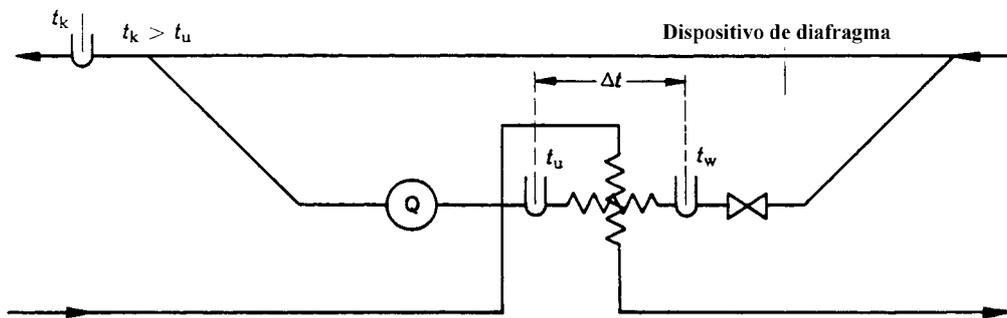


Fig. 9



Q = Caudalímetro
 t_w = Temperatura de refrigerante caliente
 t_u = Temperatura a la que se refrigera en la derivación del fluido refrigerante parcialmente derivado
 t_k = Temperatura mezcla t_u y t_w

Fig. 10

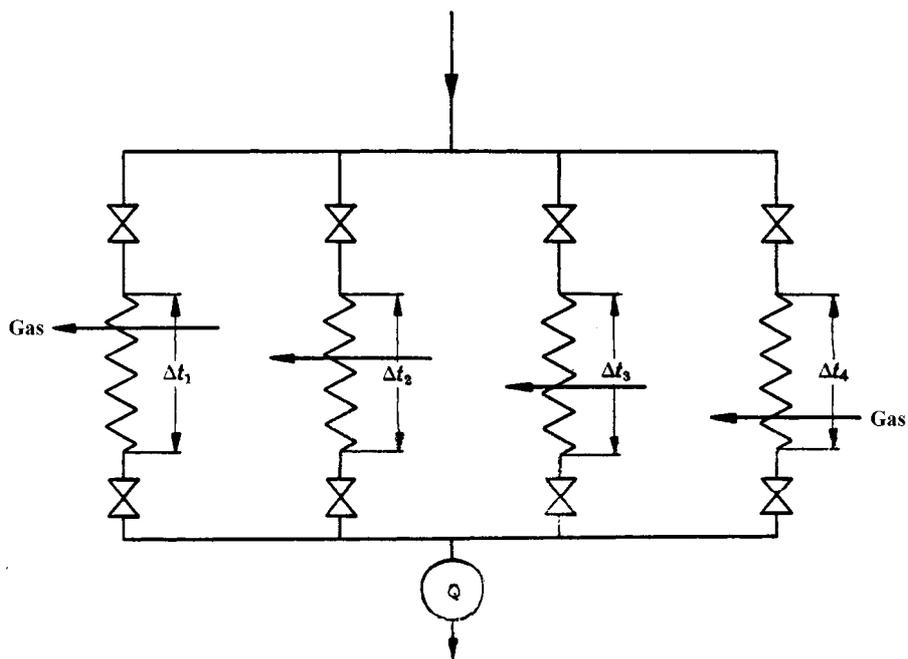


Fig. 11

NORMA INTERNACIONAL

**CEI
IEC
60034-2**

1972

A1

Tercera edición
1995-04

Versión oficial en español

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 2:

Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)

Rotating electrical machines

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

Machines électriques tournantes

Partie 2:

Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)

© CEI 1995
© AENOR 1998 } Reservados todos los derechos de reproducción

Ninguna parte de esta publicación se puede reproducir ni utilizar de cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o microfilm, sin el permiso por escrito de los editores.

Secretaría Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 3 rue de Varembe. GINEBRA, Suiza

Sede Central de AENOR, C Génova, 6. 28004 MADRID, España



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CÓDIGO DE
PRECIO

J

Para información sobre el precio de esta norma, véase catálogo en vigor.

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

Máquinas eléctricas rotativas

**Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento
de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos
(excepto las máquinas para vehículos de tracción)**

MODIFICACIÓN 1

ANTECEDENTES

Esta modificación ha sido elaborada por el subcomité 2G: Métodos y procedimientos de ensayo, del Comité Técnico N° 2: Máquinas rotativas.

El texto de esta norma se basa en los documentos siguientes:

| DIS | Informe de Voto |
|------------|------------------------|
| 2G(CO)21 | 2G(CO)25 |
| 2G(CO)22 | 2G(CO)26 |

El informe de voto indicado en la tabla anterior ofrece toda la información sobre la votación para la aprobación de esta norma.

3 GENERALIDADES

Sustituir el segundo párrafo por el siguiente:

Salvo especificación en contra, los aparatos de medida y sus accesorios, tales como transformadores de medida, shunts y puentes utilizados durante estos ensayos serán de una precisión de 0,5 o mejor (CEI 60051) excluyendo los vatímetros trifásicos y los vatímetros para bajo factor de potencia, para los cuales la precisión será de 1,0 o mejor.

3.1 Lista de símbolos

Sustituir la lista de símbolos por la siguiente:

C = constante de deceleración

I = corriente (intensidad)¹⁾

I_1 = corriente en carga a la tensión nominal

I_{1r} = corriente primaria principal a tensión reducida

I_o = corriente en vacío a la tensión nominal

I_{or} = corriente en vacío a tensión reducida

J = momento de inercia

n = velocidad de rotación, en revoluciones por minuto

n_N = velocidad asignada

N = número de revoluciones completas del eje

P = pérdidas que se pueden medir directamente

P_1 = potencia absorbida a la tensión nominal

P_{1r} = potencia absorbida por el arrollamiento (devanado)²⁾ primario (del inducido) a tensión reducida

P_{Fe} = pérdidas en el hierro según se definen en 6.2 a), 8.1 a) y 10.1 a)

P_f = pérdidas por rozamiento y por ventilación ("pérdidas mecánicas") según se definen en 6.2 b), 6.2 c), 8.1 b), 8.1 c), 10.1 b) y 10.1 c)

P_k = pérdidas en cortocircuito que es la suma de las pérdidas en carga I^2R en los arrollamientos del inducido de acuerdo con 10.2 y de las pérdidas adicionales en carga de acuerdo con 10.4.

P_t = pérdidas totales durante el ensayo de deceleración

S = desplazamiento angular del eje de la máquina

s = deslizamiento

U = tensión de excitación en los bornes del reostato principal

U_e = tensión total de excitación

1) Los términos "corriente" e "intensidad" se utilizan indistintamente.

2) Los términos "arrollamiento" y "devanado" se utilizan indistintamente.

U_n = tensión nominal

U_r = tensión reducida para ensayo en carga

δ = desviación en tanto por uno de la velocidad de rotación respecto de la velocidad asignada

φ = ángulo de desfase en carga a tensión nominal

φ_r = ángulo de desfase en carga a tensión reducida

φ_o = ángulo de desfase en vacío a tensión nominal

φ_{or} = ángulo de desfase en vacío a tensión reducida

7 DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO

Añadir el nuevo apartado siguiente:

7.1.4.2 Pérdidas adicionales en carga en motores de corriente continua alimentados por convertidores de potencia estáticos. Siempre que el factor de rizado de la corriente del inducido (véase 2.29, de la CEI 60034-1:1994) excede de 0,1, las pérdidas adicionales causadas por la componente alterna de la corriente del inducido deben ser consideradas además de las pérdidas especificadas en 7.1.4.

Deben ser calculadas como las pérdidas por corrientes de Foucault originadas por el primer armónico de la componente alterna arriba mencionada.

El método de cálculo usado debe ser objeto de acuerdo entre fabricante y comprador.

7.2 Medida de las pérdidas totales

Suprimir este apartado y sustituirlo por lo siguiente:

7.2 Medida de las pérdidas totales

7.2.1 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre una red (véase capítulo 16). Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas suministradas por el sistema eléctrico se suponen distribuidas uniformemente y el rendimiento se calcula según 7.3.3.

