

2325

NORMA IRAM 2325

Setiembre 1992

CDU 621.315.61:621.3.028

\*CNA 5970

**AISLACIÓN ELÉCTRICA**  
**Guía para la evaluación**  
**de su estado por mediciones**  
**de su resistencia**



**INSTITUTO ARGENTINO DE RACIONALIZACIÓN DE MATERIALES**

\* **Corresponde al Código Nacional de Abastecimiento asignado por el Servicio Nacional de Catalogación dependiente del Ministerio de Defensa.**

El estudio de esta norma ha estado a cargo de los organismos respectivos, integrados de la forma siguiente:

Comisión de Alta Tensión

<u>Integrante</u>	<u>Representa a:</u>
Ing. J. C. Arcioni	SEGBA S.A. Y A.E.A.
Ing. J. E. Barcia	FAC. CS. EXTAS. E ING.-U.N.R.
Ing. F. Bautista	DEBA
Ing. O. A. Despalanques	DEBA
Ing. D. Galinovic	A. Y E.E.
Ing. J. Gimenez	FAPA S.A.
Ing. M. J. Leibovich	ELECTRODATA S.A.
Ing. A. Oghievski	SEGBA S.A.
Ing. J. C. Paglieri	DEBA
Ing. J. Torti	ANSCO S.A.
Ing. O. D. Petroni	INSTITUTO IRAM

Comité General de Normas (C.G.N.)

Dr. V. Alderuccio	Ing. J. Kostic
Ing. J. Arcioni	Ing. J. Mangosio
Ing. J. V. Casella	Ing. S. Mardyks
Dr. E. Catalano	Ing. R. Martínez
Ing. D. Donegani	Dr. E. Miró
Lic. C. A. Grimaldi	Dr. A. F. Otamendi
Dr. A. Grosso	Ing. G. Schulte
Ing. S. Ituarte	Sr. F. R. Soldi
	Prof. M. P. Mestanza

A N T E C E D E N T E S

En el estudio de esta norma se han tenido en cuenta los antecedentes siguientes:

**IEEE - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS**

Std. 43/1974 - Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery.

Std. 62/1958 - Guide for making dielectric measurement in the field.

Std. 95/1977 - Recommended practice for insulation testing of large a.c. rotating machinery.

Std. 400/1980 - Guide for making high-direct-voltage tests on power cable systems in the field.

Otros antecedentes recopilados por la Comisión y que se detallan en el informe técnico.

(Continúa en página 52)

## AISLACIÓN ELÉCTRICA

Guía para la evaluación  
de su estado por la medición  
de su resistencia

CDU 621.315.61:621.3.028

\*CNA 5970

0 - NORMAS PARA CONSULTA

Para la aplicación de esta guía se deben consultar las normas IRAM particulares, correspondientes al equipamiento que se va a ensayar (ver 3.2).

1 - OBJETO Y ALCANCE1.1 OBJETO

1.1.1 Establecer métodos generales de ensayos para evaluar la aislación eléctrica de cualquier equipo o aparato, ya sea nuevo (sin uso), en servicio, usado, reparado, o fuera de servicio.

1.1.2 Recomendar programas regulares de ensayos de aislación sobre los equipos en servicio, para prevenir las posibles fallas dieléctricas que pueden comprometer la seguridad del personal y la continuidad de dicho servicio.

1.2 ALCANCE. Esta guía es aplicable a cualquier equipamiento eléctrico, tanto de corriente continua como de corriente alterna, sin limitaciones de tensión nominal o de potencia.

2 - DEFINICIONES

2.1 resistencia de aislación ( $R_A$ ). Resistencia óhmica que presenta la aislación eléctrica de un equipo o instalación, al aplicarle una tensión continua de ensayo "E". El valor de esta resistencia puede variar apreciablemente desde el instante en el que se aplica la tensión continua "E", hasta el instante en que tiende a estabilizarse su valor.

2.2 resistencia de aislación instantánea  $R_A(t)$ . Valor de la resistencia de aislación en un instante "t" posterior a la aplicación de la tensión continua de ensayo "E". El valor de " $R_A(t)$ " se obtiene de la relación entre la tensión continua "E" y la corriente total instantánea  $I_T(t)$  que toma la aislación.

En símbolos:

$$R_A(t) = \frac{E}{I_T(t)} \quad (1)$$

\* Corresponde al Código Nacional de Abastecimiento asignado por el Servicio Nacional de Catalogación dependiente del Ministerio de Defensa.

2.3 corriente total que toma una aislación ( $I_T$ ). Valor de la intensidad de corriente eléctrica que se establece en una aislación al aplicarle una tensión continua de valor "E".

En el más general de los casos,  $I_T$  es la suma de cuatro componentes:

$$I_T = i_g + i_a + i_c + i_q \quad (2)$$

Estas componentes se definen en 2.3.1 a 2.3.4.

2.3.1 corriente de carga de la capacitancia geométrica ( $i_g$ ). Componente de la corriente total que toma una aislación, debido a la carga electrostática de la capacitancia geométrica. Esta capacitancia es la que presentaría la disposición geométrica de las partes conductoras o electrodos, entre los cuales se encuentra la aislación a evaluar, si estas partes estuvieran en el vacío. Sin embargo, este término también se aplica a la corriente que toma dicha capacitancia, pero incluyendo el efecto de la constante dieléctrica (permitividad) sobre el espectro total de frecuencias (es decir, desde c.c. hasta las frecuencias ópticas). A los efectos de esta guía, se aplica el concepto aludido en segundo término, también llamado "capacitancia a frecuencia infinita" (ver informe técnico).

La variación de esta componente en el tiempo se ilustra en la figura 1, y responde a una expresión como la siguiente:

$$i_g = \frac{E}{R} \exp \left( - \frac{t}{CR} \right) \quad (3)$$

siendo:

- E la tensión continua aplicada;
- C la capacitancia del espécimen;
- R la resistencia en serie total (es decir la resistencia interna del instrumento y la del circuito de medición);
- t el tiempo, contado desde el instante que se aplica "E".

2.3.2 corriente de absorción ( $i_a$ ). A los efectos de esta guía, se llama así a la componente de la corriente total que "toma" o "absorbe" una aislación, causada por la polarización de las cadenas moleculares dentro del dieléctrico real, del material aislante. Su variación en función del tiempo se ilustra en la figura 1, y responde a una expresión como la siguiente:

$$i_a = E \cdot C \cdot D \cdot t^{-n} = A \cdot t^{-n} \quad (4)$$

siendo:

- E la tensión continua de ensayo;
- C la capacitancia del espécimen;
- D el factor de proporcionalidad en p.u., de la tensión aplicada y de la capacitancia del espécimen. Este factor D depende del tipo de aislación, de su condición y temperatura;
- A = E . C . D;
- n un exponente constante para el dieléctrico real del espécimen (ver informe técnico);
- t el tiempo, contado desde el instante en que se aplica "E".

2.3.3 corriente de conducción o de fuga ( $i_c$ ). Componente de la corriente total que toma una aislación, debida a las conducciones electrónica e iónica a través de la masa aislante y la fuga a lo largo de sus superficies. Esta corriente alcanza rápidamente el valor estable (ver figura 1), dado por la expresión siguiente:

$$i_c = \frac{E}{R_f} \quad (5)$$

siendo:

- E la tensión continua aplicada;
- $R_f$  la resistencia de aislación final:  $R_f = \lim_{t \rightarrow \infty} R_A(t)$

2.3.4 corriente de descargas parciales ( $i_q$ ). Componente de la corriente total que toma una aislación, y que se manifiesta solamente cuando el valor de "E" es mayor que la tensión de aparición de descargas parciales, para el espécimen considerado.

Su expresión tiene la forma siguiente:

$$i_q = \sum_{j=1}^{j=n} (f_j \cdot q_j) \quad (6)$$

siendo:

- $f_j$  la frecuencia de repetición de las descargas (descarga/segundo) de la magnitud  $q_j$ , que se producen en el lugar de descarga "j".

2.4 relación de absorción dieléctrica (RAD). Relación entre la resistencia de aislación medida a los 60 s, y la medida a los 30 s, de aplicada la tensión continua "E" al espécimen. Se obtiene con la fórmula siguiente:

$$RAD = \frac{R_A (60 s)}{R_A (30 s)} \quad (7)$$

2.5 índice de polarización (IP). Relación entre la resistencia de aislación medida a los 10 min, y la medida al minuto de aplicada la tensión continua "E" al espécimen. Se obtiene con la fórmula siguiente:

$$IP = \frac{R_A (10 \text{ min})}{R_A (1 \text{ min})} \quad (8)$$

NOTA: También este índice puede determinarse por la relación entre las respectivas corrientes totales mediante la fórmula siguiente:

$$IP = \frac{I_T (1 \text{ min})}{I_T (10 \text{ min})} \quad (8 \text{ bis})$$

2.6 megóhmetro. A los efectos de esta guía, instrumento de medición que se utiliza para medir resistencias de aislación eléctrica. Este instrumento provee uno o varios niveles de tensión de ensayo "E", seleccionables a voluntad, cuyos valores se mantienen lo suficientemente estables durante el tiempo necesario para efectuar las mediciones. El valor de la resistencia de aislación medida se lee directamente de la escala correspondiente.

NOTA: Para ciertas mediciones, este instrumento se reemplaza por voltímetros y amperímetros adecuados, combinados con una fuente de tensión continua estabilizada.

