

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 60034-18-1: 2007
(Publicada por la IEC en 1992)

**MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS—PARTE 18:
EVALUACIÓN FUNCIONAL DE LOS SISTEMAS DE
AISLAMIENTO—SECCIÓN 1: PRINCIPIOS DIRECTORES
GENERALES
(IEC 60034-18-1:1992, IDT)**

Rotating electrical machines—Part 18: Functional evaluation of insulation systems—Section 1: General guidelines

La versión oficial en español de la Norma Internacional IEC 60034-18-1:1992 *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems – Section 1: General guidelines* es adoptada como Norma Nacional idéntica con la referencia NC-IEC 60034-18-1:2007.

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 60034-18-1:1992.

© 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
60034-18-1**

Primera edición
1992-02
+Corrigendum
1992-08

Versión oficial en español

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 18:

Evaluación funcional de los sistemas de aislamiento

Sección 1: Principios directores generales

Rotating electrical machines

Part 18:

Functional evaluation of insulation systems

Section 1: General guidelines.

Machines électriques tournantes

Partie 18:

Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation

Section 1: Principes directeurs généraux.

© CEI 1992
© 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 Electrónica Internacional, 3 rue de Varembé. GINEBRA, Suiza

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CÓDIGO DE
PRECIO

N

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

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES	5
INTRODUCCIÓN	6
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	7
2 NORMAS PARA CONSULTA	7
3 DEFINICIONES	8
3.1 Términos generales	8
3.2 Términos relativos a los objetos sometidos a los ensayos	8
3.3 Términos relativos a los factores de influencia	9
3.4 Términos relativos a los ensayos y a la evaluación	9
4 ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL	9
4.1 Efectos de los factores de envejecimiento	10
4.2 Sistema de aislamiento de referencia	10
4.3 Ensayos funcionales	10
5 ENSAYOS FUNCIONALES TÉRMICOS	11
5.1 Aspectos generales de los ensayos funcionales térmicos	11
5.2 Probetas y muestras de ensayo	11
5.3 Procedimientos de los ensayos funcionales térmicos	12
5.4 Subciclo de envejecimiento térmico	14
5.5 Subciclo de diagnóstico	14
5.6 Análisis, informe y clasificación	15
6 ENSAYOS FUNCIONALES ELÉCTRICOS	17
6.1 Aspectos generales de los ensayos funcionales eléctricos	17
6.2 Probetas	17
6.3 Procedimientos de los ensayos funcionales eléctricos	17
6.4 Análisis e informe	18
7 ENSAYOS FUNCIONALES MECÁNICOS	18
8 ENSAYOS FUNCIONALES AMBIENTALES	19
9 ENSAYOS FUNCIONALES MULTIFACTORIALES	19

	Página
Tabla 1 – Clases Térmicas	20
Tabla 2 – Temperaturas y subciclos de envejecimiento sugeridos	20
Figura 1 – Diagrama de Arrhenius para comparar un sistema candidato C con un sistema de referencia R	21
ANEXO A (Informativo) – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL

Máquinas eléctricas rotativas

Parte 18: Evaluación funcional de los sistemas de aislamiento Sección 1: Principios directores generales

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 parte de la Norma Internacional CEI 34-18 ha sido elaborada por el subcomité 2J: Clasificación de los sistemas de aislamientos para máquinas rotativas, del comité técnico 2 de CEI: Máquinas rotativas.

El texto de esta parte se basa en los documentos siguientes

Regla de los Seis Meses	Informe de Voto
2J(CO)4	2J(CO)8

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

El anexo A se da únicamente a título informativo.

INTRODUCCIÓN

La Norma CEI 34-18 comprende varias secciones:

Sección 1: Principios directores generales.

Las secciones 21,22,...,29 tratan de los procedimientos de ensayo para devanados de hilos.

Las secciones 31,32,...,39 tratan de los procedimientos de ensayo para devanados preformados.

La Norma CEI 505 relaciona y define todos los factores que pueden tener alguna influencia en la duración de vida de los aislamientos de los equipos eléctricos. Estos factores de influencia que provocan el envejecimiento de los aislamientos, son de diversa naturaleza: térmicos, eléctricos, ambientales (condiciones del ambiente) y mecánicos.

La Norma CEI 85 trata de la evaluación térmica de los materiales aislantes y de los sistemas de aislamiento utilizados en los equipos eléctricos. Esta norma establece, en particular, las clases térmicas de los sistemas de aislamiento utilizados en las máquinas eléctricas rotativas, tales como las A, E, B, F y H, así como las temperaturas usualmente asociadas a esas clases térmicas. En el pasado, los materiales utilizados en los sistemas de aislamiento han sido frecuentemente seleccionados teniendo en cuenta únicamente la durabilidad térmica de los materiales individuales. Sin embargo, la segunda edición de la CEI 85 considera que esa selección de los materiales no puede ser utilizada más que como una elección previa, para proceder después a la evaluación funcional de un sistema de aislamiento nuevo, que no haya sido probado en servicio. Esta evaluación está ligada a la experiencia en servicio previa, mediante la utilización de un sistema de aislamiento de referencia que haya hecho sus pruebas en servicio y que sirva de base para la evaluación comparativa. La experiencia en servicio es la base preferida para evaluar la durabilidad térmica de un sistema de aislamiento.

La Norma CEI 611 describe la metodología basada en la relación lineal de Arrhenius (logaritmo de la duración de vida en función de la inversa de la temperatura absoluta); esta metodología debe servir de guía para la preparación de los procedimientos de ensayo para tipos específicos de materiales electrotécnicos en los que el factor de envejecimiento térmico se considera el dominante.

La Norma CEI 727 trata de la evaluación de la durabilidad térmica de los sistemas de aislamiento.

La Norma CEI 791 proporciona directrices para la evaluación de los datos obtenidos de la experiencia en servicio y de ensayos funcionales.

La Norma CEI 792 describe los principios generales de los ensayos de durabilidad con varios factores (multifactoriales) de los sistemas de aislamiento.

En los devanados de las máquinas eléctricas rotativas, pueden ser dominantes diferentes factores de influencia en diversas partes del mismo (p.e. el aislamiento entre espiras y el aislamiento de las conexiones frontales). En consecuencia, pueden ser necesarios criterios diferentes para la evaluación de esas partes del aislamiento. Igualmente puede ser apropiado aplicar procedimientos de evaluación diferentes para la evaluación funcional de esas partes.

Las grandes diferencias existentes entre los devanados de las máquinas eléctricas rotativas, en términos de dimensiones, tensiones y condiciones de funcionamiento, hacen necesaria la utilización de diferentes procedimientos de evaluación funcional para los distintos tipos de devanados. Estos procedimientos pueden ser también de complejidad diferente, siendo el más simple de ellos el que se basa en un solo mecanismo de envejecimiento (p.e. térmico o eléctrico). En el estado actual de la técnica, solamente pueden especificarse con cierto detalle los procedimientos de ensayo de durabilidad térmica y eléctrica. Se describen brevemente los principios de los ensayos funcionales mecánicos, ambientales y multifactoriales, de forma que proporcionen la base para los procedimientos que se desarrollen posteriormente según las necesidades.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta sección de la Norma CEI 34-18 describe los procedimientos de evaluación funcional de los sistemas de aislamiento eléctrico que se utilizan, o que se propone utilizar en las máquinas eléctricas rotativas comprendidas en el campo de aplicación de la Norma CEI 34-1 y asimismo, la clasificación de esos sistemas de aislamiento. Esta sección (sección 1) proporciona los principios directores generales para los citados procedimientos y su clasificación; las siguientes secciones de la norma describen los procedimientos detallados para los diferentes tipos de devanados.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta Norma Internacional. En el momento de la publicación las ediciones indicadas estaban en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta Norma Internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. Los miembros de CEI e ISO poseen el registro de Normas Internacionales en vigor en cada momento.