El ensayo debe realizarse, a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

Añadir, después del apartado 7.2.1, el siguiente nuevo apartado 7.3:

7.3 Medida directa del rendimiento

7.3.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como la relación entre la potencia útil y la potencia absorbida. El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

7.3.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

7.3.3 Ensayo en oposición. Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas se suponen distribuidas uniformemente y el rendimiento se calcula a partir de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida (en el caso de un motor) o suministrada (en el caso de un generador).

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

9.2 Medida de las pérdidas totales

Suprimir este apartado y sustituirlo por lo siguiente:

9.2 Medida de las pérdidas totales

9.2.1 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre una red (véase capítulo 16). Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas suministradas por el sistema eléctrico se suponen distribuidas uniformemente y el rendimiento se calcula a partir de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida por una de las máquinas.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

NOTA – Cuando se necesite una caja de cambios, como en el caso de motores de inducción, es imprescindible deducir estas pérdidas de la potencia eléctrica absorbida antes de calcular las pérdidas en la máquina eléctrica.

Añadir, después del apartado 9.2.1, el nuevo apartado siguiente 9.3:

9.3 Medida directa del rendimiento

9.3.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

9.3.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Cuando la máquina funciona de acuerdo con el capítulo 13 en las condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

9.3.3 Ensayo en oposición. Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas se consideran uniformemente distribuidas, y el rendimiento se calcula a partir de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida. La máquina accionada funciona como un generador de inducción si se suministra una fuente de potencia reactiva, y se conecta una carga adecuada en sus bornes.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

10.1 Pérdidas constantes, punto c)

La "Nota" existente deberá marcarse como "Nota 1".

Añadir la siguiente "Nota 2":

NOTA 2 – Para máquinas refrigeradas indirectamente o refrigeradas directamente por hidrógeno, véase 11.5 de CEI 60034-1.

11.1.3 Pérdidas en carga

Suprimir el texto y sustituirlo por lo siguiente:

Estas pérdidas consisten en pérdidas I^2R en los arrollamientos primarios. Las pérdidas I^2R en el arrollamiento primario se miden normalmente durante el ensayo de cortocircuito descrito en 11.1.4.

Cuando se deban dar de forma separada, las pérdidas se calculan a partir de la corriente nominal y de la resistencia de los arrollamientos corregida a la temperatura de referencia.

11.1.4 Pérdidas adicionales en carga

Añadir al segundo párrafo la siguiente frase:

A menos que se especifique otra cosa, se supone que las pérdidas adicionales en carga varían según el cuadrado de la corriente del inducido.

11.2 Medida de las pérdidas totales

Suprimir este apartado y sustituirlo por lo siguiente:

11.2 Medida de las pérdidas totales

11.2.1 Ensayo en oposición con marcha en paralelo sobre una red (véase capítulo 16). Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas se consideran uniformemente distribuidas y el rendimiento debe calcularse según 11.3.3.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

11.2.2 Ensayo con factor de potencia cero (véase capítulo 14). Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, las pérdidas totales son equivalentes a la potencia absorbida durante el ensayo, corregidas para la diferencia entre las pérdidas de corriente de excitación efectiva y las de plena carga.

Añadir, después del apartado 11.2.2, el nuevo apartado 11.3 siguiente:

11.3 Medida directa del rendimiento

11.3.1 Ensayo al freno. Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

11.3.2 Ensayo con máquina auxiliar tarada (véase capítulo 13). Cuando la máquina funciona en condiciones asignadas de velocidad, tensión y corriente, el rendimiento se toma como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

11.3.3 Ensayo en oposición mecánica. Cuando máquinas idénticas funcionan prácticamente en las mismas condiciones asignadas, las pérdidas se consideran uniformemente distribuidas y el rendimiento se calcula a partir de la mitad de las pérdidas totales y de la potencia eléctrica absorbida.

El ensayo debe realizarse a una temperatura lo más próxima posible a la alcanzada al final del tiempo de funcionamiento especificado en el servicio asignado. No se debe realizar ninguna corrección por variación de temperatura de los arrollamientos.

12 GENERALIDADES

Sustituir la palabra "medida" por la palabra "determinación" en las líneas 13, 14, 16 y 18.

15 MÉTODO DE DECELERACIÓN

Suprimir todo este capítulo y sustituirlo por lo siguiente:

Se puede usar un método de deceleración para determinar las pérdidas separadas de las máquinas eléctricas rotativas.

Los métodos de determinación de las pérdidas tratados en este capítulo están básicamente dirigidos a grandes máquinas síncronas, pero los principios usados también se pueden aplicar a otras máquinas (máquinas de inducción de c.a. y máquinas de c.c., mostrando principalmente una inercia de rotación apreciable) usando las pérdidas apropiadas para tales máquinas.

15.1 Generalidades

El método de deceleración se usa para determinar:

- la suma de las pérdidas por rozamiento y pérdidas por ventilación ("pérdidas mecánicas") en las máquinas de todos los tipos;
- la suma de las pérdidas en el hierro y las pérdidas adicionales en vacío en las máquinas de c.c. y las máquinas síncronas;
- la suma de las pérdidas P_R en los arrollamientos primarios y las pérdidas adicionales en carga ("pérdidas en cortocircuito") en las máquinas síncronas.

15.1.1 Principios básicos. Las pérdidas totales P_t que frenan la máquina son proporcionales al producto de la velocidad a que corresponden estas pérdidas y la deceleración a esta velocidad:

$$P_t = - C \cdot n \cdot \frac{dn}{dt}$$

Cuando n se expresa en r.p.m. y P_t se da en kW, la constante de deceleración C es:

$$C = \frac{4 \pi^2 J}{60^2 \cdot 10^3} = 10,97 \times 10^{-6} J$$

donde J se da en kg/m².

La deceleración dn/dt se puede obtener o bien directamente, usando un acelerómetro, o indirectamente, mediante alguno de los métodos descritos a continuación en 15.1.2, 15.1.3 y 15.1.4.

15.1.2 Método de la cuerda. Este método precisa de la medida del intervalo de tiempo $t_2 - t_1$ en el cual la velocidad pasa de $n_N (1 + \delta)$ a $n_N (1 - \delta)$, véase figura 4. El cociente del intervalo de velocidad $2 \delta n_N$ entre el intervalo de tiempo $t_2 - t_1$ es aproximadamente la deceleración a la velocidad asignada:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \frac{dn}{dt} \quad \left| \quad n = n_N \right.$$

El valor de la desviación δ no debe ser mayor que 0,1 y puede ser menor que éste, dependiendo de las características de la máquina.

15.1.3 Método de la secante límite. Este método es una variante del método de la cuerda y se aplica en los casos en que la velocidad de rotación no puede aumentar por encima del valor asignado. El instante de tiempo en el que la velocidad de rotación es igual al valor asignado n_N se marca como t_1 , y los instantes de tiempo en los que la velocidad adquiera los valores $(1 - \delta) n_N$ se marcan como t_2 . La desviación δ toma valores sucesivos decrecientes, y la derivada respecto al tiempo de la velocidad de rotación es el límite de la tangente del ángulo formado por la línea que pasa por los puntos t_1 y t_2 con el eje de tiempo a medida que δ se aproxima a cero, véase figura 5.

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\delta n_N}{t_2 - t_1} = - \frac{dn}{dt} \quad \left| \quad n = n_N \right.$$

15.1.4 Método de la velocidad media de rotación. Si t_1 , t_2 y t_3 representan las lecturas de tiempo sucesivas, y entre dos lecturas sucesivas el eje da N revoluciones completas, entonces los valores medios de la velocidad durante los intervalos de tiempo serán:

$$\bar{n}_{12} = \frac{60 N}{t_2 - t_1} \quad \text{y} \quad \bar{n}_{23} = \frac{60 N}{t_3 - t_2}$$

y la deceleración del eje en un instante intermedio de tiempo t_2 será:

$$\frac{dn}{dt} \approx \frac{2 (\bar{n}_{23} - \bar{n}_{12})}{t_3 - t_1}$$

Se representan los valores calculados de la deceleración en función de los valores medios de la velocidad de rotación. El valor de la deceleración a la velocidad de rotación asignada se determina a partir de la curva.

15.2 Composición de los ensayos de deceleración

15.2.1 Composición de los ensayos con momento de inercia conocido. Cuando el momento de inercia de una parte rotativa de una máquina se conoce por medida o por diseño, entonces para una máquina de c.c. son suficientes dos ensayos de deceleración: la máquina funcionando sin excitación y en vacío, y excitada para obtener la tensión asignada a la velocidad asignada. Para una máquina síncrona será necesario un tercer ensayo cortocircuitando el arrollamiento del inducido y ajustando la excitación para obtener la corriente de inducido asignada.