### 3 - CONDICIONES GENERALES

3.1 GENERALIDADES. Las propiedades dieléctricas de los materiales aislantes utilizados en el equipamiento eléctrico (motores, generadores, transformadores, cables, tableros, aparatos de maniobra, instalaciones completas, etc.) se van degradando progresivamente durante la utilización de dicho equipamiento. Esto se debe a un proceso de envejecimiento natural ocasionado por el transcurso del tiempo. Sin embargo, este proceso de degradación se puede ver acentuado, incluso hasta el punto de provocar una falla de aislación, por una o varias de las causas siguientes:

- calentamientos o enfriamiento excesivos;
- daños mecánicos;
- vibraciones;
- polvos, suciedades, etc.;
- aceites;

- vapores y humos corrosivos;
- humedad originada en procesos industriales;
- humedad del ambiente.

Estos elementos, en combinación con las sollicitaciones dieléctricas, son los causantes del empeoramiento de las características aislantes de la aislación del equipamiento, ya sea por su presencia durante el servicio, o bien por defectos en la fabricación o reparación del equipamiento nuevo o reacondicionado, respectivamente, o en su mantenimiento.

Las mediciones de resistencia de aislación resultan, dentro de este contexto, la metodología más adecuada para la evaluación rápida, sencilla y económica, del estado en que se encuentra la aislación de un equipo.

Sin embargo, debe quedar bien en claro que esta no es la única metodología de ensayos dieléctricos, pero resulta de gran utilidad iniciar y terminar los ensayos dieléctricos con estas mediciones.

**3.2 NORMAS IRAM EXISTENTES.** Esta es una guía para la realización de ensayos de resistencia de aislación y por lo tanto se debe aplicar conjuntamente con la norma IRAM particular del equipamiento a ensayar, respetando la metodología, secuencia y valores prescriptos en los párrafos correspondientes al ensayo de resistencia de aislación de dicha norma.

En caso de que la norma IRAM particular para el equipamiento a ensayar, no prescriba alguno (s) de los elementos antes citados para realizar el ensayo de resistencia de aislación, o bien no exista dicha norma, se puede aplicar directamente lo recomendado en esta guía.

**3.3 IMPORTANTES PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.** Con el fin de proveer a la seguridad personal, a la del equipamiento de ensayo y garantizar la confiabilidad de las mediciones, se deberán seguir las disposiciones indicadas en 3.3.1 y 3.3.2.

**3.3.1 Antes de cada ensayo.** Se procederá de la manera siguiente:

- a) Verificar la ausencia de tensión mediante un instrumento o dispositivos adecuados.
- b) Aunque se verifique que no hay tensión, es conveniente por razones de seguridad cortocircuitar y poner a tierra las partes conductoras entre las que se medirá la aislación, durante un lapso mínimo de 15 min.
- c) Si se verifica que hay tensión, se procederá a descargar la energía electrostática almacenada en la aislación mediante resistores apropiados, hasta que se verifique la ausencia de tensión según lo indicado en a), procediéndose a continuación según b).

**3.3.2 Después de cada ensayo o serie de ensayos.** Se procederá según lo indicado en 3.3.1 c).

El tiempo de descarga será lo suficientemente largo como para limitar la carga remanente a valores seguros para el personal interviniente.

Se estima que ese tiempo es mayor o igual que el que fue necesario para obtener lecturas estables de la resistencia de aislación.

3.4 VALORES DE LA TENSION CONTINUA DE ENSAYO. Salvo que la norma IRAM particular para el equipamiento ensayado indique lo contrario, la tensión continua de ensayo "E" utilizada para las mediciones de resistencia de aislación tendrá los valores indicados en la tabla I que se elegirán de acuerdo con el método de ensayo adoptado (ver capítulo 5).

Para el caso particular de los cables también se pueden aplicar los valores indicados en la tabla respectiva del anexo B.

T A B L A 1

TENSIONES CONTINUAS DE ENSAYO EN FUNCIÓN DE LA TENSION NOMINAL DEL EQUIPAMIENTO

Tensiones alternas nominales del equipamiento "U <sub>N</sub> " (V)	Tensiones continuas de ensayo "E" (V)
$U_N \leq 110$	100 y 250
$110 < U_N \leq 660$	500 a 1000
$660 < U_N \leq 1000$	500 a 2500
$1000 < U_N \leq 3300$	1000 a 5000
$3300 \leq U_N$	2500 a Emáx (*)

(\*) Donde:

$$Emáx = 1,3 \cdot U_E \text{ para equipamiento sin uso;}$$

$$Emáx = 0,95 \cdot U_E \text{ para equipamiento usado;}$$

U<sub>E</sub> Es el valor eficaz de la tensión alterna de ensayo a frecuencia industrial de corta duración (habitualmente 1 min), prescripta en la norma particular y correspondiente a dicho equipamiento sin uso.

3.5 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA RESISTENCIA DE AISLACIÓN. Dado que la resistencia de aislación disminuye su valor con el aumento de la temperatura del aislante ensayado, se hace necesario corregir los valores medidos para referirlos a una misma temperatura de referencia "Θ<sub>o</sub>" para poder comparar así resistencias de aislación obtenidas en distintas oportunidades.

Como regla aproximada se puede afirmar que la resistencia de aislación se reduce a la mitad por cada 10°C de aumento de temperatura y aumenta al doble por cada 10°C de disminución de la temperatura.

Salvo que la norma IRAM particular para el equipamiento indique lo contrario, se pueden utilizar las curvas de la figura 2a para máquinas eléctricas y 2b para cables, que permiten obtener los factores de corrección K (Θ), para llevar una resistencia de aislación medida a la temperatura Θ, al valor de la temperatura de referencia de Θ<sub>o</sub> = 20°C.



Por ejemplo, para un transformador en el cual se midió una resistencia de aislación de 50 MΩ a  $\Theta = 40^{\circ}\text{C}$  de temperatura, la resistencia a  $20^{\circ}\text{C}$  será:

$$R_A (20^{\circ}\text{C}) = K (\theta) \times R_A (\theta) = 4 \times 50 \text{ M}\Omega = 200 \text{ M}\Omega$$

Si se desea utilizar otra temperatura  $\Theta'$  como referencia (por ejemplo  $\Theta' = 40^{\circ}\text{C}$ ), las curvas de las figuras 2a y 2b siguen siendo aplicables.

En este caso se emplea la fórmula siguiente:

$$R_A (\theta') = \frac{K (\theta)}{K (\theta')} \cdot R_A (\theta) = \frac{R_A (20^{\circ}\text{C})}{K (\theta')} \quad (9)$$

**3.6 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD SOBRE LA RESISTENCIA DE LA AISLACIÓN.** La presencia de humedad produce importantes variaciones en la resistencia de aislación. No obstante, si el equipamiento ensayado se encuentra a una temperatura mayor que la que corresponde al punto de condensación de la humedad ambiente (temperatura o punto de rocío), los valores medidos no son mayormente afectados por la humedad ambiental en contacto con las superficies de la aislación que se evalúa.

La consideración anterior es válida siempre y cuando la superficie de la aislación esté libre de sustancias contaminantes con propiedades higroscópicas. Por ello, se recomienda limpiar estas superficies antes de efectuar las mediciones (ver anexo B, apartado B.4.2).

De lo expuesto surge la necesidad de verificar las condiciones ambientales en el momento de la medición, como así también si la temperatura del equipamiento ensayado es mayor o menor que la temperatura ambiente.

En los casos de importancia, se deben registrar las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, para obtener la temperatura de rocío, y la humedad absoluta y relativa del ambiente.

#### 4 - REQUISITOS

**4.1 REQUISITOS GENERALES.** El no cumplimiento con alguno de los requisitos de este capítulo puede indicar algún defecto o falla de la aislación de un equipamiento nuevo o recién reparado, o bien, en el caso de equipamiento en servicio, la necesidad de cambio o reparación de éste.

Sin embargo, el ensayo de medición única es de realización ineludible en primer lugar, y su resultado es el criterio básico para juzgar el estado de la aislación de un equipamiento.

**4.2 MEDICIÓN ÚNICA.** Realizado el ensayo según lo indicado en 5.2, la resistencia de aislación será mayor o igual que el valor especificado en la norma IRAM particular para el equipamiento ensayado. De no existir ese valor especificado, se aconseja cumplir con la condición siguiente:

$$R_A (20^\circ C) \geq R_{A \text{ mín}} (20^\circ C) \quad (10)$$

siendo:

$R_A (20^\circ C)$  la resistencia de aislación medida en megohm según 5.2 y referida a  $20^\circ C$ ;

$R_{A \text{ mín}} (20^\circ C)$  la resistencia de aislación mínima admisible a  $20^\circ C$  (ver el anexo A).

Además, el valor medido no mostrará una marcada tendencia decreciente frente a los valores tomados con anterioridad, en registros periódicos, para el mismo equipamiento ensayado, bajo condiciones similares, según lo indicado en 5.2 (ver figura 3).

**4.3 ABSORCIÓN DIELECTRICA.** Realizado el ensayo según lo prescripto en 5.3, y salvo indicación en contrario en la norma IRAM para el equipamiento ensayado, se verificará lo siguiente:

- a) la curva de resistencia de aislación en función del tiempo, mostrará un incremento continuo del valor de resistencia medido (ver figura 4 y 5);
- b) la relación de absorción dieléctrica (RAD) y el índice de polarización (IP), indicarán la condición en que se encuentre la aislación, según lo establecido en la tabla 2.  
Para equipamiento nuevo o recién reparado, se recomienda que el estado de la aislación resulte calificado como "bueno" o "excelente", según la tabla 2. En aquellos casos en donde la calificación del estado de la aislación resulte distinta de las dos recomendadas anteriormente, la aprobación del estado del equipo queda sujeta a convenio previo.