CEI 34-1:1983 – *Máquinas eléctricas rotativas. Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento.*

CEI 60-2:1973 – *Ensayos de alta tensión. Parte 2: Procedimientos de ensayo.*

CEI 85:1984 – *Evaluación y clasificación térmica del aislamiento eléctrico.*

CEI 216-1:1987 – *Guía para la determinación de las propiedades de endurancia térmica de los materiales aislantes eléctricos. Parte 1: Guía general relativa a los métodos de envejecimiento y a la evaluación de resultados de ensayos.*

CEI 216-2:1974 – *Parte 2: Lista de materiales y de los ensayos existentes.*

CEI 216-3:1980 – *Parte 3: Métodos estadísticos.*

CEI 216-4:1980 – *Parte 4: Instrucciones para el cálculo del perfil de endurancia térmica.*

CEI 493-1:1974 – *Guía para el análisis estadístico de los datos de ensayos de envejecimiento. Parte 1: Métodos basados en los valores medios de los resultados de ensayos distribuidos normalmente.*

CEI 505:1975 – *Guía para la evaluación y la identificación de los sistemas de aislamiento del material eléctrico.*

CEI 544-1:1977 – *Guía para la determinación de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los materiales aislantes. Parte 1: Interacción de radiaciones.*

CEI 544-2:1979 – *Parte 2: Métodos de irradiación.*

CEI 544-3:1979 – *Parte 3: Métodos de ensayo para la determinación de los efectos permanentes.*

CEI 544-4:1985 – *Parte 4: Sistema de clasificación para la utilización en un ambiente bajo radiaciones.*

CEI 610:1978 – *Principales aspectos de la evaluación funcional de los sistemas de aislamiento eléctrico. Mecanismos de envejecimiento y procedimientos de diagnóstico.*

CEI 611:1978 – *Guía para la preparación de procedimientos de ensayo para la evaluación de la endurancia térmica de los sistemas de aislamiento eléctrico.*

CEI 727-1:1982 – *Evaluación de la durabilidad eléctrica de los sistemas de aislamiento eléctrico. Parte 1: Consideraciones generales y procedimientos de evaluación basados en una distribución normal.*

CEI 792-1:1985 – *Ensayos funcionales multifactoriales de sistemas de aislamiento eléctrico. Parte 1: Procedimientos de ensayo.*

3 DEFINICIONES

Para los fines de esta Norma Internacional se aplican las siguientes definiciones.

3.1 Términos generales

3.1.1 temperatura de clase: Temperatura para la cual es apropiado el sistema de aislamiento, según la definición de la clase térmica que se da en la Norma CEI 85.

3.1.2 sistema de aislamiento: Material aislante, o conjunto de materiales aislantes, que debe ser considerado en relación con las partes conductoras asociadas, tal como está aplicado a un equipo eléctrico de un tipo o de un tamaño dados o a una parte de él (de acuerdo con la Norma CEI 505).

NOTAS

- 1 Los devanados pueden llevar varios componentes de aislamiento, cada uno de ellos previsto para diferentes sollicitaciones en servicio, a saber, aislamiento entre espiras, aislamiento de ranura y aislamiento de las conexiones frontales. A estos diferentes componentes del sistema de aislamiento global, se pueden aplicar criterios también diferentes.
- 2 En una máquina dada puede haber más de un sistema de aislamiento. Estos sistemas de aislamiento pueden tener diferentes clases térmicas (p.e. devanados estático y rotórico).

3.1.3 sistema de aislamiento candidato: Sistema de aislamiento que se somete a los ensayos para determinar su aptitud con relación a los factores de envejecimiento (p.e. su clase térmica).

3.1.4 sistema de aislamiento de referencia: Sistema de aislamiento cuyo comportamiento funcional ha sido establecido por una experiencia en servicio satisfactoria.

3.1.5 bobina: Una o varias espiras de conductores aislados conectados en serie y recubiertos por un aislamiento común; las espiras están dispuestas de forma que estén concatenadas con un flujo magnético o lo produzcan.

3.1.6 barra: Mitad de una bobina preformada (véase 3.1.8), cuyas dos mitades se unen después de haber sido colocadas en sus ranuras.

NOTA – Las grandes máquinas rotativas de corriente alterna utilizan normalmente barras y, generalmente, aunque no siempre, las barras forman bobinas de una sola espira en un devanado de dos capas.

3.1.7 devanado de hilo: Devanado compuesto por bobinas constituidas por uno o varios conductores aislados. Cada bobina se forma y se aísla cuando es arrollada e insertada en su alojamiento definitivo. Estos devanados están generalmente realizados en forma de devanados insertados con conductores redondos.

3.1.8 devanado preformado: Devanado compuesto por bobinas preformadas o por barras que se forman, se aíslan y prácticamente se terminan antes de ser introducidas en sus alojamientos finales. Estos devanados están generalmente realizados con conductores rectangulares.

3.2 Términos relativos a los objetos sometidos a los ensayos

3.2.1 probeta: Unidad sometida a los ensayos. La probeta puede ser una máquina real, un componente de la máquina o un modelo de ensayo (véanse 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5), que puede ser sometida a ensayos funcionales (véase 3.4.2). Una probeta puede contener más de una muestra de ensayo (véase 3.2.2).

3.2.2 muestra de ensayo: Componente individual dentro de una probeta, que puede ser utilizado para generar un grupo de datos de ensayo (p.e. tiempo hasta el fallo). Una muestra puede contener más de un componente de aislamiento (p.e. aislamiento entre espiras y aislamiento entre conductor y tierra) y cualquiera de estos componentes puede proporcionar aquel grupo de datos.

3.2.3 modelo de ensayo: Modelo representativo de una máquina real o de una parte de ésta, previsto para ser utilizado en un ensayo funcional (véase 3.4.2), de acuerdo con la Norma CEI 505.

3.2.4 formeta: Modelo de ensayo especial utilizado para la evaluación de los sistemas de aislamiento para devanados preformados.

3.2.5 motoreta: Modelo de ensayo especial utilizado para la evaluación de los sistemas de aislamiento para devanados de hilo.

3.3 Términos relativos a los factores de influencia

3.3.1 factor de influencia: Solicitación o influencia ambiental que puede afectar al comportamiento del aislamiento de una máquina durante el servicio.

3.3.2 factor de envejecimiento: Factor de influencia que puede producir un envejecimiento.

3.4 Términos relativos a los ensayos y a la evaluación

3.4.1 factor de diagnóstico: Factor de influencia que se aplica a un componente de aislamiento de una muestra de ensayo con objeto de establecer su estado, sin que su aplicación aumente de forma significativa su envejecimiento.

3.4.2 ensayo funcional: Ensayo en el que se expone el sistema de aislamiento de una probeta a factores de envejecimiento que simulen las condiciones de servicio, con objeto de obtener información sobre la aptitud para el servicio, incluyendo la evaluación de los resultados de los ensayos.