El primer ensayo da las pérdidas mecánicas de la máquina en ensayo a partir de la fórmula:

$$P_f = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 1$$

El segundo ensayo da las pérdidas mecánicas totales y las pérdidas en el hierro a partir de la fórmula:

$$P_f + P_{Fe} = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 2$$

El tercer ensayo da la suma de las pérdidas mecánicas y las pérdidas en cortocircuito a partir de la fórmula:

$$P_f + P_k = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 3$$

En las ecuaciones anteriores

$$\frac{dn}{dt} \quad | \quad 1, \quad \frac{dn}{dt} \quad | \quad 2, \quad \frac{dn}{dt} \quad | \quad 3$$

son los valores de la derivada de la velocidad en el tiempo en el primer, segundo y tercer ensayo respectivamente.

Las pérdidas en el hierro se determinan como la diferencia de las pérdidas medidas en el segundo y el primero de los ensayos.

La suma de las pérdidas P_f y las pérdidas adicionales en el circuito del inducido se determina como la diferencia de las pérdidas medidas en el tercero y primero de los ensayos. La separación de esta suma en sus componentes, si fuera necesario, se hace restando de las pérdidas P_f del circuito del inducido calculadas a partir de la resistencia del circuito del inducido a la temperatura de ensayo. Con este propósito la temperatura del arrollamiento debe deducirse mediante el método apropiado de medida de temperatura, directamente después de cada ensayo de deceleración con el circuito del inducido en cortocircuito.

15.2.2 Composición de los ensayos con momento de inercia desconocido. Cuando el momento de inercia de una parte rotativa de una máquina es desconocido, o la máquina está acoplada mecánicamente a otras partes rotativas, por ejemplo una turbina, cuya inercia es desconocida, entonces deben llevarse a cabo ensayos adicionales para determinar la constante de deceleración C .

En el caso de que hubiera posibilidad de hacer funcionar la máquina en ensayo como un motor en vacío a partir de una fuente de alimentación de tensión, número de fases y frecuencia (en el caso de máquinas de c.a.) apropiadas, y la potencia suministrada a la máquina en ensayo puede ser medida (igual a la suma de las pérdidas mecánicas y las pérdidas en el hierro ya que las pérdidas P_f del circuito del inducido son normalmente ignoradas), entonces la constante de deceleración C se determina a partir de la fórmula:

$$C = \frac{P_f + P_{Fe}}{n_N \cdot \frac{dn}{dt}} \quad | \quad 2$$

Si la medida de la potencia se ve dificultada por oscilaciones de frecuencia de la fuente de alimentación, entonces como alternativa la energía suministrada a la máquina puede medirse mediante un integrador. Con este propósito es necesario hacer funcionar la máquina como motor durante algún tiempo en condiciones de alimentación constantes.

En el caso de que no hubiera posibilidad de hacer funcionar la máquina en ensayo como un motor en vacío, entonces, además de los tres ensayos de deceleración considerados en 15.2.1, se debe llevar a cabo un ensayo más de deceleración. La máquina en ensayo en este caso es frenada por cualquier pérdida P que pueda ser medida y sea del mismo orden que las pérdidas esperadas P_{Fe} y P_k . A este propósito las pérdidas en vacío o en cortocircuito de un transformador conectado pueden usarse, las cuales se miden separadamente. Como alternativa, si se dispone de una excitatriz o un generador auxiliar montado en el eje de la máquina ensayada, pueden usarse cargándolas con una resistencia balasto.

Si la máquina en ensayo se frena por las pérdidas en vacío del transformador, y las pérdidas de la máquina en cortocircuito correspondientes a la corriente en vacío del transformador son ignoradas, entonces

$$P_f + P_{Fe} + P = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 4$$

por tanto

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \frac{dn}{dt} \quad | \quad 4 - \frac{dn}{dt} \quad | \quad 2 \right\}}$$

Cuando la máquina en ensayo se frena por las pérdidas en cortocircuito del transformador, normalmente las pérdidas en el hierro de la máquina ensayada correspondientes al flujo magnético en el transformador cortocircuitado son ignoradas. Por tanto

$$P_f + P_k + P = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 5$$

y

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \frac{dn}{dt} \quad | \quad 5 - \frac{dn}{dt} \quad | \quad 3 \right\}}$$

Cuando la máquina en ensayo se frena mediante una excitatriz o generador auxiliar cargado con una resistencia balasto, las pérdidas de deceleración comprenden sólo las pérdidas mecánicas P_f y la carga medida P (con una tolerancia para el rendimiento de la máquina de carga que puede ser determinado mediante cálculos). Por tanto:

$$P_f + P = - C \cdot n_N \cdot \frac{dn}{dt} \quad | \quad 6$$

y así

$$C = \frac{P}{n_N \left\{ \frac{dn}{dt} \quad | \quad 6 - \frac{dn}{dt} \quad | \quad 1 \right\}}$$

15.3 Procedimiento de ensayo de deceleración

15.3.1 Estado de una máquina en ensayo durante los ensayos de deceleración. Una máquina en ensayo debe estar completamente montada como para su funcionamiento en condiciones normales. Los cojinetes deben ser "rodados" antes del ensayo. La temperatura del aire debe ajustarse en la medida de lo posible a la temperatura normal a la cual se miden las pérdidas por ventilación mediante la refrigeración con aire fresco. Las temperaturas de los cojinetes deben ajustarse a la temperatura normal a la cual los cojinetes funcionan con la carga asignada, ajustando el flujo de refrigeración.

15.3.2 Máquina en ensayo acoplada a otros mecanismos. Cuando sea posible, la máquina debe estar desacoplada de otras partes rotativas. Si la máquina no puede ser desacoplada, se deben tomar todas las medidas posibles para reducir las pérdidas en las otras partes rotativas, por ejemplo con un desmontaje parcial o en el caso de una turbina hidráulica, evacuando el agua de la cámara del rodete. Se deben tomar las medidas adecuadas para eliminar la posibilidad de que el agua fluya de la zona aguas arriba y que el rodete girando aspire agua de la zona aguas abajo. La rotación del rodete en el aire produce pérdidas por ventilación las cuales pueden ser determinadas experimentalmente o a partir de cálculos por acuerdo entre fabricante y comprador.

15.3.3 Rotación de una máquina en ensayo. En algunos casos la máquina en ensayo puede ser accionada por su motor primario normal, por ejemplo por una turbina Pelton en la que el suministro de agua del rodete puede ser cortada instantáneamente. Sin embargo, la máquina en ensayo funciona normalmente como un motor en vacío, alimentado por una fuente separada con un amplio margen de velocidades. En todos los casos la excitación debe alimentarse por una fuente separada con un control rápido y preciso de tensión. La excitación desde la excitatriz acoplada mecánicamente no se recomienda en principio, pero puede ser permitida en aquellos casos en los que el valor de la desviación de velocidad δ es relativamente pequeña, por ejemplo que no excede de 0,05. En todos estos casos las pérdidas en las excitatrices acopladas al eje de la máquina en ensayo deben tenerse en cuenta.

15.3.4 Procedimiento a llevar a cabo antes de los ensayos. Cada ensayo comienza acelerando rápidamente la máquina en ensayo a una velocidad por encima de $(1 + \delta) n_N$ de forma que durante la deceleración a esta velocidad la máquina pueda colocarse en las condiciones exigidas, a saber:

- la máquina se desconecta de la fuente de alimentación;
- en el caso de deceleración sólo mediante pérdidas mecánicas, el campo de la máquina se elimina;
- en el caso de deceleración debida a la suma de las pérdidas mecánicas y de cortocircuito, se elimina el campo de máquina, los bornes del arrollamiento del inducido son cortocircuitados y la máquina es reexcitada para restablecer la corriente de cortocircuito predeterminada;
- en el caso de deceleración debida a las pérdidas del transformador después de la eliminación del campo, la máquina en ensayo se conecta al transformador, previamente puesto en vacío o en cortocircuito, y excitado a los valores predeterminados de corriente o de tensión en vacío;
- en el caso de deceleración debida a las pérdidas en la carga de la excitatriz o de un generador auxiliar montado sobre el eje de la máquina, el campo de la máquina en ensayo se elimina y la carga especificada se ajusta simultáneamente.