En aquellos casos donde el instrumental y las condiciones de ensayo lo permitan, es preferible trazar la curva de resistencia-tiempo para un período de 10 min como mínimo y evaluar el índice de polarización. No obstante, para aislaciones poco extensas en las que el índice de polarización no puede ser evaluado, se recomienda utilizar la relación de absorción dieléctrica para la misma tensión continua aplicada E. Como variante, se puede utilizar otra tensión E mayor que la anterior, sin exceder los valores máximos (ver 3.4).

## T A B L A 2

## ESTADO DE LA AISLACIÓN EN FUNCIÓN DE "RAD" E "IP" (\*)

(VER TAMBIÉN EL ANEXO A)

Relación de absorción dieléctrica RAD	Índice de polarización IP	Clasificación del estado de la aislación
$RAD < 1,1$	$IP < 1$ (**)	"Peligroso" (**)
$1,1 \leq RAD < 1,25$	$IP < 1,5$	"Cuestionable"
$1,25 \leq RAD < 1,4$	$1,5 \leq IP < 2$	"Aceptable"
$1,4 \leq RAD < 1,6$	$2 \leq IP < 3$	"Bueno"
$1,6 \leq RAD$	$3 \leq IP < 4$	"Muy bueno"
	$4 \leq IP$	"Excelente"

(\*) Los valores indicados se consideran relativos y sujetos a la experiencia que se obtenga aplicando este método durante períodos prolongados (cinco años o más).

(\*\*) Se considera que un  $IP < 1$  es inaceptable y la puesta en servicio del equipamiento entraña un inminente riesgo de falla.

4.4 SALTOS DE TENSIÓN. Realizado el ensayo según lo prescripto en 5.4, y salvo que la norma IRAM particular para el equipamiento ensayado indique lo contrario, se verificará lo siguiente:

- las curvas de la resistencia de aislación-tiempo para los diferentes valores de tensión de ensayo, quedarán agrupadas en una banda relativamente estrecha (ver fig.6);
- los valores de la resistencia de aislación medidos para distintos niveles de tensión, y representados como se ilustra en la figura 7, tenderán a estabilizarse o a variar levemente (figura 7, curva G), pero no mostrarán una disminución sustancial con el aumento de la tensión aplicada (figura 7 curva F).

5 - MÉTODOS DE ENSAYO

5.1 CONDICIONES GENERALES. En todos los casos, se debe tener en cuenta las prescripciones de la norma IRAM particular para el equipamiento ensayado, y las precauciones y recomendaciones de los párrafos 3.2 a 3.6 de esta guía.

En lo que respecta a las correcciones por temperatura, según lo indicado en 3.5, su aplicación es imprescindible para el ensayo de medición única (5.2) en razón de que se deben comparar sus resultados con los registrados en otras oportunidades.

En cambio, en los otros dos ensayos (5.3 y 5.4) dichas correcciones pueden obviarse.

Los tres métodos de ensayo descriptos en este capítulo no son equivalentes ni complementarios, sino que simplemente son tres maneras distintas de evaluar la aislación eléctrica.

El ensayo de medición única (5.2) es excluyente en cuanto a que si para una aislación, sea nueva o en uso, se determinan valores menores que los mínimos recomendados, dicha aislación tiene un estado "cuestionable".

El de saltos de tensión (5.4) es particularmente efectivo para detectar fallas incipientes, o presencia de humedad u otros contaminantes, tales que se puedan poner en evidencia al incrementar la tensión aplicada.

Otro método alternativo a los descriptos en 5.3 y 5.4 es el de tensiones y corrientes incrementales, especialmente indicado para equipamientos de elevadas tensiones nominales, el que se describe en el Anexo C.

Cuando la tensión continua de ensayo E que corresponde aplicar excede los 5 000 V, se recomienda iniciar las mediciones con los menores valores de E, e ir incrementando en determinaciones sucesivas la tensión de ensayo hasta alcanzar, si es necesario, el valor de  $E_{m\acute{a}x}$  indicado en 3.4, según el estado que se presume tiene la aislación.

Se recomienda sistematizar la forma de registrar los ensayos mediante planillas preparadas a tal efecto, como las que se ilustran en el Anexo E.

5.1.1 Polaridad. Se recomienda utilizar en estas mediciones la polaridad negativa, es decir, emplear como terminal de alta tensión el negativo del megóhmetro o fuente y como masa-tierra el terminal positivo (ver anexo D).

5.2 ENSAYO DE MEDICIÓN ÚNICA. El ensayo consiste en realizar una lectura de la resistencia de aislación a los 60 s de aplicada la tensión continua de ensayo "E".

Al mismo tiempo se mide la temperatura de la aislación, en un punto o en varios, de manera de obtener un valor representativo de dicha temperatura.

El valor de resistencia leído se corrige por temperatura, según 3.5, y la resistencia de aislación así obtenida (referida a una temperatura de 20°C ó 40°C) debe satisfacer los requisitos de 4.2.

Cuando se disponga de una planilla o gráfica con los valores de la resistencia de aislación, registrados anteriormente y en forma periódica, se puede volcar el valor medido en dicha planilla o gráfica (ver fig.3). Para ello la medición se debe realizar en las mismas condiciones en las cuales se hicieron las determinaciones anteriores, es decir, la misma tensión de ensayo aplicada "E", la misma polaridad, la misma duración de la aplicación hasta la medición, y en lo posible en condiciones similares de humedad ambiental (ver 3.6), debiéndose corregir el valor obtenido a la misma temperatura de referencia.

5.3 ENSAYO DE ABSORCIÓN DIELECTRICA. El ensayo se realiza aplicando la tensión de ensayo E y midiendo a partir del instante inicial, la resistencia de aislación cada 10 s hasta completar el primer minuto. Para mediciones simplificadas se pueden obviar las lecturas cada 10 s y relevar directamente el valor de la resistencia de aislación a los 30 s y al minuto.

Los valores así obtenidos se grafican en función del tiempo, como se ilustra en la figura 4, y se calcula el valor de la relación de absorción dieléctrica RAD, definido en 2.4.

Si el megóhmetro utilizado o las condiciones de ensayo así lo permiten, se continúa con la aplicación de la tensión de ensayo midiendo, a partir del primer minuto, la resistencia de aislación cada minuto hasta llegar a los 10 min.

Los valores así obtenidos permiten trazar una curva resistencia-tiempo, como la ejemplificada en la figura 5, y calcular el índice de polarización IP definido en 2.5.

Se registra durante el ensayo la temperatura de la aislación, aunque no es imprescindible efectuar la corrección de los valores medidos, salvo casos especiales (ver 5.1).

Los resultados así obtenidos se evalúan según 4.3.

5.4 ENSAYOS CON SALTOS DE TENSIÓN. Para este ensayo el megóhmetro debe tener dos o más niveles de tensión de ensayo. Los niveles de tensión aplicados deben cumplir con lo indicado en 3.4.

Se aplican los niveles disponibles de tensión con valores sucesivos crecientes. Para cada uno de estos niveles se mide cada 10 s la resistencia de aislación a partir de su instante inicial hasta llegar a los 60 s (\*).

Con los valores medidos para cada valor de tensión de ensayo, se trazan curvas resistencia-tiempo como las ilustradas en la figura 6, y curvas como las indicadas en la figura 7 con los valores de resistencia de aislación a los 60 s.

Para mediciones simplificadas, se pueden obviar las lecturas cada 10 s y relevar directamente el valor de resistencia a los 60 s, trazando solamente una gráfica como la de la figura 7.

Se registra durante el ensayo la temperatura de la aislación, aunque no es imprescindible efectuar la corrección de los valores medidos, salvo casos especiales (ver 5.1).

Los resultados así obtenidos se evalúan según 4.4.

(\*) NOTA. Si el megóhmetro lo permite y si se lo considera necesario y conveniente, la aplicación de cada nivel de tensión se puede extender más allá del minuto, como se ejemplifica en las figuras 8 y 9.