3.4.3 ensayo de endurancia: Ensayo en el que se determinan, en función del tiempo, los cambios que se producen en propiedades específicas por la acción de uno o varios factores de envejecimiento; la determinación se realiza bien por mediciones o mediante ensayos de comprobación.

3.4.4 ensayo de diagnóstico: Ensayo en el que se aplica un factor de diagnóstico a una muestra de ensayo, con el fin de identificar su estado, y generalmente para ayudar a determinar el final de su duración de vida en ensayo.

3.4.5 criterio de punto final: Valor seleccionado de una característica de una muestra de ensayo que indica el final de su duración de vida en ensayo, o elegido arbitrariamente con el fin de comparar sistemas de aislamiento.

3.4.6 punto final: Fin de un ensayo establecido por el criterio de punto final.

3.4.7 clasificación:

- a) Conjunto de acciones que llevan a la determinación de la clase de un sistema de aislamiento (p.e. clase térmica).
- b) Conjunto de clases definidas (p.e. clases térmicas según la Norma CEI 85).

4 ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN FUNCIONAL

Todos los ensayos funcionales que se describen en esta norma son comparativos. El comportamiento de un sistema candidato (un sistema de aislamiento que no tiene experiencia en servicio probada) se compara con el de un sistema de referencia (un sistema de aislamiento conocido con probada experiencia en servicio), cuando los dos sistemas son sometidos a condiciones de ensayo equivalentes en lo que se refiere a probetas, métodos de envejecimiento y ensayos de diagnóstico

4.1 Efectos de los factores de envejecimiento

Todos los factores de envejecimiento, esto es, térmicos, eléctricos, ambientales y mecánicos, tienen incidencia sobre la vida de todos los tipos de máquinas, pero la importancia de cada factor varía con el tipo de máquina y con la utilización prevista.

En general, el aislamiento de las máquinas pequeñas se degrada principalmente por efecto de la temperatura y del ambiente, teniendo menor importancia las solicitaciones eléctricas y las mecánicas.

Las máquinas de tamaño medio y las grandes que utilizan devanados preformados, son también afectadas por la temperatura y el ambiente, pero además, las solicitaciones eléctricas y las mecánicas pueden constituir factores de envejecimiento muy importantes.

Las máquinas muy grandes, que utilizan generalmente devanados de barras y que pueden funcionar en un ambiente inerte como el hidrógeno, son normalmente más afectadas por las solicitaciones mecánicas, por las eléctricas o por ambas. La temperatura y el ambiente pueden ser factores de envejecimiento menos significativos.

4.2 Sistema de aislamiento de referencia

Como se indica al principio del capítulo 4, los ensayos funcionales se realizan sobre una base de comparación, de tal forma que los resultados de los ensayos de un sistema candidato se comparan con los obtenidos en los mismos ensayos efectuados en un sistema de referencia.

Un sistema de aislamiento está cualificado para ser utilizado como sistema de referencia si:

- ha mostrado un funcionamiento satisfactorio durante largos períodos de tiempo, en condiciones correspondientes a las características asignadas (o a su clase) y en las aplicaciones típicas de ese sistema de aislamiento;
- su experiencia en servicio está basada en un número de máquinas suficiente a efectos estadísticos.

4.3 Ensayos funcionales

En los capítulos 5 a 8 se dan las principales directrices generales para los ensayos funcionales térmicos, eléctricos, mecánicos y ambientales. En caso de que haya más de un factor de envejecimiento que sea importante, se pueden concebir ensayos especiales que sean apropiados al diseño y a las características del tipo de máquina en cuestión. En el capítulo 9 se dan las guías generales relativas a estos ensayos funcionales multifactoriales.

Generalmente los ensayos funcionales se realizan en forma de ciclos cada uno de los cuales comprende dos subciclos, el de envejecimiento y el de diagnóstico. En el subciclo de envejecimiento, las muestras de ensayo se exponen al factor de envejecimiento especificado, convenientemente intensificado para acelerar el envejecimiento. En el subciclo de diagnóstico, las muestras de ensayo se someten a los ensayos de diagnóstico adecuados para determinar el final de su vida en ensayo o para medir algunas propiedades relevantes del sistema de aislamiento en ese momento. En algunos casos, el propio factor de envejecimiento puede actuar como factor de diagnóstico y proporcionar el punto final.

Si los valores de diseño de los sistemas candidato y de referencia son diferentes, y cuando ello sea justificado en un plano técnico, se pueden utilizar niveles diferentes apropiados para los factores de envejecimiento, para los ensayos de diagnóstico o para ambos.

No es necesario aplicar todos los ensayos de diagnóstico en todos los casos. Algunas consideraciones especiales pueden impedir o hacer inaplicables algunos de los ensayos de diagnóstico.

Para aplicaciones específicas el fabricante y el usuario pueden acordar los ensayos apropiados.

5 ENSAYOS FUNCIONALES TÉRMICOS

5.1 Aspectos generales de los ensayos funcionales térmicos

El objetivo de los ensayos funcionales térmicos que se describen en esta norma, es proporcionar datos que puedan ser utilizados para establecer la clase térmica de un sistema de aislamiento nuevo, antes de que haya hecho sus pruebas en servicio.

Estos principios directores generales se utilizan conjuntamente con otras secciones de esta norma para los tipos de devanados específicos que en cada caso sean considerados.

Los conceptos establecidos en esta norma están basados en las Normas CEI 85, 505, 610 y 611.

Los procedimientos descritos permitirán hacer comparaciones pero no determinar completamente los méritos de un sistema de aislamiento dado. Esa información puede ser obtenida únicamente después de una prolongada experiencia en servicio.

Los procesos de envejecimiento térmico en las máquinas eléctricas rotativas pueden ser de naturaleza compleja. Dado que también los sistemas de aislamiento de las máquinas eléctricas rotativas son generalmente complicados aunque con diferentes grados de complejidad, en ellas no existen los sistemas de aislamiento simples a los que hace referencia la Norma CEI 85.

5.1.1 Sistema de aislamiento de referencia. Un sistema de referencia (véase 4.2) será ensayado utilizando el mismo procedimiento de ensayo que el sistema candidato.

Todos los procedimientos de ensayo deben ser equivalentes, teniendo en cuenta el hecho de que cuando los valores de diseño de los dos sistemas de aislamiento son diferentes, pueden utilizarse temperaturas, duraciones de los subciclos de envejecimiento o ensayos de diagnóstico diferentes, cuando ello esté técnicamente justificado (véase la tabla 2).

5.2 Probetas y muestras de ensayo

5.2.1 Construcción de las probetas. Está previsto que en primer lugar se realice una adecuada selección de los diferentes materiales aislantes o componentes del sistema de aislamiento que va a ser evaluado mediante estos procedimientos de ensayo. Se pueden obtener los índices de temperatura de los materiales aislantes siguiendo los procedimientos descritos en términos generales en la Norma CEI 216. Sin embargo, los índices de temperatura de los materiales aislantes no pueden ser utilizados para clasificar los sistemas de aislamiento, sino únicamente a título indicativo para los ensayos funcionales térmicos de los sistemas de aislamiento.

En los casos en que los aspectos económicos o el tamaño de la máquina lo justifiquen, debería utilizarse como probeta la propia máquina o uno de sus componentes. Esto significa generalmente que se necesitan bobinas de sección completa, con las distancias reales de aislamiento y de línea de fuga, aunque se puede utilizar también una longitud de ranura más pequeña.