En todos los casos descritos antes debe existir un retardo suficiente entre la desconexión de la fuente de alimentación y el comienzo de las medidas para permitir que se extingan los transitorios electromagnéticos.

En los casos de deceleración debidos a la suma de las pérdidas mecánicas, las pérdidas en el hierro o las pérdidas en vacío de un transformador de alimentación, no se necesita hacer nada más después de que la máquina se desconecte de la fuente si la excitación de la máquina en ensayo corresponde a la tensión en vacío prefijada, en el caso de una máquina síncrona, a la velocidad asignada y con factor de potencia unidad.

15.3.5 Procedimientos durante la deceleración. Las lecturas de los instrumentos usados en cada ensayo (amperímetro de la corriente de excitación, voltímetro de la tensión en vacío, amperímetro de la corriente de cortocircuito) y las de todos los instrumentos precisos para la medida de la potencia en los ensayos de deceleración adicionales donde el momento de inercia J no se conoce, deben tomarse en el instante en que la máquina en ensayo pasa por la velocidad asignada; no se precisan lecturas en este instante en el caso de un ensayo de deceleración sin excitación.

Los valores medidos de la tensión en vacío o de la corriente de cortocircuito no deben diferir de los valores prefijados en más de $\pm 2\%$. El valor final calculado de la derivada de la velocidad respecto del tiempo para cada uno de los ensayos debe ajustarse proporcionalmente al cociente entre el cuadrado del valor prefijado y el valor medido.

15.3.6 Programa de ensayos de deceleración. Los ensayos de deceleración deberán llevarse a cabo en series sin interrupciones, siempre que sea posible. Se recomienda que la serie empiece y termine con algunos ensayos de deceleración con la máquina no excitada. Si por alguna razón una serie de ensayos no se lleva a cabo de forma ininterrumpida entonces se recomienda que cada serie posterior de ensayos empiece y termine con algunos ensayos de deceleración con la máquina no excitada.

Los ensayos pueden ser, o bien repetidos varias veces con los mismos valores prefijados de tensión en vacío o corriente de cortocircuito, por ejemplo a los valores asignados o bien a valores distintos dentro de unos límites del orden de 95% al 105% de los valores asignados. En el primer caso, los valores de la media aritmética obtenidos de todas las medidas se suponen los valores realmente medidos de cada tipo de pérdidas. En el segundo caso, los valores se representan en función de la tensión o la corriente. Los valores realmente medidos se suponen aquellos que ocurren en los puntos de intersección de los valores prefijados de tensión o corriente tal y como se leen en las curvas.

Los ensayos adicionales de deceleración, cuando el momento de inercia es desconocido, deben llevarse a cabo con los mismos valores de tensión o corriente que aquellos obtenidos con el arrollamiento en vacío o cortocircuitado. Si esto no es posible, los valores correspondientes deben determinarse mediante las curvas como se describe anteriormente.

15.4 Realización de las medidas

15.4.1 Métodos de medida. Las medidas tomadas durante los ensayos de deceleración están orientadas a obtener el valor precisado de la derivada de la velocidad respecto del tiempo y pueden ser realizadas mediante alguno de los tres métodos:

- a) acelerométrico - medida directa de la deceleración en el tiempo:

$$\frac{dn}{dt} = f(t);$$

- b) tacométrico - determinando la dependencia de la velocidad con el tiempo:

$$n = f(t);$$

- c) cronográfico - determinando la dependencia del desplazamiento angular del eje de la máquina en ensayo con el tiempo:

$$S = f(t);$$

En todos los casos los instrumentos registradores pueden usarse con registro continuo o discreto de las medidas y del tiempo.

15.4.2 Método acelerométrico. La dependencia de la velocidad con el tiempo para máquinas grandes con un circuito de ventilación complicado puede no ser regular. Como consecuencia de esto, los valores instantáneos de la deceleración durante ésta en el momento de pasar por la velocidad asignada pueden ser aleatorios. Por ello, los valores reales de la derivada de la velocidad pueden determinarse haciendo una gráfica de los valores medidos de la deceleración en función del tiempo o de la velocidad y usando una técnica de ajuste de curvas o de correlación adecuada.

15.4.3 Método tacométrico. Una gráfica de la velocidad en función del tiempo se obtiene de los resultados de las medidas. En esta gráfica los instantes de tiempo se definen como aquellos en los que la velocidad adquiere los valores señalados para los métodos de la cuerda y de la secante límite. Las diferencias entre los tiempos en los límites inferiores y superiores de velocidad se usan para calcular las deceleraciones.

Si existe una excitatriz o cualquier máquina eléctrica en el eje de la máquina en ensayo, se puede usar como tacogenerador, supuesto que la señal de tensión no pulsa con la velocidad de rotación de la máquina en ensayo. La excitación debe ser alimentada por una fuente de c.c. estable, como por ejemplo una batería de acumuladores separada.

Si la señal de tensión pulsa con la velocidad de rotación o no existe tal tacogenerador en la máquina en ensayo, se puede usar una máquina de c.c. acoplada. Esta máquina puede ser accionada por el eje, por una correa sin soldaduras u otros medios para asegurar la rotación suave.

Las lecturas de velocidad se pueden hacer o bien en los intervalos exactos de tiempo, especificados por el método utilizado, en cuyo caso no es preciso registrar señales especiales de tiempo o bien mediante señales procedentes del eje de la máquina en ensayo; en este caso, las lecturas de tiempo se tomarán a la vez que las de velocidad. No es preciso registrar en cada vuelta del eje; normalmente de 30 a 40 lecturas durante todo el ensayo son suficientes.

Con la disponibilidad de instrumentos de medida de gran precisión, la medida de la velocidad de rotación se puede sustituir por la medida de los valores instantáneos de velocidad o del período de la tensión de la máquina en ensayo o cualquier otra máquina situada sobre sus eje; no es preciso que el número de pares de polos en ambas máquinas sea idéntico.

15.4.4 Método cronográfico. Los contadores de tiempo usados pueden ser bien indicadores visuales con movimiento continuo (no en escalones) de la aguja, o bien digitales con impresoras (eléctricas o mecánicas).

Las lecturas de tiempo deben tomarse de acuerdo con las señales obtenidas del eje de la máquina en ensayo en cada vuelta completa del eje o para un número conocido de revoluciones.

NOTA – Si se usa el método tacométrico la velocidad de rotación se determina a partir de las señales procedentes del eje de la máquina en ensayo, por tanto las lecturas de tiempo se pueden usar para los métodos tacométrico y cronográfico, obteniendo así una comprobación mutua.

En algunos casos, cuando la unidad decelera de forma suave, se puede obtener una precisión suficiente registrando los tiempos de deceleración entre dos velocidades con la misma diferencia respecto a la velocidad asignada:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

La frecuencia de la tensión del estátor procura el mejor medio de conocer la velocidad de una máquina síncrona.

15.4.5 Medida de las pérdidas en los rodamientos. Las pérdidas en los cojinetes y cojinetes de empuje pueden ser restadas de la suma total de pérdidas mecánicas, si fuera preciso. Éstas se pueden determinar por el método calorimétrico de acuerdo con la CEI 60034-2A. Si la máquina en ensayo usa refrigeración directa de los cojinetes, estas pérdidas se distribuyen entre la máquina en ensayo y cualquier otra acoplada mecánicamente, como una turbina, en proporción a las masas de sus partes rotativas. Si no es el caso de refrigeración directa, la distribución de las pérdidas de los cojinetes deberá determinarse a partir de fórmulas empíricas por acuerdo entre fabricante y comprador.

17 ENSAYO CALORIMÉTRICO

Suprimir "En estudio" y sustituirlo por lo siguiente:

La medida de las pérdidas por el método calorimétrico debe realizarse de acuerdo con la CEI 60034-2A.