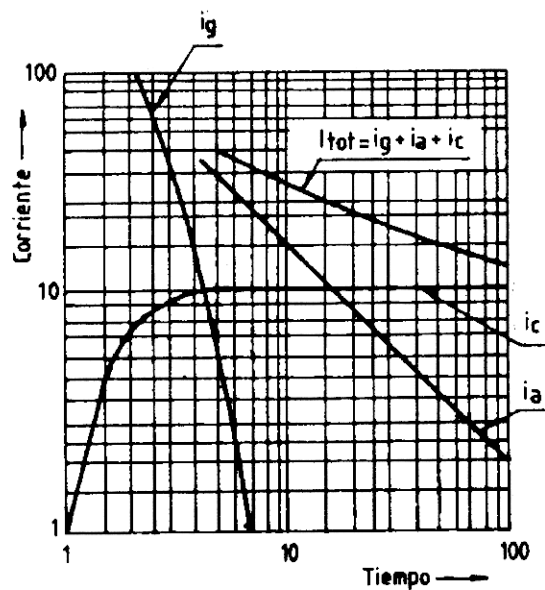


Figura 1

Componentes de la corriente total que toma una aislación

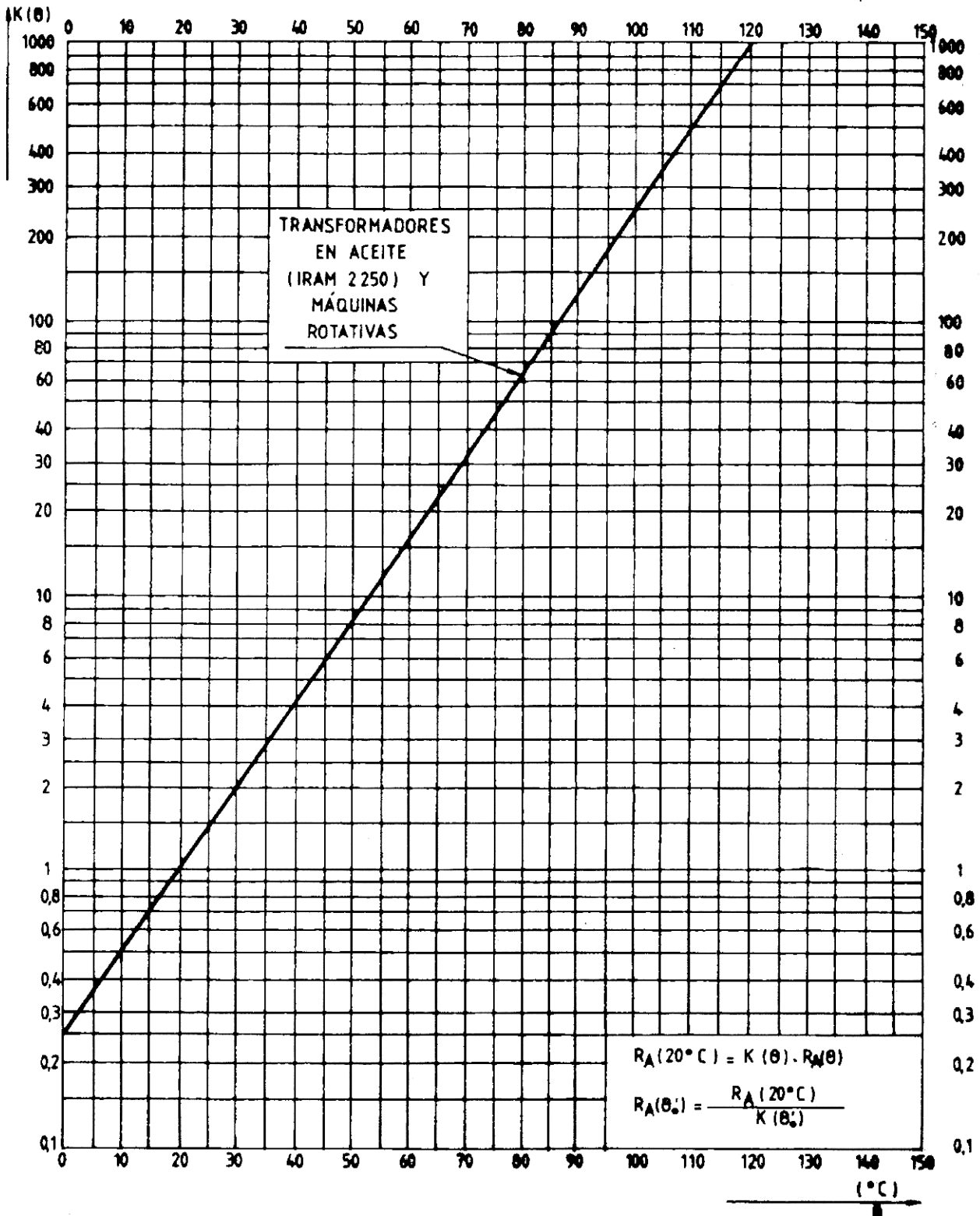


Figura 2a  
Factor de corrección por temperatura  $K(\theta)$  para máquinas eléctricas

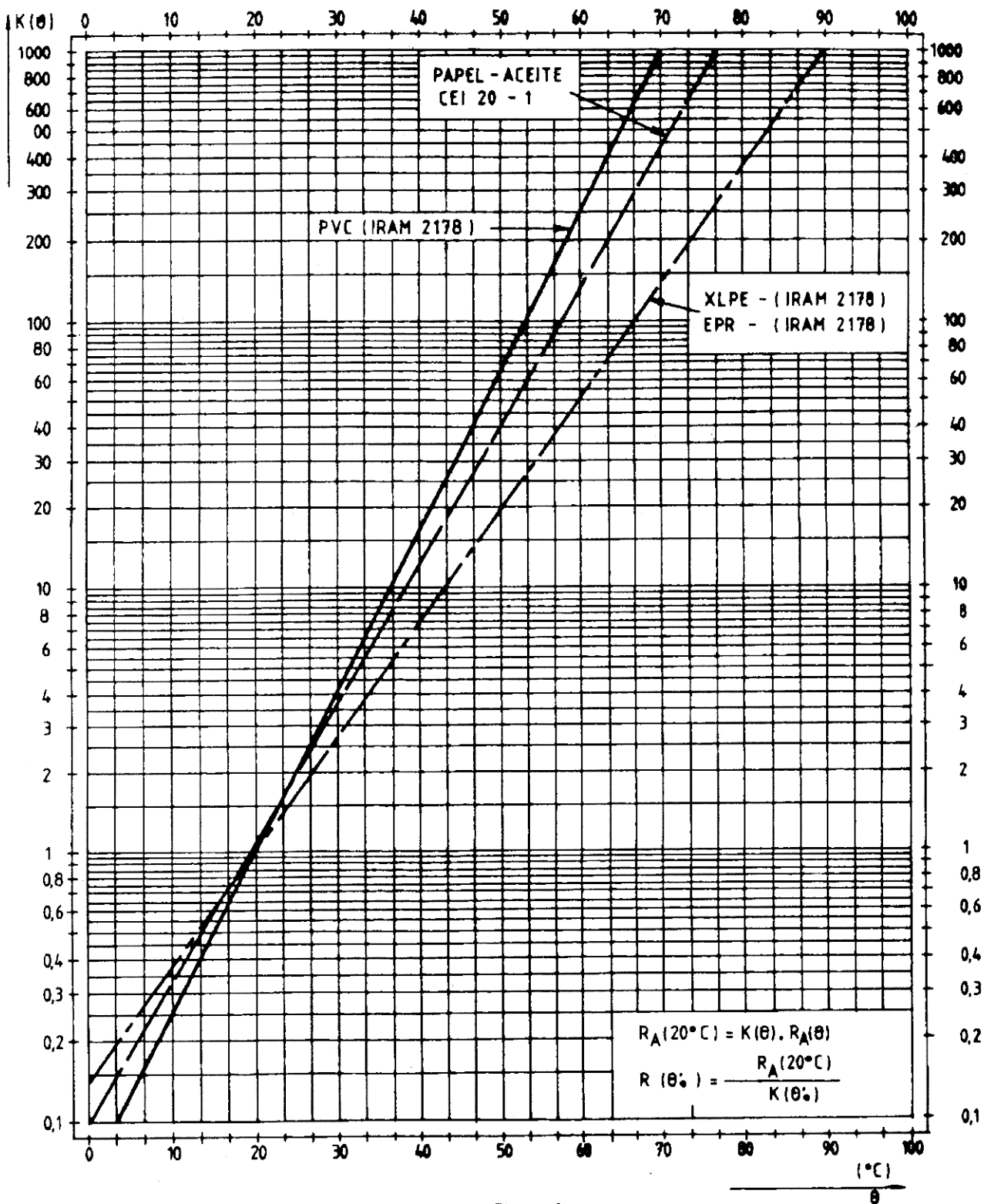


Figura 2b  
 Factor de corrección por temperatura "K(θ)" para cables.

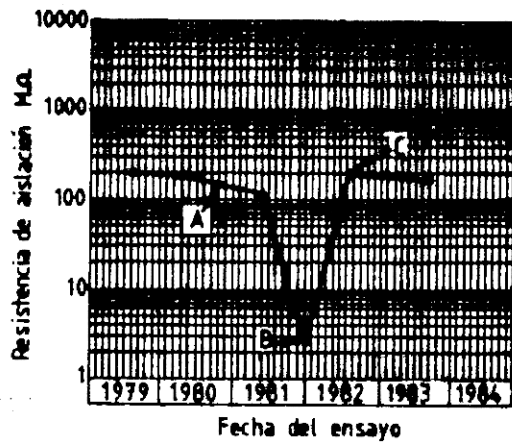


Figura 3

Ejemplo de la variación de la resistencia de la aislación de un motor en un período de varios años

**NOTA:** En "A" se pone de manifiesto el efecto del envejecimiento y de la contaminación al observarse los valores decrecientes de la resistencia de aislación. En "B", la caída pronunciada indica una falla de la aislación. En "C", se indica el valor de resistencia de aislación después que el motor ha sido rebobinado.