Cuando se utilizan modelos de ensayo, éstos deben contener todos los elementos esenciales utilizados en los devanados a los que simulan y deben ser considerados únicamente como buenas aproximaciones de ellos. Se deben utilizar los espesores de aislamiento, las distancias de fuga y, en su caso, la protección contra descargas, que sean apropiadas para la tensión asignada prevista y las normas o reglas prácticas de los equipos correspondientes.

Para las máquinas grandes de alta tensión, se pueden utilizar modelos de ensayo que representan una parte de una bobina o de una barra cuando se estudia el envejecimiento específico de esa parte, a condición de que se puedan aplicar factores de influencia representativos a las muestras de ensayo.

5.2.2 Número de muestras de ensayo. Para cada temperatura de envejecimiento elegida (véanse las secciones 2 y 3), se deben someter al procedimiento de ensayo funcional hasta que ocurra el fallo, un número de muestras de ensayo que sea suficiente para obtener una buena media estadística.

5.2.3 Ensayos de aseguramiento de la calidad. Todos los materiales aislantes previstos para la preparación de las probetas, deberían ser sometidos a ensayos separados para establecer su uniformidad y su normalidad antes de ser utilizados en el montaje.

Todas las muestras de ensayo deben ser sometidas a los ensayos de control de calidad del proceso de producción normal o previsto.

5.2.4 Ensayos de diagnóstico iniciales. Cada probeta terminada debe ser sometida, antes de iniciar el primer subciclo de envejecimiento térmico, a todos los ensayos de diagnóstico seleccionados para ser utilizados en el ensayo funcional térmico (véase 5.5), a fin de asegurar que todas las probetas son capaces de pasar los ensayos de diagnóstico seleccionados.

5.3 Procedimientos de los ensayos funcionales térmicos

5.3.1 Principios generales. En 5.3 y 5.4 se especifican las exposiciones al calor en los subciclos de envejecimiento térmico repetidos, exposiciones que son apropiadas para provocar unos efectos de degradación térmica similares a los que se producen en los sistemas de aislamiento en servicio, con un efecto de aceleración del envejecimiento. En 5.5 se describe la aplicación de los ensayos de diagnóstico, tales como los mecánicos, de humedad y de tensión, después de cada subciclo de envejecimiento, que se efectúan para verificar el estado del sistema de aislamiento.

La evaluación del deterioro del sistema de aislamiento provocado por el envejecimiento térmico puede variar en función del tamaño de la máquina o de la parte del devanado en cuestión (p.e. conexión frontal o porción en ranura).

La experiencia ha mostrado que en muchos casos el mejor diagnóstico para la evaluación de un sistema de aislamiento térmicamente degradado, y que por ello se ha vuelto frágil, es someterlo a una sollicitación mecánica que produce fisuras en las partes sometidas a esa sollicitación mecánica, después someterle a la humedad y finalmente aplicar una tensión de ensayo.

En otros casos, sin embargo, las sollicitaciones mecánicas seguidas de exposición a la humedad y la aplicación de una tensión no son los mejores ensayos de diagnóstico. Es apropiado sustituirlos por ensayos dieléctricos seleccionados para verificar el estado del aislamiento después de cada subciclo de envejecimiento térmico (p.e. medida de las descargas parciales o de la tangente del ángulo de pérdidas).

Es preciso darse cuenta de que durante los ensayos de envejecimiento a temperaturas mayores que las normales, pueden producirse sollicitaciones mecánicas más importantes y concentraciones más elevadas de productos de descomposición. Se admite también que los fallos que se producen por sollicitaciones mecánicas o tensiones anormalmente elevadas, tienen una naturaleza diferente de los fallos que ocurren en un servicio de larga duración.

Si es necesario verificar los resultados en otro laboratorio, se pueden encontrar valores diferentes en los ensayos de duración de vida a menos que se reproduzcan con un gran detalle las condiciones del ensayo original. Sin embargo, la comparación entre los resultados obtenidos por diferentes laboratorios cualificados deberían mostrar las mismas diferencias relativas de comportamiento entre los sistemas de aislamiento candidato y de referencia.

5.3.2 Temperaturas de envejecimiento y duraciones de los subciclos

5.3.2.1 Procedimiento normal. Se recomienda que los ensayos se realicen sobre el número de muestras de ensayo que se indica en las secciones siguientes de esta norma a tres temperaturas diferentes como mínimo.

La clase térmica esperada del sistema de aislamiento candidato, así como la clase térmica ya conocida del sistema de referencia deben ser elegidas en la tabla 1.

En la tabla 2 se recogen las temperaturas de envejecimiento que se sugieren y los períodos correspondientes de exposición de cada subciclo de envejecimiento térmico para los sistemas de aislamiento de las diferentes clases térmicas. Se pueden ajustar el tiempo o la temperatura para utilizar mejor las instalaciones y el personal pero las comparaciones deben tener en cuenta estas variaciones (véase 5.6).

La temperatura de envejecimiento más baja que se elija debería producir una duración media logarítmica de vida en ensayo de unas 5 000 h o más. Además deberían elegirse otras dos temperaturas de envejecimiento más elevadas, separadas por intervalos de 20 K o más. Pueden utilizarse intervalos de 10 K cuando los ensayos se hacen a más de tres temperaturas de envejecimiento.

Se recomienda que las duraciones de los subciclos de envejecimiento, para la temperatura de clase esperada, sean elegidas de forma que den una duración de vida media de unos 10 ciclos para cada temperatura de envejecimiento. (En la elaboración de la tabla 2 se ha tenido en cuenta la experiencia acumulada, de forma que la duración de vida media de ensayo a cada temperatura de envejecimiento corresponda aproximadamente a 10 ciclos de ensayo).

5.3.2.2 Verificación de los efectos causados por pequeños cambios en los sistemas de aislamiento. Se reconoce que, en la fabricación de las máquinas rotativas, es necesario hacer de vez en cuando pequeños cambios en los materiales o en los procesos de fabricación, bien sea por razones tecnológicas o bien comerciales.

El fabricante de las máquinas tiene la responsabilidad de determinar si esos pequeños cambios afectarán al gráfico de la endurance térmica de tal manera que pueden reducir la endurance térmica del sistema de aislamiento. En los casos en que el fabricante considera que una pequeña modificación puede cambiar la clase térmica, debe realizar un ensayo de verificación. La necesidad de un ensayo de verificación puede también ser acordada entre el fabricante y el usuario.

El ensayo de verificación se realiza utilizando el mismo procedimiento que para el ensayo térmico funcional de la evaluación original. El sistema se ensaya a la temperatura más baja utilizada en la evaluación original, o bien a la temperatura inmediatamente superior. Si con la pequeña modificación, el sistema de aislamiento tiene una duración de vida en ensayo, a la temperatura elegida, que es estadísticamente equivalente o más larga que la obtenida en la evaluación original del sistema a esa misma temperatura, se puede considerar que la pequeña modificación es aceptable.

En la documentación relativa al sistema de aislamiento, el fabricante debería incluir esta verificación de un pequeño cambio cuando utilice este sistema modificado.