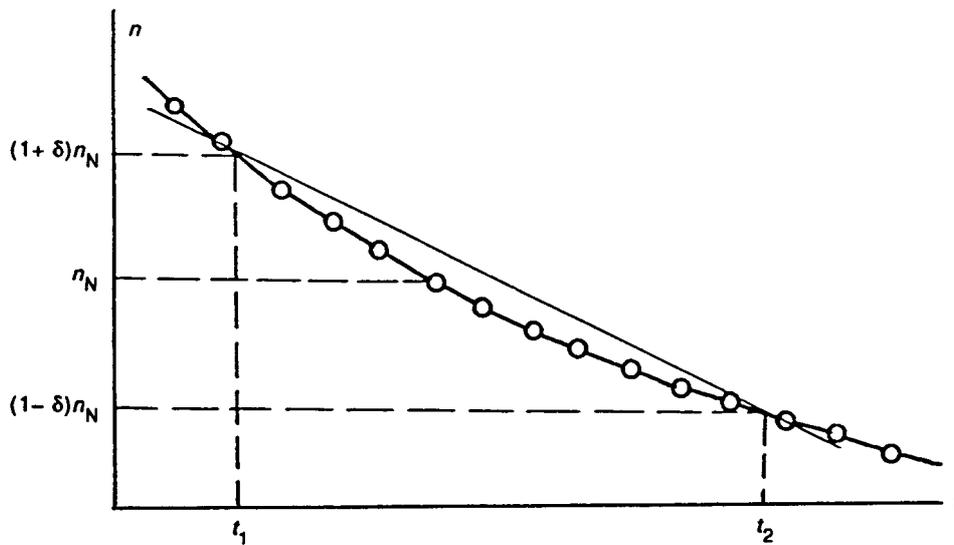


Fig. 4 – Método de la cuerda

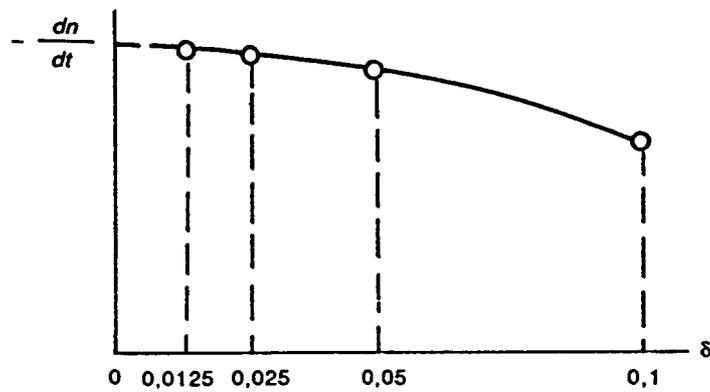


Fig. 5 – Método de la secante límite

Versión oficial en español

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 2:

Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos (excepto las máquinas para vehículos de tracción)

Rotating electrical machines

Part 2:

Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)

Machines électriques tournantes

Partie 2:

Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)

© CEI 1996 } Reservados todos los derechos de reproducción
© AENOR 1998 }

Ninguna parte de esta publicación se puede reproducir ni utilizar de cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o microfilm, sin el permiso por escrito de los editores.

Secretaría Central de la Comisión Electrotécnica Internacional, 3 rue de Varembe. GINEBRA, Suiza

Sede Central de AENOR, C Génova, 6. 28004 MADRID, España



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CÓDIGO DE
PRECIO

H

Para información sobre el precio de esta norma, véase catálogo en vigor.

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

Máquinas eléctricas rotativas

**Parte 2: Métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento
de las máquinas eléctricas rotativas a partir de los ensayos
(excepto las máquinas para vehículos de tracción)**

MODIFICACIÓN 2

ANTECEDENTES

Esta modificación ha sido elaborada por el subcomité 2G: Métodos y procedimientos de ensayo, del comité técnico 2 de CEI: Máquinas rotativas.

El texto de esta modificación se basa en los documentos siguientes:

| FDIS | Informe de voto |
|-------------|------------------------|
| 2G/73/FDIS | 2G/81/RVD |
| 2/939/FDIS | 2/951/RVD |

El informe de voto indicado en la tabla anterior ofrece toda la información sobre la votación para la aprobación de esta modificación.

ÍNDICE

Añadir el título del anexo A como sigue:

Anexo A Métodos provisionales para la determinación de las pérdidas y el rendimiento de los motores de inducción de jaula alimentados por convertidores

5 TEMPERATURA DE REFERENCIA

Sustituir el texto existente por el siguiente:

Salvo que se especifique lo contrario, todas las pérdidas P_R deben ser corregidas a las temperaturas abajo indicadas.

| Clase térmica del sistema de aislamiento | Temperatura de referencia °C |
|---|-------------------------------------|
| A, E | 75 |
| B | 95 |
| F | 115 |
| H | 130 |

Si el calentamiento asignado o la temperatura asignada se especifica a un valor correspondiente a una clase térmica inferior a la utilizada en la construcción, la temperatura de referencia debe ser la de la clase térmica más baja.

Añadir el anexo A como sigue:

ANEXO A (Informativo)

MÉTODOS PROVISIONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS Y DEL RENDIMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN DE JAULA ALIMENTADOS POR CONVERTIDORES

INTRODUCCIÓN

Este anexo se aplica a los motores de inducción de jaula, de frecuencia asignada inferior o igual a 120 Hz, alimentados por convertidores que tienen un circuito intermedio y que son de los siguientes tipos: convertidores de intensidad y convertidores de tensión, habitualmente por modulación de ancho de impulsos.

Los métodos para la determinación de las pérdidas y del rendimiento, dados en la sección 3, son ahora en parte inaplicables y este anexo indica las modificaciones que es necesario hacer en los ensayos.

NOTA – El convertidor de seis escalones es un caso particular del convertidor de impulsos.

En general, cuando es alimentado por un convertidor, el motor presenta pérdidas más elevadas que cuando es alimentado por una fuente sinusoidal. Estas pérdidas adicionales dependen del espectro de los armónicos de la magnitud de la alimentación (corriente o tensión). La importancia de estas pérdidas dependen del circuito y del método de control del convertidor. En consecuencia, no puede encontrarse un factor simple que tenga en cuenta estas pérdidas adicionales.

La determinación de las pérdidas y del rendimiento utilizará por ello preferiblemente procedimientos en los que el motor es alimentado por el mismo convertidor con el que va a funcionar. Se entiende igualmente que los métodos convenientes no deben requerir el conocimiento de los datos de diseño del motor, tal como la geometría de las barras del rotor.

A.1 Determinación de las pérdidas y del rendimiento de los motores alimentados por convertidores

A.1.1 Componentes de las pérdidas adicionales

En los motores de inducción de jaula, las pérdidas adicionales¹⁾ se producen por los armónicos de la corriente o de la tensión, y se componen de las siguientes pérdidas:

- a) pérdidas Joule adicionales en los devanados primarios;
- b) pérdidas Joule adicionales en los devanados secundarios;
- c) pérdidas adicionales en las chapas activas.

NOTA – Los fenómenos físicos que originan las pérdidas adicionales son tratados en el capítulo 5 de la CEI 34-17, 1992 *Guía de aplicación de los motores de inducción de jaula alimentados por convertidores*.

1) Estas pérdidas adicionales son debidas a los armónicos de la alimentación y no incluyen las pérdidas adicionales descritas en 8.1Aa) y 8.3, que se refieren exclusivamente a la alimentación sinusoidal de frecuencia fundamental.

A.1.2 Método de medida de las pérdidas totales

El método de medida de las pérdidas totales tal como se indica en el capítulo 12 es el método preferido, pues todas las pérdidas adicionales están incluidas en el resultado (véase capítulo A.3); sin embargo el equipo de medida de la potencia, el par y la velocidad, debe tener la precisión suficiente, y además, en una gama de frecuencias adecuada. Por ello, deben especificarse requisitos adicionales para los instrumentos de medida y sus accesorios, que complementen los contenidos en el capítulo 3 (véase capítulo A.2).

Para garantizar una tolerancia relativa aceptable de la medida del rendimiento del motor, el error relativo máximo $(\Delta P/P_{in})_{m\acute{a}x.}$ de la medida de la potencia debe ser más pequeño a medida que el rendimiento aumenta, tal como se indica en la figura A.1.