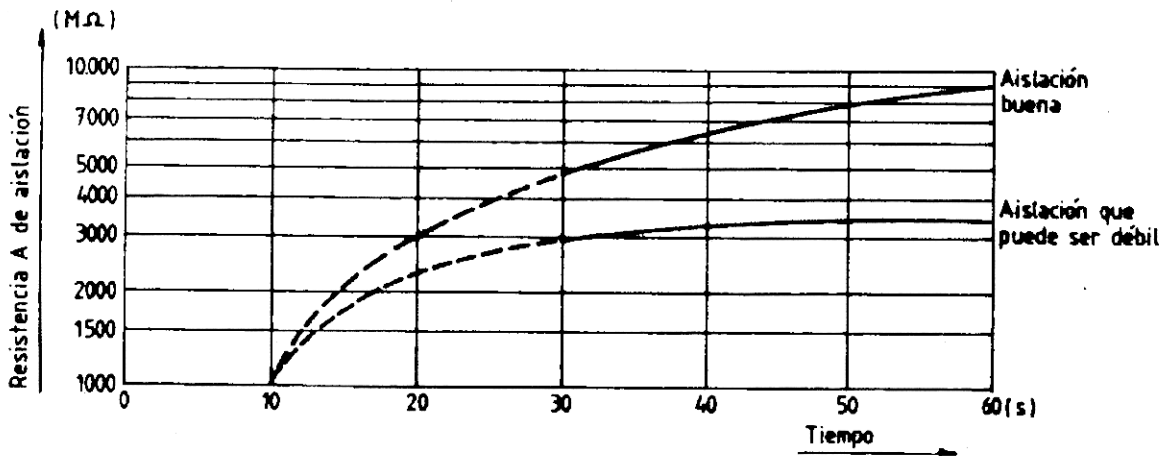


Figura 4

Curvas de resistencia-tiempo para un ensayo de absorción dieléctrica con una duración de 60 s

**NOTA:** La parte de la curva que se indica con líneas de trazos corresponde a valores de  $R_A$  que no son confiables, por las dificultades de su medición, ni relevantes para determinar RAD.



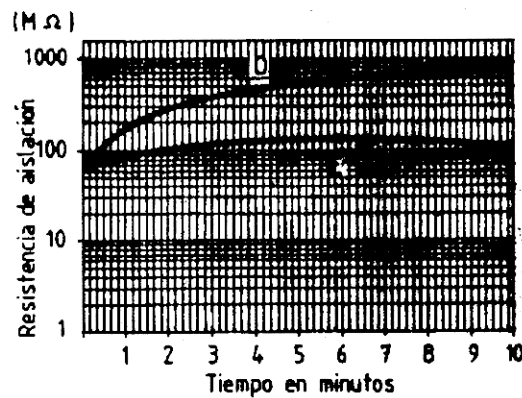


Figura 5

Ejemplo de curvas de absorción para un ensayo efectuado sobre un motor de 350 HP

**NOTA:** La curva D indica una buena aislación con un excelente índice de polarización igual a 5. La curva E indica un problema latente, con un índice de polarización de solamente 1,47.

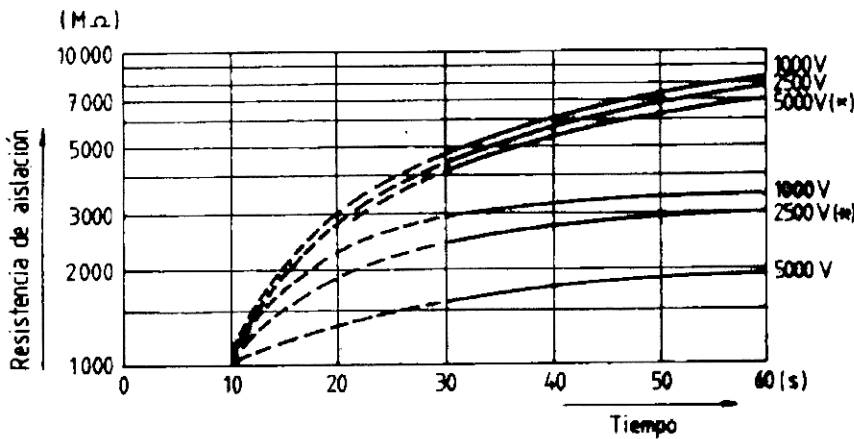


Figura 6

Curvas resistencia-tiempo para el ensayo con saltos de tensión

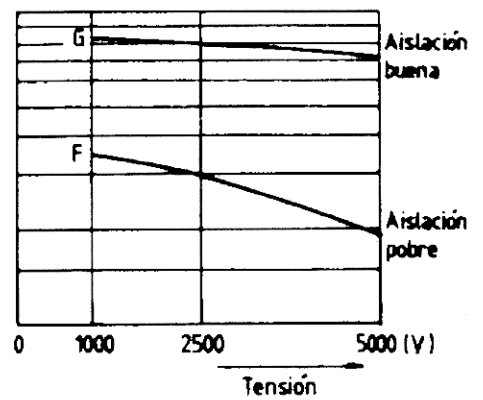


Figura 7

Ejemplos de curvas resistencia-tensión aplicada para el ensayo con saltos de tensión antes y después de una reparación

(\* **NOTA:** Las curvas F y G de la figura 7 se obtienen con los valores de  $R_A$  (60 s) y los de tensión correspondientes, tomados de la figura 6.

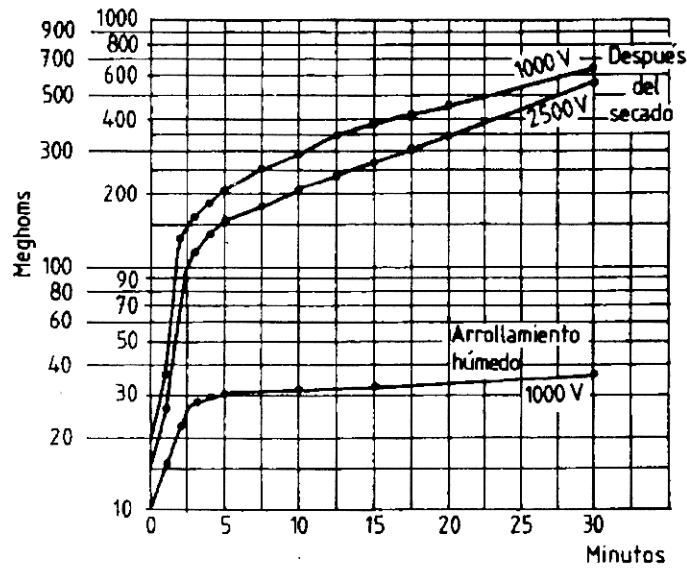


Figura 8

Curvas resistencia-tiempo para el ensayo con saltos de tensión de larga duración, para el arrollamiento estático de un gran generador

NOTA: La curva inferior muestra el ensayo inicial cuando el arrollamiento estaba húmedo. Las curvas superiores ilustran los ensayos después del secado y muestran una proximidad entre las curvas que es indicativa de una buena aislación.

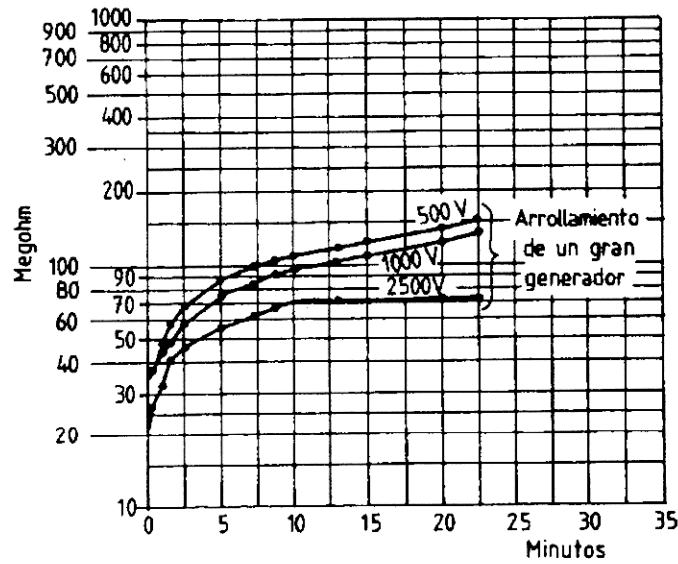


Figura 9

Curvas de resistencia-tiempo para tres ensayos con tensiones crecientes, sobre el arrollamiento de un gran generador

NOTA: El análisis revela el incremento continuo del valor de la resistencia de aislación (absorción dieléctrica), y una proximidad entre las curvas que señala el buen estado del arrollamiento.

A N E X O AVALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE LA RESISTENCIA DE AISLACIÓN  
Y DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN

A.1 GENERALIDADES. Como se ha visto en el capítulo 3 de esta guía, la resistencia de aislación  $R_A$  depende de una gran cantidad de factores que obligan a tener mucha atención en la interpretación de los valores obtenidos en los ensayos de medición única.

Asimismo, la determinación del índice de polarización IP en el ensayo de absorción dieléctrica, sólo es posible en aquellos casos donde la extensión de la aislación es considerable y su respectiva capacitancia es elevada. El índice de polarización, cuando se lo puede determinar, además de depender de la extensión de la aislación, también es función del contenido de humedad del dieléctrico, de la naturaleza del sistema aislante y de su grado de inhomogeneidad. Por todo esto es que los valores del índice de polarización deben interpretarse cuidadosamente para evitar diagnósticos erróneos.

En definitiva, es recomendable que la evaluación de  $R_A$  y de IP sea efectuada por personal experimentado, como así también se tome como base para interpretar los valores, a los resultados registrados sistemáticamente en mediciones efectuadas con anterioridad sobre el mismo equipamiento ensayado o sobre equipamiento de iguales características.

Por todo lo expuesto, resulta dificultoso establecer valores referenciales para  $R_A$  e IP. Por ello, en este anexo se resumen una serie de expresiones prácticas y curvas para estimar, según sea el caso, valores referenciales de  $R_A$  e IP para distintos equipamientos, que han sido recogidas de normas y bibliografía especializada en el tema, como así también de la experiencia y de los análisis desarrollados en nuestro país.