5.3.3 Medios de calentamiento. La experiencia ha demostrado que, a pesar de ciertas desventajas evidentes, los hornos son un medio cómodo y económico para obtener las temperaturas de envejecimiento. El horno somete a todas las partes del sistema de aislamiento a la temperatura de envejecimiento, mientras que en el servicio real una gran parte del sistema de aislamiento puede estar trabajando a temperaturas considerablemente inferiores a la de la parte más caliente del sistema. Y asimismo mientras los productos de descomposición se mantienen probablemente cerca del sistema de aislamiento durante el envejecimiento en horno, estos productos pueden ser evacuados por la ventilación en el funcionamiento real de la máquina. Las temperaturas de envejecimiento deben ser reguladas y mantenidas constantes en un margen de ± 2 K hasta 180 °C y de ± 3 K entre 180 °C y 300 °C.

Sin embargo, no es obligatorio utilizar hornos para el calentamiento. Cuando sea apropiado, se puede utilizar un medio de calentamiento más directo que simule de forma más fiel las condiciones de servicio. Entre esos medios se pueden citar:

- calentamiento directo por una corriente eléctrica;
- arranque e inversión del sentido de giro (ensayo de motor);
- superposición de corriente continua a la corriente alterna normal de un motor que funciona en vacío.

5.3.4 Verificación de los ensayos de diagnóstico. Se recomienda que antes de realizar los ensayos sobre las muestras de ensayo definitivas a las temperaturas de envejecimiento seleccionadas, se someta un pequeño número de muestras de ensayo, una o dos, a un ensayo de envejecimiento a una temperatura muy elevada para asegurarse de que el procedimiento de diagnóstico será efectivo para determinar el fin de vida en ensayo. La temperatura de envejecimiento debería ser elegida para alcanzar el fin de vida en un período de 48 horas. Frecuentemente es necesario utilizar una temperatura de envejecimiento que sea al menos 100 K superior a la temperatura de clase prevista. Estas muestras de ensayo envejecidas deben ser sometidas a los procedimientos de diagnóstico que se ha previsto utilizar, para asegurarse de que el procedimiento de un laboratorio dado, aplicado a unas probetas dadas, es capaz de evaluar la degradación térmica.

Los resultados de este envejecimiento extremo no deben ser incluidos como una parte de los datos de envejecimiento térmico.

5.4 Subciclo de envejecimiento térmico

Cuando es apropiado, la exposición a las temperaturas de envejecimiento se realiza colocando las probetas en hornos cerrados, con una ventilación o una convección forzada que sean las estrictamente suficientes para mantener las temperaturas uniformes especificadas en 5.3.3.

Las probetas frías, (a la temperatura ambiente), deberían ser colocadas directamente en los hornos precalentados, con objeto de someterlas a un choque térmico uniforme en cada ciclo. Asimismo las probetas calientes deberían ser extraídas de los hornos y ser expuestas al aire ambiente, a fin de someterlas a un choque térmico uniforme también en el enfriamiento de la misma forma que en el calentamiento.

Se sabe que algunos materiales se deterioran más rápidamente cuando los productos de descomposición permanecen en contacto con la superficie del aislamiento, mientras que otros materiales se deterioran más rápidamente cuando se eliminan de forma continua los productos de descomposición. Deben mantenerse las mismas condiciones de ventilación del horno para los dos sistemas de aislamiento, el candidato y el de referencia.

Si en el servicio real los productos de descomposición permanecen en contacto con el aislamiento, como puede ocurrir en las máquinas totalmente cerradas, los ensayos deberían preverse de forma que la ventilación del horno no elimine totalmente los productos de descomposición. En condiciones ideales, la concentración de los productos de descomposición no debería cambiar con la temperatura de envejecimiento, pero en la práctica, esto puede ser irrealizable. Se debe indicar en el informe de ensayo la tasa de renovación del aire durante el envejecimiento térmico.

Según las instalaciones de ensayo disponibles, los tipos de probetas utilizadas y otros factores, puede ser deseable utilizar otros métodos de calentamiento y de tratamiento de los productos de descomposición.

Además del envejecimiento térmico que se interrumpe periódicamente para efectuar los ensayos de diagnóstico, con el fin de supervisar la degradación térmica, se puede producir también un deterioro termomecánico del sistema de aislamiento por efecto de la dilatación y la contracción del conjunto durante el ciclo de temperaturas.

5.5 Subciclo de diagnóstico

A continuación de cada subciclo de envejecimiento térmico, cada muestra de ensayo debe ser sometida a una serie de ensayos de diagnóstico seleccionados que pueden incluir, en el orden que sigue, ensayos de sollicitaciones mecánicas, de exposición a la humedad, de tensión y otros según convenga.

5.5.1 Ensayos mecánicos. Se recomienda que la sollicitación mecánica aplicada en el ensayo sea de la misma naturaleza que las que se presentan en servicio, y que tenga una severidad comparable a las mayores sollicitaciones de compresión o de tracción que se esperan en el servicio normal. El procedimiento para aplicar esta sollicitación puede adaptarse según el tipo de probeta y la naturaleza del servicio previsto.

Para la aplicación de la sollicitación mecánica se utiliza generalmente una mesa vibratoria en la que las probetas son sometidas a un movimiento oscilante a 50 Hz o 60 Hz durante una hora. Se utilizan también otros métodos, como el de flexiones y de impactos repetidos.

En caso de máquinas reales, se pueden aplicar sollicitaciones mecánicas a los devanados mediante ciclos de servicio arranque-parada o de inversión del sentido de giro. Sin embargo, esta técnica puede introducir un envejecimiento mecánico. Dado que este efecto es tanto más severo cuanto mayor es el tamaño de la máquina, este factor debe ser tenido en cuenta.

5.5.2 Ensayos de humedad. En muchos casos se admite que la humedad es la causa principal de la variación de las propiedades del aislamiento eléctrico. La humedad puede provocar diferentes tipos de fallo del aislamiento sometido a sollicitaciones eléctricas. La absorción de humedad por un aislamiento sólido tiene un efecto progresivo de aumento de las pérdidas dieléctricas y de reducción de la resistencia de aislamiento, y puede contribuir a cambiar la rigidez dieléctrica. La humedad en los aislamientos mejora la capacidad que tiene un ensayo de tensión para detectar fisuras y porosidades de esos aislamientos.

Es muy corriente efectuar un ensayo de humedad dentro del subciclo de diagnóstico. En este ensayo de humedad cada muestra de ensayo se expone a la humedad que es depositada mediante condensación sobre el devanado. Durante este período no debería aplicarse tensión a las muestras de ensayo.

Un ensayo de humedad de una duración de dos días, en el que la humedad es visible sobre las superficies del aislamiento, constituye una condición más severa que las que se presentan en servicio y es por ello ampliamente utilizado. La experiencia ha demostrado que se requiere un tiempo de exposición mínimo de 48 horas para que la humedad penetre en el devanado de forma que la resistencia del aislamiento alcance un valor relativamente estable.

5.5.3 Ensayos de tensión. Como parte del subciclo de diagnóstico seleccionado, se aplica tensión a las muestras de ensayo con objeto de verificar el estado de las mismas y de determinar cuando se ha llegado al final de vida en ensayo. En las secciones siguientes de esta norma se especifican el valor y la forma de onda de la tensión que debe ser aplicada. Cuando se especifica la tensión a frecuencia industrial, la frecuencia debe estar entre los 49 Hz y los 62 Hz.

La tensión puede aplicarse entre la bobina y la carcasa, entre bobinas, entre espiras, y entre hilos según los casos. Si se realiza un ensayo de humedad, el ensayo de tensión se efectúa a la temperatura ambiente mientras las muestras de ensayo están aún húmedas por efecto de la exposición.