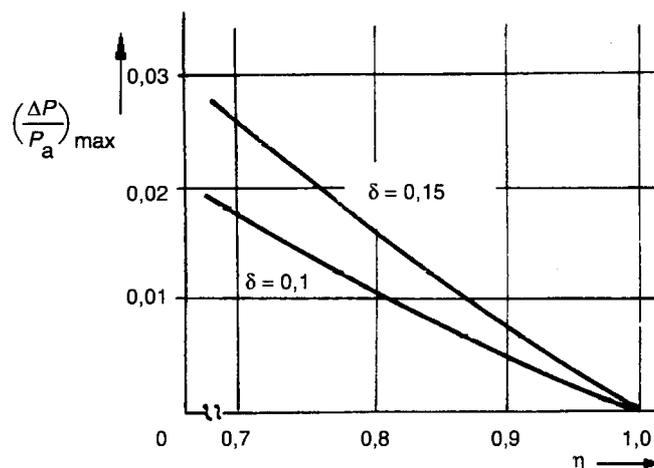


Fig. A.1 – Error relativo máximo admisible $(\Delta P/P_{in})_{m\acute{a}x.}$ para la medida de las pérdidas totales¹⁾

Existe también la posibilidad de determinar el rendimiento global del sistema completo constituido por el convertidor y el motor por el método de las pérdidas totales mediante acuerdo entre fabricante y comprador. En este caso, el rendimiento del motor no puede ser determinado separadamente.

A.1.3 Determinación del rendimiento por el método de las pérdidas separadas

Alguna de las hipótesis hechas en 9.1 ya no son válidas para los motores alimentados por convertidores. En el ensayo en vacío, las pérdidas Joule en el devanado secundario (9.1.1.1) no pueden despreciarse. En consecuencia, las pérdidas en el hierro no pueden separarse. El ensayo en vacío a tensión variable (es decir, a flujo variable) de acuerdo con 9.1.1.3 no puede realizarse con gran número de convertidores comerciales debido a su limitado margen de ajuste; en consecuencia no habrá posibilidad de separar las pérdidas por rozamiento y por ventilación [8.1b) y c)] de las otras pérdidas mediante un ensayo en vacío.

En lo que concierne al ensayo en carga, la aserción efectuada en 9.1.2.1 según la cual "las pérdidas en el devanado secundario son iguales al producto del deslizamiento por la potencia total transmitida al devanado secundario", es solamente válida para una máquina funcionando con una corriente sinusoidal a la frecuencia fundamental. Además, calcular las pérdidas Joule en el devanado primario a partir de la medida de la resistencia utilizando corriente continua (9.1.2.1), producirá un error debido a las corrientes parásitas.

Por ello, para utilizar el método de pérdidas separadas, deben hacerse ciertas hipótesis (véase capítulo A.4).

1) δ = tolerancia, tal como se describe en CEI 34-1, tabla 8, puntos 1 y 2. Las curvas están basadas en una consideración simplificada del error, asumiendo errores ΔP del mismo orden de magnitud en $P_{absorbida}$ y $P_{\acute{u}til}$. La figura A.1 es el gráfico de la ecuación:

$$(\Delta P/P_{in})_{m\acute{a}x.} = \delta \cdot (1 - \eta) / (1 + \eta).$$

$$P_{in} = P_{absorbida}$$

A.1.4 Determinación del rendimiento por el método calorimétrico

El método calorimétrico es particularmente útil en el caso de motores alimentados por convertidores, puesto que las pérdidas se miden independientemente de la forma de onda de las tensiones y de las corrientes.

El método de calibración calorimétrico descrito en el capítulo 3 de CEI 34-2A se considera interesante, pues no requiere la medida del flujo másico; por tanto no es necesario conocer la densidad del medio refrigerante, que es función de la humedad y de la temperatura. Además, puede generalmente ignorarse la variación de la capacidad calorífica específica.

En un montaje como el que se muestra en la figura A.2, la potencia absorbida en la resistencia de disipación puede medirse sin dificultad, de forma que las pérdidas del motor pueden calcularse a partir de la expresión:

$$P_v = P_d (T_2 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

donde

P_v representa las pérdidas del motor;

P_d representa la potencia absorbida en la resistencia de disipación;

T_1, T_2, T_3 representan las temperaturas medidas en los puntos indicados en la figura A.2.

La precisión de la medida depende fundamentalmente de la magnitud de los incrementos de temperatura ($T_2 - T_1$) y ($T_3 - T_2$). La medida tiene que efectuarse de acuerdo con lo que establece el capítulo 13 de CEI 34-2A, para garantizar una precisión de medida tal como se indica en el capítulo 15 y en la tabla 2.

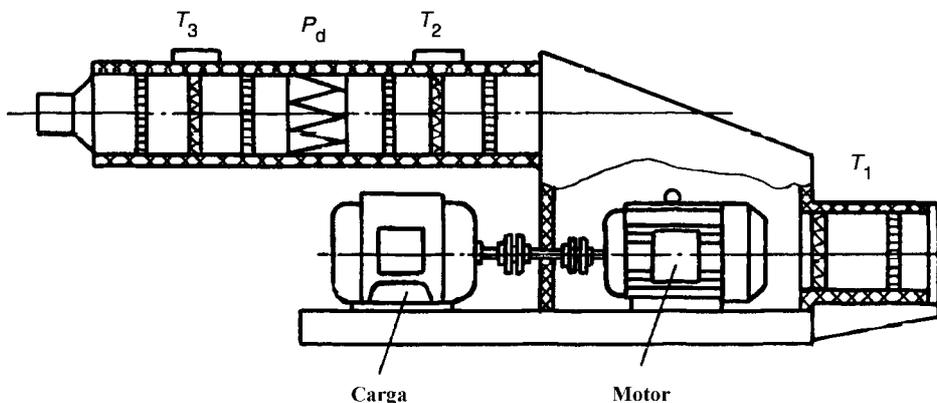


Fig. A.2 – Esquema de montaje de ensayo para el método de calibración calorimétrica

A.1.5 Determinación del rendimiento por el método de las pérdidas separadas a partir de los ensayos sobre un sistema sinusoidal, con aplicación de coeficientes para tener en cuenta las pérdidas adicionales

Frecuentemente, los motores y los convertidores normalizados se interconectan sólo en el lugar de funcionamiento al que han sido destinados. En estos casos, sería particularmente interesante un método para determinar el rendimiento, que consista en añadir un incremento global a las pérdidas medidas con una alimentación sinusoidal. Sin embargo, tal como antes se ha indicado, no hay ninguna posibilidad de definir valores convenientes para este incremento que cubran la gran diversidad de circuitos de convertidores y métodos de control. Actualmente, los datos experimentales recogidos para una cierta gama de potencias útiles y de tipos de circuitos, permiten solamente una utilización limitada de estos incrementos globales (véase capítulo A.5).

A.1.6 Métodos recomendados

Dependiendo de las características asignadas de los motores, se recomienda la aplicación de los métodos siguientes para los motores de frecuencia asignada 50 Hz o 60 Hz:

- a) El método de medida de las pérdidas totales (capítulo A.3) en caso de alimentación por convertidor de corriente o convertidor de tensión, para los motores de potencia ≤ 50 kW.

El método puede ser también aplicado a los motores de potencia > 50 kW, previo acuerdo entre comprador y fabricante¹⁾.
- b) El método de pérdidas separadas en caso de alimentación por un convertidor de corriente (apartado A.4.1) o un convertidor de tensión (A.4.2), para los motores de potencia > 50 kW.
- c) El método de la totalización de las pérdidas con una fuente sinusoidal (9.1) y un ensayo en vacío en caso de alimentación por un convertidor de tensión (A.4.3) para los motores ensayados sobre un banco de ensayos (sea cual sea la potencia de los motores).
- d) El método de calibración calorimétrico (A.1.4) aplicable a todas las potencias, con convertidores de corriente o convertidores de tensión.

A.2 Requisitos de los aparatos de medida

Son necesarios aparatos de medida de valores eficaces de tensión e intensidad, y de potencia activa. En el método de las pérdidas totales, el aparato de medida de potencia activa determina, junto con los de par y velocidad, la precisión de los resultados.

Teniendo en cuenta la contribución de los armónicos a las pérdidas, es preciso seleccionar un equipo de medida adecuado para funcionar con la precisión requerida en la gama de frecuencias de interés. Se recomiendan los valores siguientes para la gama de frecuencias²⁾ f_r del equipo de medida, incluyendo los transformadores de medida, los transductores y las resistencias de shuntado:

$$f_1 = 10 f_i \text{ para convertidores de seis escalones;}$$

$$f_1 = 6 f_p \text{ para convertidores por modulación de ancho de impulsos, con un máximo de 100 kHz;}$$

donde

f_1 es la máxima frecuencia asignada;

f_p es la frecuencia máxima de impulsos (frecuencia de la portadora).