A.2 VALORES MÍNIMOS DE LA RESISTENCIA DE AISLACIÓN

A.2.1 Una de las fórmulas más usualmente utilizadas es aquella en donde la resistencia de aislación es igual a una constante más un valor proporcional a la tensión nominal del equipamiento ensayado:

$$R_{A \text{ min}} (20^\circ C) = 4 (X + 1) \quad (A.I)$$

siendo:

X	la tensión nominal del equipamiento ensayado expresada en kilovolt ( $U_n$ ó $E_n$ según corresponda, ver el informe técnico)
$R_{A \text{ min}} (20^\circ C)$	la resistencia de aislación mínima obtenida en el ensayo de medición única (1 min), referida a $20^\circ C$ , en megohm.

Esta expresión empírica, basada esencialmente en verificar una corriente de fuga máxima, apunta más a garantizar la seguridad que brinda la aislación a las personas que a calificar el estado de la aislación.

Especialmente se aplica esta fórmula a las máquinas eléctricas rotativas, pero por lo general, para aislaciones en buen estado, se obtienen valores reales de medición de 10 a 100 veces mayores que los que surgen de la fórmula (A.I.).

Asimismo, para el caso de los transformadores de potencia, la expresión (A.I.) arroja valores excesivamente pequeños frente a los que normalmente se observan en los transformadores rurales y de distribución, y da valores un poco más aproximados para máquinas con arrollamientos de alta tensión ( $U_N \geq 132$  kV).

A.2.2 Para transformadores de potencia nominal mayor o igual que 100 kVA, una de las fórmulas que da la bibliografía técnica es la siguiente:

$$R_{A \text{ min}} (20^\circ C) = \frac{C \cdot U_N}{\sqrt{S_n}} \quad (A.II)$$

siendo:

$R_{A \text{ min}} (20^\circ C)$	la resistencia de aislación mínima a $20^\circ C$ , obtenida en el ensayo de medición única (1 min), de un arrollamiento contra el otro unido a masa, expresada en megohm;
C	un coeficiente igual a 0,8 para transformadores en baño de aceite;
$U_N$	la tensión nominal del arrollamiento ensayado, expresada en volt;
$S_n$	la potencia nominal del arrollamiento ensayado, en kVA.

Si los ensayos se realizan con el auxilio de un terminal de guarda (ver el anexo D), la expresión (A.II) sigue siendo válida para el arrollamiento ensayado contra tierra, pero con el valor del coeficiente C igual a 1,6.

Esta expresión, extensamente utilizada en la práctica, arroja valores un tanto bajos con relación a los medidos en nuestro país para máquinas de distribución. Por ello, es aconsejable proceder con cautela al emplear la fórmula (A.II) para establecer el valor mínimo aceptable de  $R_A$  para transformadores rurales y de distribución.

A.2.3 En base a valores medidos en nuestro país, correspondientes a ensayos de medición única de  $R_A$  sobre una gran diversidad de transformadores de potencia en baño de aceite, se llegó estadísticamente a la expresión siguiente:

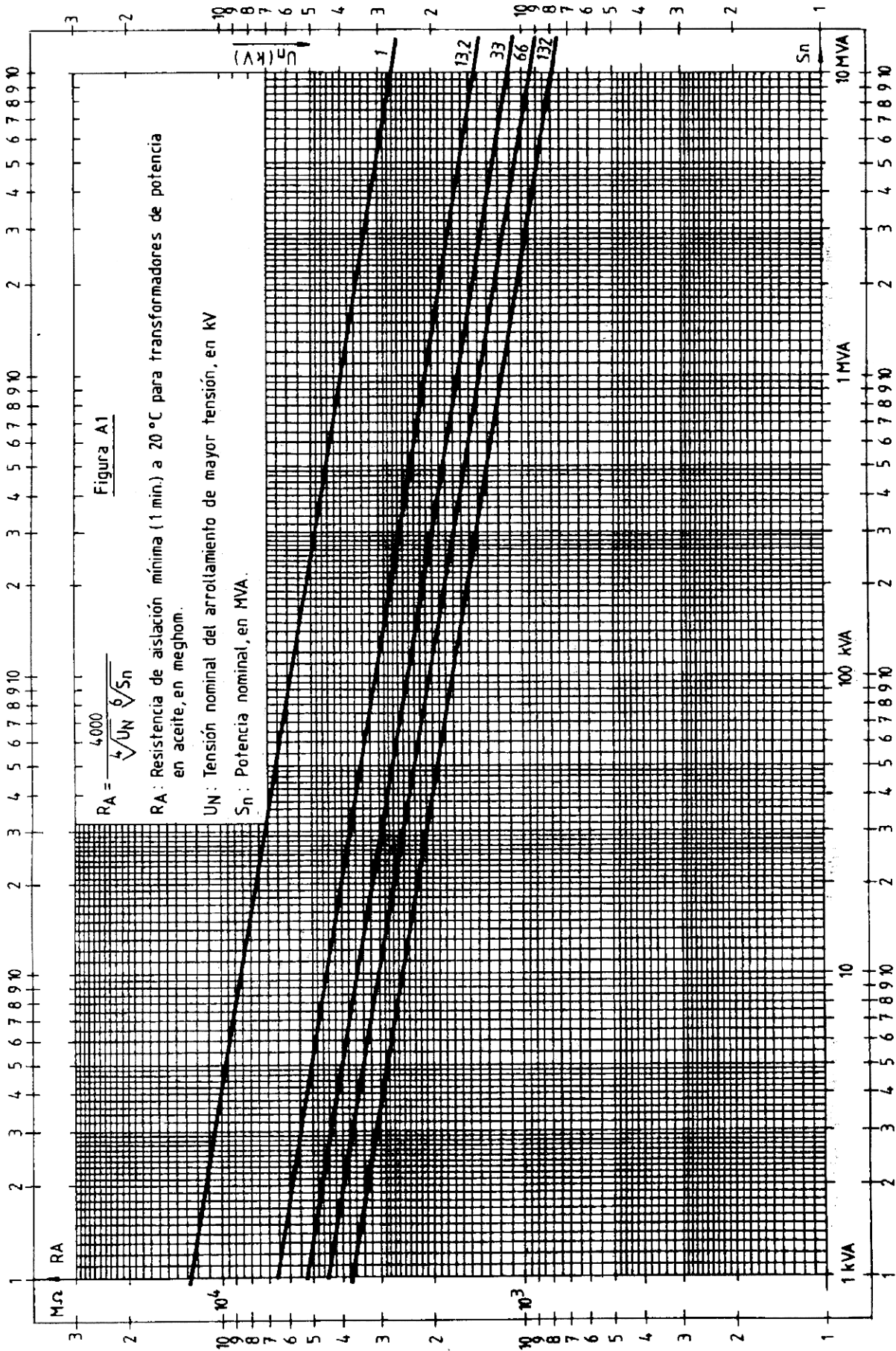
$$R_{A \text{ min}} (20^\circ C) = \frac{4000}{\sqrt[4]{U_N} \sqrt[6]{S_n}} \quad (A.III)$$

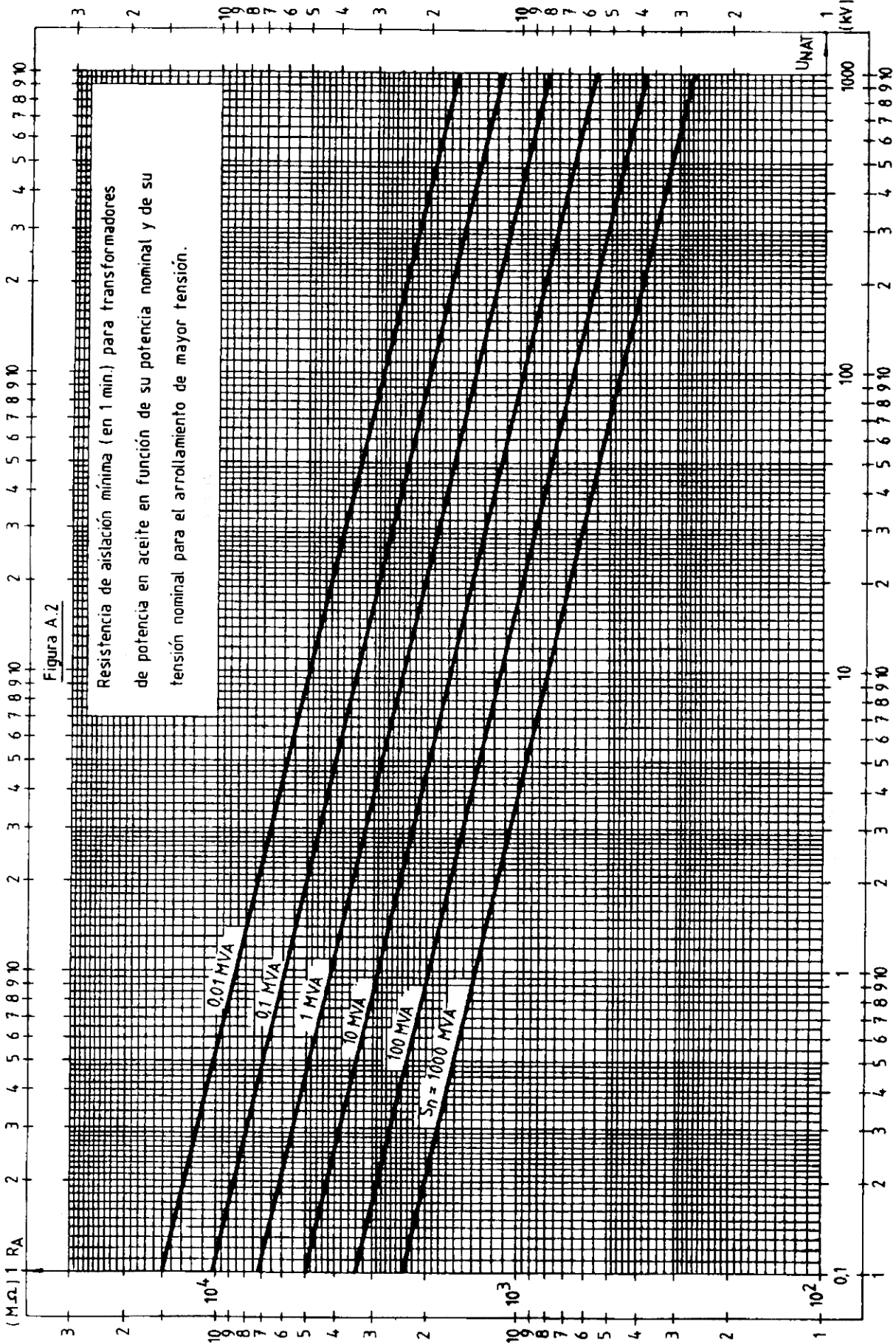
siendo:

$R_{A \text{ min}} (20^\circ C)$	la resistencia de aislación mínima a $20^\circ C$ , en el ensayo de medición única (1 min), de un arrollamiento respecto del otro arrollamiento conectado a masa, para transformadores en baño de aceite, en megohm;
$U_N$	la tensión nominal del arrollamiento de mayor tensión, en kilovolt;
$S_n$	la potencia nominal del transformador, en megavoltampere.