En ciertos casos, la presencia de la humedad en la superficie puede impedir la aplicación normal de la tensión; en estos casos se debe enjugar la superficie de la muestra de ensayo para eliminar las gotitas de agua inmediatamente antes de la aplicación de la tensión.

En estos ensayos, la tensión se aplica de forma que no reduzca la duración de vida en ensayo del aislamiento de las muestras de ensayo. Deben tomarse las precauciones necesarias para que no se presenten sobretensiones de maniobra imprevistas que sometan a los sistemas de aislamiento a sobretensiones transitorias de tipo impulso.

Cualquier fallo que se presente en cualquier componente del sistema de aislamiento constituye un fallo de toda la muestra de ensayo y fija el final de vida en ensayo.

NOTA – La duración de vida en ensayo no tiene una relación directa con la duración de vida en servicio de una máquina.

Cualquier fallo en los ensayos de verificación con tensión se pone de manifiesto por un valor no usual de la intensidad. Otros indicadores de fallo pueden ser un calentamiento localizado o la presencia de humo. En el informe de ensayo se debería indicar la presencia de picaduras ligeras o de chispas superficiales, pero esto no constituye un fallo.

El equipo de ensayo debe tener una potencia suficiente para provocar y revelar un fallo.

5.5.4 Otros ensayos de diagnóstico. Durante el desarrollo de los ensayos puede ser deseable verificar de forma periódica el estado del aislamiento de algunas muestras de ensayo, mediante medidas que sean prácticamente no destructivas. Algunos ejemplos de ellas son la resistencia de aislamiento, la tangente del ángulo de pérdidas y las descargas parciales. Analizando los cambios en estas medidas y correlacionando estos cambios con el tiempo, antes de que ocurra el fallo, se pueden obtener informaciones muy valiosas sobre la naturaleza y el ritmo de deterioro del aislamiento, mejorando así la confianza en la fiabilidad de los resultados definitivos.

Se pueden utilizar también otros ensayos de diagnóstico para determinar el fin de la duración de vida en ensayo, bien sea como complemento de los ensayos de tensión o bien en sustitución de éstos. Se puede establecer un criterio de punto final para cada ensayo de diagnóstico, estableciendo la justificación correspondiente en el informe de ensayo.

5.6 Análisis, informe y clasificación

Se considera que el final de vida en ensayo del aislamiento se produce, a la temperatura de envejecimiento, en el punto medio del tiempo entre dos aplicaciones consecutivas de los factores de diagnóstico.

Para cada muestra de ensayo y cada temperatura, se debe registrar el número total de horas de envejecimiento térmico hasta el final del ensayo.

Se debería llevar a cabo un análisis de regresión lineal en coordenadas de Arrhenius (logaritmo del tiempo en función de la inversa de la temperatura absoluta), de acuerdo con la Norma CEI 216-3. Para la presentación de los resultados, se dibuja el gráfico de endurancia térmica que representa los puntos de duración media de vida (media logarítmica).

La recta de regresión del sistema de referencia (R) debe ser extrapolada hasta su temperatura de clase para obtener la duración de vida en ensayo media logarítmica (X). En el caso normal, las duraciones de vida en servicio de los sistemas candidato y de referencia deben ser las *mismas*; en este caso debe obtenerse la temperatura (T_c) sobre la recta de regresión del sistema candidato (C) para una misma duración de vida en ensayo (X). La temperatura de clase del sistema candidato es la temperatura inmediatamente inferior (igual o inferior a T_c), que figura en la tabla 1, y con esta misma tabla se determina la clase del aislamiento.

En casos especiales en los que las duraciones de vida en servicio requeridas para los sistemas candidato y de referencia deben ser *diferentes*, la temperatura T'_c debe obtenerse sobre la recta de regresión del sistema candidato para una duración de vida en ensayo que difiera en la misma proporción. (Por ejemplo, si se requiere que la duración de vida en servicio del sistema candidato sea doble, la temperatura T'_c se obtiene de la recta de regresión del sistema candidato para un valor de duración de vida en ensayo (2X) igual a dos veces la del sistema de referencia a su temperatura de clase). La temperatura de clase es, de nuevo, la temperatura inmediatamente inferior, (igual o inferior a T'_c) en la tabla 1 con la cual se determina también la clase del aislamiento.

Cuando se efectúa la comparación sobre la base de duraciones de vida en servicio diferentes, esto debe ser establecido en el informe y ser objeto de una justificación adecuada.

La figura 1 muestra gráficamente este procedimiento. Teniendo en cuenta que la extrapolación incrementa el grado de incertidumbre de los resultados del ensayo, dicha extrapolación no debería ser superior a 25 K con relación a la temperatura de ensayo más pequeña.

Las clases térmicas reconocidas que figuran en la tabla 1 se han tomado de la Norma CEI 85.

Si el gráfico de endurancia térmica muestra una ligera curvatura, ello indica que en el envejecimiento influyen más de un solo proceso químico o un mecanismo de fallo. No obstante se puede establecer una clasificación del sistema candidato que es válida, si la comparación se hace entre dos sistemas muy similares que pertenezcan a la misma clase térmica.

Sin embargo, una deformación más pronunciada de la curva indica un cambio importante del mecanismo de envejecimiento dominante. En este caso la clasificación no puede basarse más que en la parte de la curva correspondiente a las temperaturas más bajas, que puede necesitar una confirmación mediante un punto de ensayo suplementario a una temperatura más baja o intermedia. Si es necesario, se puede emitir un juicio, basado en la experiencia, sobre la justificación del coste y del tiempo de realización de ese ensayo suplementario, o si el sistema candidato no puede alcanzar la temperatura de clasificación deseada y debe, por tanto, ser abandonado. La Norma CEI 493 describe cómo verificar la linealidad de los datos.

Si los gráficos de endurancia térmica de los sistemas de referencia y candidato presentan pendientes claramente diferentes, ello evidencia que sus procesos de envejecimiento son significativamente distintos y es muy dudoso que de su comparación se pueda obtener una clasificación válida. Si es necesario, se puede adoptar un sistema candidato diferente para la temperatura de clase deseada o un sistema de referencia distinto.

Es útil recoger en el informe de ensayo todos los detalles significativos del ensayo, incluyendo los que se indican en la lista siguiente:

- referencias a las normas de ensayo de la CEI;
- descripción de los sistemas de aislamiento ensayados (sistemas de referencia y candidato);
- temperaturas de envejecimiento y duraciones de los subciclos de envejecimiento para cada sistema de aislamiento;
- ensayos de diagnóstico utilizados, con los ensayos realizados o los niveles de las solicitaciones, para cada sistema de aislamiento;

- construcción de las muestras de ensayo y de las probetas;
- número de muestras de ensayo para cada temperatura y para cada sistema de aislamiento;
- método de obtención de las temperaturas de envejecimiento, (incluyendo el tipo de horno, etc...);
- tasa de renovación del aire del horno;
- tiempos individuales hasta el fallo, y modos de fallo;
- tiempos medios logarítmicos hasta el fallo y desviación normal logarítmica, o límites inferiores de confianza para cada temperatura de envejecimiento y para cada sistema de aislamiento;
- gráfico de endurance térmica con puntos medios logarítmicos y recta de regresión;
- clase térmica del sistema de referencia;
- clase térmica del sistema candidato, determinada por el ensayo.