Para los convertidores de seis escalones, estos requisitos pueden ser cumplidos por instrumentos electrodinámicos convencionales. Para los convertidores por modulación de ancho de impulsos, es necesario utilizar aparatos con una mayor gama de frecuencias. Estos serán preferiblemente instrumentos electrónicos con convertidores analógicos-digitales (CAD) y procesadores de señales.

1) Si por previo acuerdo, el método se aplica a motores de mayor potencia debe aceptarse que el error cometido en la determinación del rendimiento pueda sobrepasar los límites de la tolerancia establecidos en la tabla 8 de la CEI 34-1.

2) Para los aparatos de medida convencionales (véase CEI 51), la precisión está especificada para la frecuencia nominal (por ejemplo 0,2% para 40...60 Hz), y se tolera un error adicional de la clase de precisión para una frecuencia especificada superior (por ejemplo 0,4% a 1 000 Hz). Para los aparatos de medida electrónicos, se indica habitualmente una banda de frecuencias correspondiente a la frecuencia más alta especificada. La precisión se establece para 50 Hz ó 60 Hz y para la mayor frecuencia especificada. En adelante, esta frecuencia se denominará gama de frecuencias de un instrumento.

NOTAS

- 1 Con valores elevados de la frecuencia de impulsos, conviene no utilizar el método de los dos vatímetros (Aron), pues la suma de las intensidades puede diferir de cero debido a las corrientes capacitivas. Debe utilizarse un aparato de medida de potencia por fase.
- 2 Se considera que se alcanzan las siguientes precisiones con aparatos de medida apropiados: de potencia 0,5%, de par 0,4% y de velocidad 0,1%.
- 3 Los armónicos a la salida del convertidor y sus números de orden dominantes, dependen del método de modulación. En el capítulo A.6, se dan las consideraciones básicas.

A.3 Método de medida de las pérdidas totales

Para determinar el rendimiento de los motores alimentados por convertidores puede utilizarse el ensayo de freno [(9.3.1) véase Modificación 1], o el ensayo con máquina auxiliar tarada [(9.3.2 véase Modificación 1)]. Estos métodos son también aplicables en condiciones de funcionamiento diferentes a las de la frecuencia asignada, incluyendo el debilitamiento de campo.

Este método directo está restringido a los motores cuya potencia no exceda del límite de potencia asignada indicado en A.1.6.

A.4 Método de pérdidas separadas

La totalización de las pérdidas puede ser aplicada por medio de un ensayo en vacío modificado (9.1.1.1) y de un ensayo en carga modificado (9.1.2.1). Estos dos ensayos se efectúan de acuerdo con la frecuencia y tensión asignadas, siendo ajustada la tensión de acuerdo a las disposiciones del convertidor, es decir por medio de una curva característica intrínseca o por orientación del campo.

Deben realizarse modificaciones diferentes para los convertidores de corriente y los convertidores de tensión.

A.4.1 Motor alimentado por un convertidor de corriente de plena onda completa¹⁾

Se admite que la forma de la onda de corriente no cambia entre el ensayo en vacío y el ensayo en carga, de tal manera que la tasa relativa de armónicos es independiente de la carga. Se admite igualmente que las pérdidas adicionales en el hierro son predominantemente debidas a la inversión del flujo de dispersión. Con estas hipótesis, las pérdidas adicionales debidas a los armónicos dependen esencialmente de la corriente y varían según el cuadrado del valor eficaz de la intensidad en el devanado primario.

En teoría esto permite la determinación de las pérdidas adicionales en carga a partir de la diferencia entre las "pérdidas constantes" medidas en los ensayos en vacío, con alimentación sinusoidal y con alimentación por convertidor. En la práctica, sin embargo, tal método podrá dar lugar a errores considerables.

A.4.1.1 Ensayo en vacío, motor alimentado por convertidor. La diferencia entre la potencia absorbida y las pérdidas en el devanado primario, calculadas a partir de la resistencia medida en corriente continua, incluye las pérdidas constantes (según 8.1, teniendo únicamente en cuenta la fundamental) y las siguientes componentes de pérdidas:

- pérdidas adicionales en el devanado primario, debidas al incremento de la resistencia por efecto de las corrientes parásitas;
- pérdidas adicionales en el hierro;
- pérdidas en el devanado secundario debidas a los armónicos.

1) Las especificaciones para la alimentación a partir de convertidores de corriente con modulación de ancho de impulsos no están incluidas en este documento.

Todas estas componentes de pérdidas aparecen en la suma de las pérdidas constantes cuando se aplica el ensayo en vacío (9.1.1.1).

A.4.1.2 Ensayo en carga, motor alimentado por convertidor. Al aplicar el método descrito en 9.1.2.1 con las lecturas obtenidas del ensayo en carga con convertidor, las pérdidas calculadas para el devanado secundario serán demasiado débiles. Al objeto de compensar la diferencia entre carga y vacío, de las pérdidas debidas a los armónicos en el devanado secundario y también las pérdidas por corrientes parásitas debidas a los armónicos en el devanado primario, deben incrementarse las pérdidas a plena carga en el 0,5% de la potencia absorbida (es decir, además del 0,5% prescrito por 9.1.3 para tener en cuenta las pérdidas adicionales), salvo acuerdo contrario y admitiendo que las pérdidas varían según el cuadrado de la intensidad primaria.

A.4.2 Motor alimentado por convertidor de tensión

NOTA – Lo que sigue se aplica a los convertidores de seis escalones y a los convertidores por modulación de ancho de impulsos.

Se puede admitir que los valores absolutos de las corrientes armónicas son independientes de la carga. El rendimiento se obtendrá realizando un ensayo en vacío y un ensayo en carga, con el convertidor en ambos casos.

Las pérdidas adicionales están incluidas en la "suma de las pérdidas constantes" determinada en el ensayo en vacío de acuerdo a 9.1.1.1. En consecuencia, las pérdidas Joule que deben tenerse en cuenta en la suma de pérdidas, son únicamente las debidas a la componente fundamental de las corrientes a la frecuencia de deslizamiento. Se determinan a partir del ensayo en carga según un método diferente del indicado en 9.1.2.1; se consideran como iguales al producto del deslizamiento por la potencia fundamental transmitida al rotor, es decir la potencia absorbida disminuida por las pérdidas Joule en el devanado primario y la "suma de las pérdidas constantes", excepción hecha de las pérdidas por rozamiento y ventilación. Estas últimas se pueden determinar a partir de un ensayo de deceleración. De conformidad con 9.1.3, debe aplicarse el valor global de las pérdidas adicionales en carga debidas a la fundamental.

La figura A.3 muestra un diagrama de la potencia armónica y de las pérdidas adicionales correspondientes. La separación de las pérdidas adicionales es solamente posible en el caso que se conozcan las pérdidas con alimentación sinusoidal.

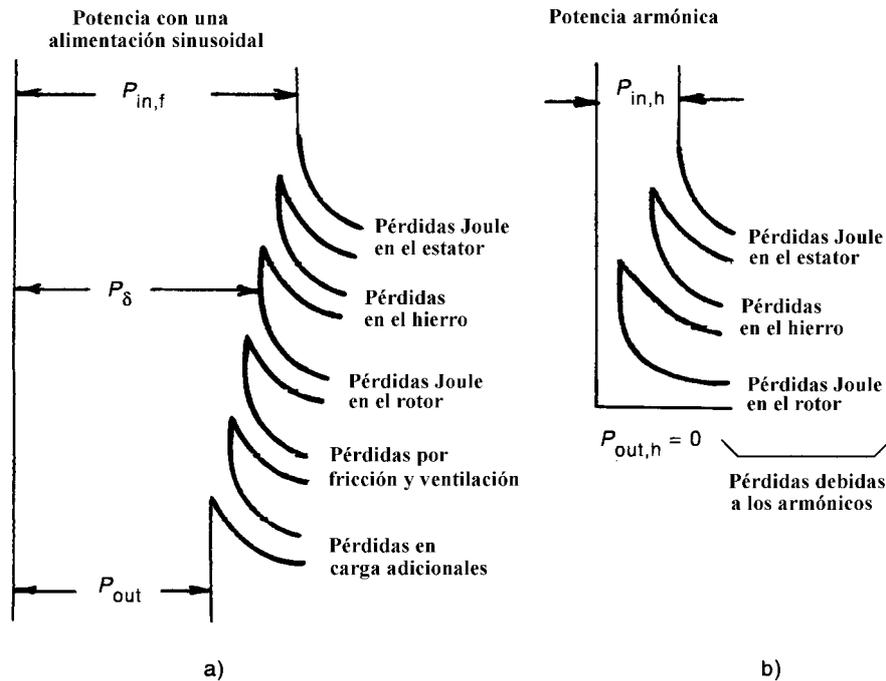


Fig. A.3 – Diagrama de potencia y de pérdidas¹⁾:
 a) con una alimentación sinusoidal, y
 b) potencia armónica y pérdidas adicionales correspondientes, debidas a una alimentación no sinusoidal

A.4.3 Totalización de pérdidas separadas mediante un ensayo en carga con una alimentación sinusoidal y un ensayo en vacío con una alimentación por convertidor

Cuando se dispone de una alimentación sinusoidal, las pérdidas en carga deben determinarse a partir del ensayo en carga especificado en 9.1.2.1. El ensayo en vacío se realiza de acuerdo con 4.9.