Cabe recalcar que la fórmula (A.III) representa exclusivamente la mediana de los valores mínimos observados en mediciones efectuadas en nuestro país (ver figuras A.1 y A.2).

A.2.4 Para el caso de los cables, por lo general la norma IRAM particular del tipo de cable considerado establece como calcular el valor mínimo admisible de su resistencia de aislación específica (en  $M\Omega \cdot km$ ). A modo de ejemplo, se ilustra en la figura A.3 un conjunto de curvas determinadas para cables nuevos con aislación de polietileno reticulado, y de PVC, que dan la resistencia de aislación específica mínima en función de la sección nominal del cable.







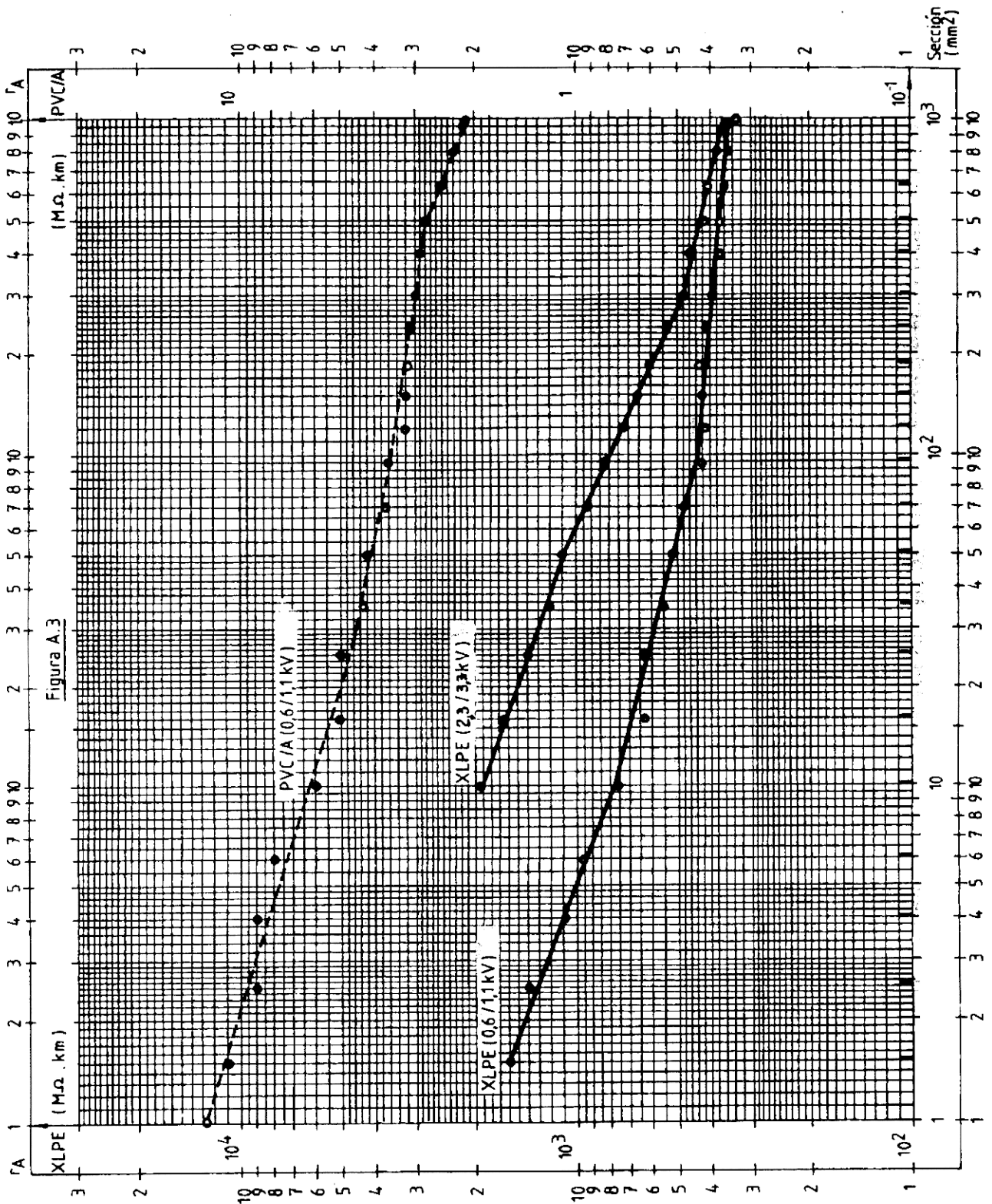


Figura A.3. Ejemplo de la resistencia de aislación mínima " $r_i$ " (MΩ . km) de un conductor contra los otros conductores y demás partes metálicas conectadas a tierra, a 20°C, para cables nuevos, de las aislaciones y tensiones nominales indicadas en las curvas, según la norma IRAM 2 178/90. Para XLPE corresponde el eje vertical izquierdo y para PVC/A el eje vertical derecho.

### A.3 VALORES MÍNIMOS DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN

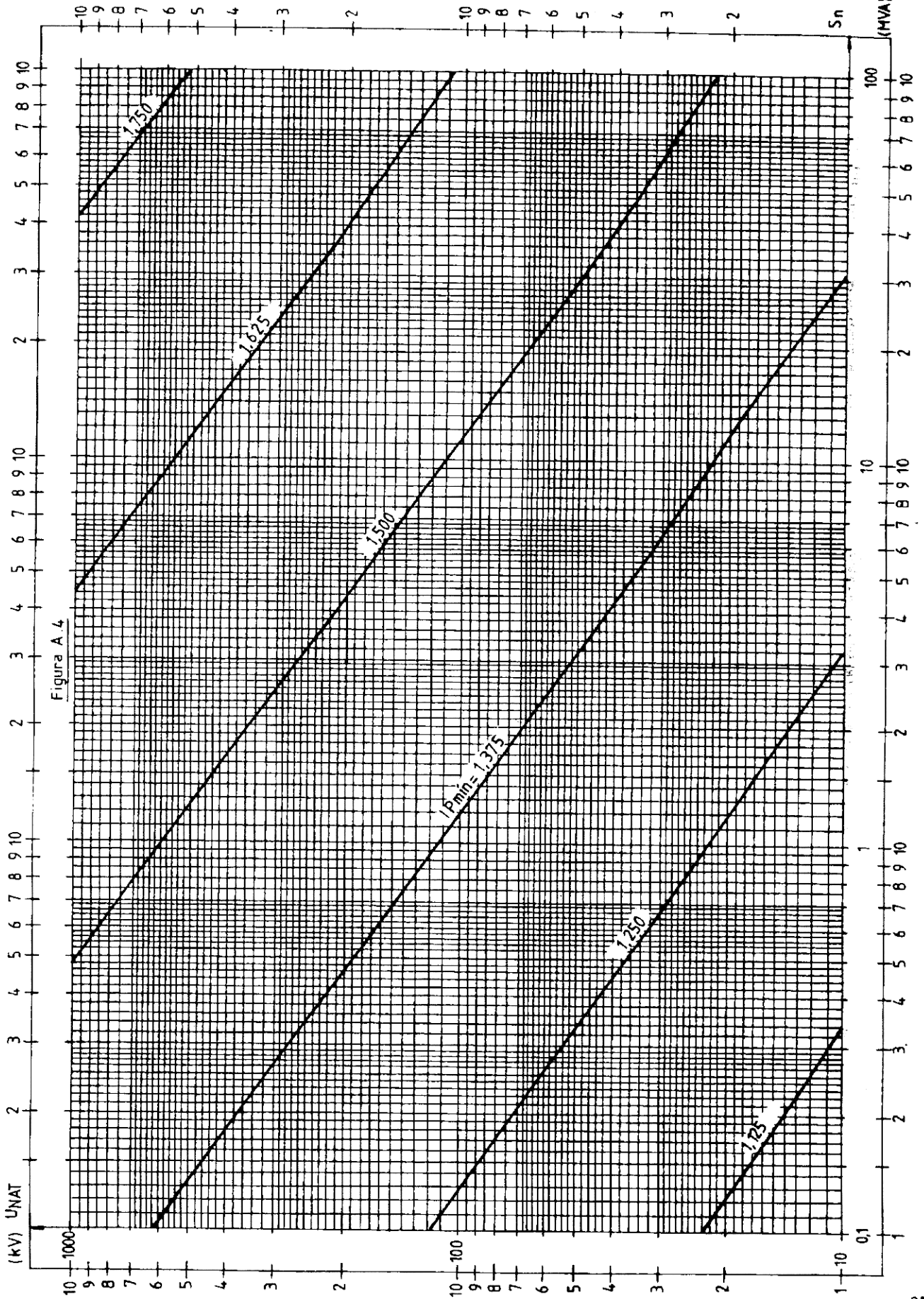
A.3.1 La calificación del estado de la aislación en función del índice de polarización, propuesta en la tabla 2 de esta guía, debe adoptarse teniendo en cuenta las reservas indicadas en las notas al pie de dicha tabla. Además, la tabla es tan solo aplicable a equipamientos con aislaciones extensas, como los transformadores de subtransmisión ( $S_n$  de decenas de MVA, y  $U_n$  de 132 kV y mayores) y las máquinas eléctricas rotativas de gran potencia nominal.