6 ENSAYOS FUNCIONALES ELÉCTRICOS

6.1 Aspectos generales de los ensayos funcionales eléctricos

Los principios de los ensayos funcionales eléctricos que se describen en este el capítulo 6 (véanse 6.1 a 6.4) están de acuerdo con la Norma CEI 727-1.

Los sistemas de aislamiento se someten a un envejecimiento eléctrico aplicando solicitaciones eléctricas entre partes que funcionan a potenciales eléctricos diferentes. Se puede acelerar el proceso de envejecimiento intensificando las solicitaciones eléctricas y/o aumentando la frecuencia. El final de vida en ensayo se manifiesta, bien sea por una ruptura dieléctrica durante la exposición al envejecimiento eléctrico, bien por un fallo durante los ensayos de diagnóstico.

Realizando los ensayos a tensiones diferentes, se puede representar gráficamente la relación existente entre la duración de vida en ensayo y la solicitación eléctrica.

NOTA – Se ha utilizado frecuentemente el aumento de la frecuencia para acelerar el envejecimiento eléctrico, considerando que la aceleración del ensayo es proporcional a la frecuencia. Sin embargo, este supuesto no es siempre correcto.

Para cualquier nivel de solicitación de tensión, la duración de vida en ensayo presenta normalmente una gran dispersión. En consecuencia, es esencial obtener, para cada solicitación eléctrica de envejecimiento, un número de tiempos hasta el fallo que sea estadísticamente significativo.

6.2 Probetas

Las probetas deben ser fabricadas de forma que representen adecuadamente la configuración del elemento de devanado terminado que se va a evaluar, y deben ser sometidas, en la medida de lo posible, a los procesos completos de fabricación normales o previstos.

Durante los ensayos de envejecimiento eléctrico, normalmente todos los conductores están conectados eléctricamente entre sí.

6.3 Procedimientos de los ensayos funcionales eléctricos

6.3.1 Aplicación de la tensión. Las muestras de ensayo se someten a una tensión alterna cuya frecuencia y forma de onda deben cumplir las especificaciones de la Norma CEI 60-2. Con objeto de obtener una evaluación completa de la endurance eléctrica, debería elegirse la tensión de tal forma que los tiempos hasta el fallo se extiendan desde 1 min a 10 000 h.

La Norma CEI 727-1 considera varios métodos de aplicación de la tensión para establecer la durabilidad eléctrica. Entre ellos se incluyen los de tensión constante, de tensión en escalones y de aceleración por aumento de la frecuencia.

6.3.2 Temperatura del ensayo. Las muestras de ensayo deberían estar a la temperatura ambiente o a la temperatura de clase correspondiente. Deberían tomarse precauciones para que las pérdidas dieléctricas, que aumentan por efecto de las solicitaciones elevadas o de la mayor frecuencia, no eleven la temperatura del aislamiento hasta valores que afecten los resultados.

6.3.3 Ensayos de diagnóstico. Durante el ensayo funcional eléctrico pueden efectuarse los ensayos de diagnóstico. Estos ensayos pueden ser:

- ensayos destructivos, (por ejemplo, determinación de la tensión de ruptura dieléctrica del aislamiento entre espiras);
- ensayos potencialmente destructivos, (por ejemplo, ensayos de prueba a altas tensiones de varias partes del sistema de aislamiento);
- ensayos no destructivos, (por ejemplo, medidas de la tangente del ángulo de pérdidas o de descargas parciales).

Estos ensayos, en particular los ensayos destructivos y los potencialmente destructivos, pueden utilizarse como métodos alternativos de determinación del punto final, además de la ruptura dieléctrica durante la exposición al factor de envejecimiento eléctrico.

En las secciones siguientes de esta norma se pueden especificar el tiempo que debe transcurrir entre la parada del envejecimiento eléctrico y la realización de los ensayos de diagnóstico.

6.4 Análisis e informe

Es útil registrar en el informe todos los detalles importantes del ensayo, incluyendo los que figuran en la lista siguiente:

- tensión asignada máxima prevista del sistema;
- temperatura del ensayo;
- descripción de los sistemas de aislamiento sometidos a los ensayos (sistema de referencia y sistema candidato);
- tensiones de envejecimiento, frecuencias y, en su caso, duraciones de los subciclos de envejecimiento;
- ensayos de diagnóstico incluyendo los valores de los factores de diagnóstico utilizados;
- construcción de las probetas;
- número de muestras de ensayo para cada tensión, (ensayo a tensión fija);
- tiempos hasta el fallo individuales y modos de fallo;
- método de tratamiento estadístico utilizado para los datos de ensayo, (por ejemplo, normal logarítmica o Weibull) en orden a determinar la media logarítmica o la mediana de los tiempos hasta el fallo, así como los límites de confianza;
- gráfica de la durabilidad eléctrica con los puntos medios o medianos para cada solicitación eléctrica de envejecimiento y la recta de regresión.

7 ENSAYOS FUNCIONALES MECÁNICOS

Se admite que, en algunas aplicaciones, la solicitación mecánica actúa como factor de envejecimiento, bien sea sola o bien en combinación con otros factores de envejecimiento. El envejecimiento mecánico puede ser consecuencia de solicitaciones vibratorias y de solicitaciones termomecánicas.

En el momento actual no se dispone de una información técnica suficiente que permita presentar procedimientos de ensayo de envejecimiento mecánico normalizados.

8 ENSAYOS FUNCIONALES AMBIENTALES

Se admite que en algunas aplicaciones los factores ambientales actúan como factores de envejecimiento.

Las radiaciones ionizantes que existen, por ejemplo, en las centrales nucleares, constituyen una causa bien conocida de envejecimiento ambiental. Los ensayos de envejecimiento por radiación, realizados sobre pequeñas muestras de ensayo de aislamiento de acuerdo con la Norma CEI 544, pueden ser utilizados como ensayos de selección.

Entre otros factores de envejecimiento ambientales, se pueden citar los siguientes: sustancias químicamente activas o eléctricamente conductoras en las atmósferas industriales, un contenido de humedad excepcionalmente alto en el aire ambiente, ambientes contaminados por hongos o bacterias, y materiales mecánicamente abrasivos, (por ejemplo, la arena), en el aire de refrigeración.

En el momento actual no se dispone de una información técnica suficiente que permita presentar procedimientos de ensayo de envejecimiento ambiental normalizados.

9 ENSAYOS FUNCIONALES MULTIFACTORIALES

Se sabe que el comportamiento de un sistema de aislamiento puede ser afectado por más de un factor de influencia, (por ejemplo, térmico y eléctrico), especialmente cuando esos factores actúan simultáneamente.

La información técnica disponible actualmente sólo es suficiente para presentar procedimientos de ensayo multifactoriales normalizados para ciertas situaciones específicas.