Las pérdidas adicionales en carga deben determinarse de acuerdo con 9.1.3.

A.5 Métodos de incrementos estimados sobre las pérdidas determinadas con alimentación sinusoidal

Se han realizado ensayos sobre motores trifásicos de inducción de jaula alimentados sucesivamente con una onda sinusoidal y un convertidor al objeto de determinar las pérdidas adicionales como porcentaje de la potencia absorbida, manteniendo la misma potencia útil con los dos tipos de alimentación, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Para los motores de potencia asignada comprendida entre 30 kW y 1 015 kW, funcionando con convertidores de corriente de seis escalones y de frecuencia asignada de 50 Hz ó 60 Hz, las pérdidas adicionales debidas a la alimentación por convertidor se encuentran entre el 0,6% y 1,25% de la potencia absorbida. Por ello, se admite que un incremento del 1% es apropiado para los motores de potencia asignada superior a 30 kW.

1) Símbolos de la figura A.3:

- $P_{in,f}$ = potencia absorbida fundamental;
- P_{δ} = potencia transmitida al devanado secundario;
- P_{out} = potencia útil;
- $P_{in,h}$ = potencia absorbida armónica;
- $P_{out,h}$ = potencia útil armónica.

- Para los motores alimentados por convertidores de tensión, los resultados dependen de la frecuencia de los impulsos, del modo de generación de los impulsos y del índice de modulación. Los resultados experimentales obtenidos con convertidores por modulación de ancho de impulsos con una onda de referencia sinusoidal muestran valores de las pérdidas adicionales que varían desde valores prácticamente despreciables hasta un 3% de la potencia absorbida. Con los convertidores de tensión de seis escalones se considera adecuado un incremento del 1,5%.

A.6 Consideraciones básicas en relación con los convertidores

A.6.1 Formas de ondas típicas de los convertidores

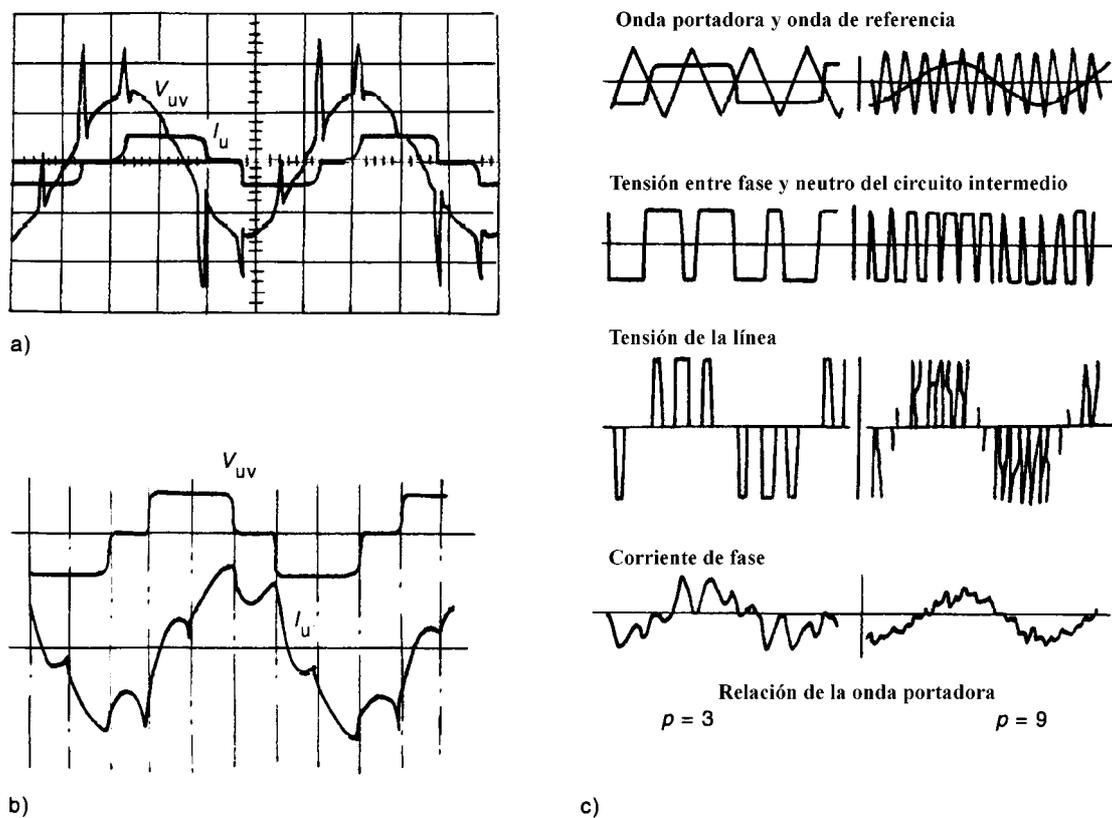


Fig. A.4 – Formas típicas de ondas de corriente y de tensión:

- convertidor de corriente de seis escalones
- convertidor de tensión de seis escalones
- convertidor de tensión por modulación de ancho de impulsos

A.6.2 Armónicos de los convertidores por modulación de ancho de impulsos

El espectro de los armónicos de las corrientes y las tensiones suministrados por los convertidores dependen del método de modulación empleado.

Pueden establecerse expresiones analíticas para la generación sincrónica de impulsos mediante la interacción de una onda portadora y de una onda de referencia, cuyas frecuencias tienen una relación constante. Ejemplo de ello son los convertidores de tensión con modulación de ancho de impulsos. El espectro de los armónicos de tensión puede describirse en términos de la frecuencia fundamental f_1 , de la frecuencia de impulsos f_p , y del índice de modulación M .

Siendo f_1 la frecuencia fundamental del convertidor, las frecuencias de los armónicos serán entonces:

$f_n = n \cdot f_1$, siendo n un número entero para los métodos de modulación síncrona. Con los convertidores trifásicos de seis escalones, los armónicos son de órdenes = 5, 7, 11, 13, ..., decreciendo la tasa de armónicos al aumentar n .

La frecuencia de impulsos f_p es igual al número de conmutaciones por segundo de las válvulas que pertenecen a la misma rama del convertidor; para la modulación de ancho de impulsos esta frecuencia es idéntica a la frecuencia de muestreo. La magnitud $p = f_p/f_1$ denominada relación de portadora, se escoge como un múltiplo de tres para asegurar tensiones trifásicas equilibradas a la salida del convertidor. La modulación sinusoidal y la modulación de onda cuadrada producen un espectro de armónicos a la salida del convertidor con armónicos de orden $n = p \pm m_g$ ($m_g = 2, 4, \dots$) y $n = 2p \pm m_u$ ($m_u = 1, 3, \dots$).

El índice de modulación M se define como la relación entre las amplitudes de la onda de referencia y de la onda portadora. En una amplia gama de valores de M , un armónico próximo a $2f_p$ es predominante en el espectro de la tensión en bornes del motor.

Dados los armónicos de tensión de entrada del motor, los armónicos de la corriente dependen de la impedancia del motor.

Los modos de generación asíncronos de impulsos pueden provocar armónicos de orden fraccionario.

Los armónicos de corriente de motor pueden ser disminuidos mediante la inserción de filtros entre la salida del convertidor y la entrada del motor. En el caso de convertidores de corriente funcionando con modulación de ancho de impulso, es esencial para sus prestaciones que tengan un filtro adecuado (con condensadores).