El Informe Técnico CEI 792-1 presenta el estado de la técnica en lo referente a los ensayos multifactoriales. Se recomienda que los procedimientos de ensayo multifactoriales que se desarrollen sigan los principios que se describen en ese documento. Algunos de esos principios se indican a continuación:

- a) Parecería que en caso de factores que actúan simultáneamente en servicio, esos factores deberían ser simulados mediante ensayos de envejecimiento simultáneos, mientras que los factores que actúan secuencialmente deberían ser simulados con ciclos de envejecimiento secuenciales.
- b) Cuando se sabe que uno de los factores de envejecimiento es preponderante, se pueden efectuar los ensayos multifactoriales acelerando solamente los efectos de ese factor, y manteniendo los otros factores a los niveles de servicio.
- c) En otros casos, deberían acelerarse todos los factores de envejecimiento importantes. Inicialmente se recomienda que el factor de aceleración, (ritmo relativo de envejecimiento), sea igual para cada uno de los factores de envejecimiento, y que, hasta que se haya adquirido una experiencia suficiente, los niveles de los factores de envejecimiento se establezcan tomando como base los ensayos de envejecimiento con un solo factor.
- d) Se recomienda establecer unas *condiciones de funcionamiento de referencia*. Son un conjunto de condiciones de servicio para las que se han diseñado la máquina y su sistema de aislamiento.

Los niveles de los factores de influencia en este conjunto de condiciones de funcionamiento de referencia constituyen la base para la estimación de los factores de aceleración durante el subciclo de envejecimiento, y también para establecer los niveles de los ensayos de diagnóstico.

- e) Para los ensayos con aceleración multifactorial, la comparación entre los sistemas candidato y de referencia debería hacerse dentro del margen de los niveles de ensayo, con objeto de evitar extrapolaciones que pueden no ser fiables.

NOTA – El envejecimiento multifactorial puede producirse en máquinas tales como los motores industriales de alta tensión, las máquinas de baja y de alta tensión sometidas a fuertes sollicitaciones mecánicas y los turbogeneradores con sollicitaciones termomecánicas.

Tabla 1
Clases térmicas

Clase térmica	Temperatura de clase ° C
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

Tabla 2
Temperaturas y subciclos de envejecimiento sugeridos*

Temperatura de clase prevista	105 °C	120 °C	130 °C	155 °C	180 °C	200 °C	Días por subciclo de envejecimiento
$t_1 < t_A \leq t_2$	$t_1 \ t_2$	$t_1 \ t_2$	$t_1 \ t_2$	$t_1 \ t_2$	$t_1 \ t_2$	$t_1 \ t_2$	
Margen de temperaturas de envejecimiento sugeridas (t_A) ° C	170 180	185 195	195 205	220 230	245 255	265 275	1-2
	160 170	175 185	185 195	210 220	235 245	255 265	2-3
	150 160	165 175	175 185	200 210	225 235	245 255	4-6
	140 150	155 165	165 175	190 200	215 225	235 245	7-10
	130 140	145 155	155 165	180 190	205 215	225 235	14-21
	120 130	135 145	145 155	170 180	195 205	215 225	28-35
	110 120	125 135	135 145	160 170	185 195	205 215	45-60

* Esta tabla, que muestra un margen tanto para las temperaturas de envejecimiento como para la duración del subciclo correspondiente, ha sido establecida de forma que proporcione una adecuada flexibilidad a los laboratorios al elegir los tiempos y las temperaturas de envejecimiento, para que puedan optimizar la utilización de su personal y de sus instalaciones. La tabla tiene en cuenta la situación ideal, (basada en la regla de los 10 K), que permite duplicar la duración del envejecimiento por cada disminución de 10 K en la temperatura de envejecimiento, (por ejemplo, 1, 2, 4, 8, 16, 32 y 64 días de envejecimiento). Permite efectuar el envejecimiento en múltiplos de la semana en las temperaturas de envejecimiento más bajas, (por ejemplo, 1, 2, 4, 7, 14, 28 y 49 días de envejecimiento). También permite realizar el envejecimiento de forma que se utilice al máximo la semana laboral de cinco días. Esto implica iniciar siempre en un Viernes el subciclo de envejecimiento, y los ensayos de diagnóstico en un Lunes, (por ejemplo, 3, 10, 17, 31 y 59 días de envejecimiento).

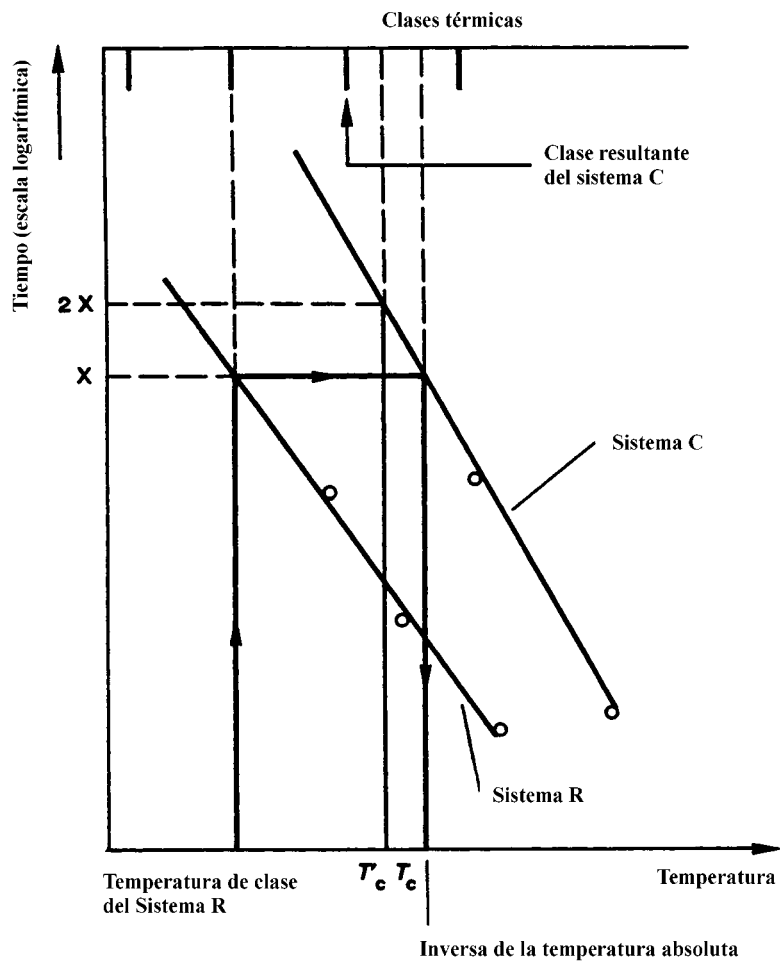


Fig. 1 – Diagrama de Arrhenius para comparar un sistema candidato C con un sistema de referencia R

ANEXO A (Informativo)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEI 243: 1967 – *Métodos de ensayo recomendados para la determinación de la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes sólidos a las frecuencias industriales.*

NOTA – La Norma CEI 243:1967 está sustituida por la Norma CEI 243-1:1988.

CEI 455 – *Especificación para los compuestos de resinas de polimerización sin disolventes utilizados para el aislamiento eléctrico.*

CEI 464 – *Especificación para barnices aislantes con disolventes.*

CEI 791:1984 – *Evaluación del comportamiento de los sistemas de aislamiento en base a la experiencia en servicio y en los ensayos funcionales.*

ICS 29.080.01
29.160.01

© CEI 1992
© AENOR Septiembre 1998
Depósito legal: M 35204:1998

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Sede Central
C Génova, 6 Teléfono: 91 432 60 00
28004 MADRID, España Fax: 91 310 40 32
e-mail: norm.clciec@aenor.es
<http://www.aenor.es>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

Oficina Central
3, rue de Varembe Telf. Int. +41 22 919 02 11
Case postale 131 Fax: +41 22 919 03 00
CH-1211 GENEVE 20 Suisse
e-mail: info@iec.ch <http://www.iec.ch>