A.3.2 En base a mediciones efectuadas en nuestro país sobre transformadores en baño de aceite, se observó una dependencia entre el índice de polarización y la potencia y tensión nominales del transformador. Con los resultados de dichos ensayos correspondientes a una gran cantidad de máquinas de diversas potencias y tensiones, se elaboró estadísticamente una familia de curvas representativas de la mediana de los mínimos de los valores observados de IP. Estas curvas se representan en la figura A.4.

Al igual que la fórmula (A.III) propuesta para  $R_a$ , la figura A.4 permite estimar un valor del índice de polarización mínimo esperable en un transformador de características conocidas (potencia nominal en MVA y tensión nominal del arrollamiento de mayor tensión, en kV), basado en los valores corrientemente observados en nuestro país en máquinas que presentan un comportamiento en servicio satisfactorio.

Si el ensayo de absorción dieléctrica arroja un IP menor que el mínimo obtenido de la figura A.4, cabe suponer que la aislación eléctrica del transformador ensayado no está en buen estado.

A.3.3 Para las máquinas eléctricas rotativas de c.c. y de c.a. la norma IEEE 43 (1974) recomienda la utilización de los índices de polarización y resistencias de aislación mínimas detalladas en la tabla A, como así también que condiciones se deben satisfacer según sea la potencia nominal de la máquina.



T A B L A A

VALORES MÍNIMOS RECOMENDABLES DE RESISTENCIA DE AISLACIÓN  $R_A$  Y DE ÍNDICES POLARIZACIÓN IP PARA MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

DE c.a. Y DE c.c. RECOMENDADOS POR LA NORMA IEEE 43-1974

(REVISIÓN DE LA 43-1961)

1	2	3
<p>Valores mínimos recomendables de la resistencia de aislación <math>R_A</math> para arrollamientos estáticos y rotóricos de máq. eléct. de c.a. y c.c.</p>	<p>Máquinas eléctricas rotativas de c.a. o de c.c. de potencias nominales <math>S_n</math> (kVA)</p> <p>Valores recomendables de la resistencia de aislación <math>R_A</math> y del índice de polarización IP para las potencias <math>S_n^A</math> (kVA).</p>	
<p><math>R_{am} = \chi + 1 \quad (1)</math></p> <p><math>R_{am}</math> = resistencia de aislación mínima en M<math>\Omega</math>, referido a 40°C</p> <p><math>\chi</math> = tensión nominal de la máquina <math>U_n</math>, en kV de valor eficaz para c.a. o <math>E_n</math>, en kV de valor medio para c.c.</p>	<p><math>S_n \leq 10\ 000</math> kVA</p> <p><math>R_A \geq \chi + 1 \quad (1)</math></p> <p>o bien:</p> <p>IP <math>\geq 1,5</math> para "A" (*)                      IP <math>\geq 2,0</math> para "B" (*)                      IP <math>\geq 2,0</math> para "F" (*)</p>	<p><math>S_n &gt; 10\ 000</math> kVA</p> <p><math>R_A \geq \chi + 1 \quad (1)</math></p> <p>y también:</p> <p>IP <math>\geq 1,5</math> para "A" (*)                      IP <math>\geq 2</math> para "B" (*)                      IP <math>\geq 2</math> para "F" (*)</p> <p>(*) Clase de aislación térmica según las normas IRAM 2180 e IEC 85.</p>
<p>O B S E R V A C I O N E S</p>		
<p>Para aislaciones de máquinas en buenas condiciones se obtienen valores reales de medición de 10 a 100 veces el valor mínimo que se obtiene de la (1)</p>	<p>Si hay usos o aplicaciones en los que la máquina eléctrica rotativa se consider "vital", es de buena práctica iniciar el reacondicionamiento de su aislación si su <math>R_A (40^\circ\text{C}) \leq R_{am}</math> obtenida de la (1)</p>	

A N E X O B

GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS EN EL CAMPO SOBRE CABLES  
CON ALTA TENSIÓN DE CORRIENTE CONTINUA

B.1 INTRODUCCIÓN

B.1.1 Necesidad de los ensayos. Los cables son exhaustivamente ensayados por el fabricante antes de ser despachados, sin embargo, pueden sufrir algún daño o tratamiento inadecuado durante su transporte e instalación. Consecuentemente, es de práctica común realizar ensayos adicionales de la instalación completa, antes de su puesta en servicio. Además, muchos usuarios comprueban que con el transcurso del tiempo la tensión alterna puede causar deterioros o fallas, o bien revelar vicios ocultos de la fabricación o daños ocasionados durante la instalación, que no pudieron detectarse mediante los ensayos realizados en la fábrica o después del montaje. Por lo tanto, es de buena práctica efectuar ensayos periódicos de los cables, después de un tiempo en servicio.

Las tensiones de ensayo utilizadas durante la fabricación, o instalación, son a menudo demasiado pequeñas como para detectar defectos minúsculos y también las tensiones de ensayo adoptadas durante el mantenimiento pueden resultar muy bajas para localizar defectos que con posterioridad producirán fallas en servicio. Desde que se acentuó la tendencia de los usuarios a utilizar simultáneamente distintos tipos de cables para un mismo servicio, se volvió también evidente que la tensión de ensayo de c.c. debería relacionarse más bien con el nivel básico de aislación a impulso, en lugar de vincularse solamente con el tipo y espesor de la aislación.

Estos principios son los que se siguen en el desarrollo de este anexo.

El método tradicional de ensayo de la aislación de un cable de alta tensión es someterlo a una alta tensión alterna en la fábrica, antes de su entrega al usuario.

Sin embargo, debido al tamaño y el peso tanto del transformador como del equipo de ensayo, no resultaría práctico utilizar tensiones alternas de ensayo para cables ubicados en su lugar de instalación. De este modo, muchos cables ya instalados no hubieran sido ensayados, o de lo contrario, se debería utilizar una tensión continua. Una fuente de tensión de c.c. puede ser relativamente pequeña y liviana, adecuada para su transporte a la mayoría las posibles ubicaciones "en el campo" (Ver B.2.2).

La tensión continua utilizada en este tipo de ensayo ha sido tradicionalmente vinculada con la tensión alterna de ensayo prescriptas para el cable, mediante una relación constante para cada tipo de aislación. El establecimiento de esta relación carece de una buena base científica, y muchos especialistas opinan que la tensión continua de ensayo debería referirse a la rigidez dieléctrica límite de la aislación.

La experiencia ha demostrado que la aplicación de c.c. deteriora muy lentamente a la aislación en buen estado, por lo cual, la duración del ensayo con tensión continua no es de gran importancia en este sentido.

Ya que la tensión resistida en c.c. por las aislaciones de los cables es aproximadamente igual a la tensión resistida al impulso, es lógico referir los niveles de tensión continua de ensayo al nivel básico de aislación como se indica en las tablas BI y BII. Para redes efectivamente puestas a tierra, que tienen un nivel básico de aislación reducido, la tensión de ensayo a aplicar se seleccionará de acuerdo con ese nivel en lugar de hacerlo con la tensión nominal. Muchos son los usuarios de importantes cantidades de cables que los ensayan cuando son nuevos y recién instalados, antes de ponerlos en servicio.

La técnica de aplicar sistemáticamente ensayos de mantenimiento, aunque no es ampliamente utilizada en la actualidad, se muestra como práctica, especialmente para cables con aislaciones poliméricas, para reducir las interrupciones de servicio, ocasionadas por las fallas del cable o de sus accesorios. Se ha comprobado que estos ensayos de mantenimiento son bastante efectivos para identificar a los cables que están próximos a fallar. Siguiendo estos procedimientos, algunos usuarios han notado reducciones substanciales de las fallas de servicio en redes con cables poliméricos. Sin embargo la mayoría de los usuarios estadounidenses no practican aún ensayos de mantenimiento (Cfr. IEEE 400/1980).

Para determinar la conveniencia de emplear ensayos de mantenimiento, cada usuario debe evaluarlos para su caso en particular, tomando en cuenta los costos de una falla de servicio (interrupción) incluyendo aquellos intangibles, como así también los costos de ensayo.

Este documento recoge el consenso de la buena práctica conocida hasta el presente en cuanto a los métodos de ensayo y a la interpretación de sus resultados. Se espera que el uso de esta guía aumente los conocimientos sobre este tema, y dé lugar a procedimientos y métodos de ensayo más significativos.

## T A B L A B1

TENSIONES DE ENSAYO "EN EL CAMPO" PARA CABLES CON TENSIONES  
NOMINALES DE HASTA 132 kV SEGÚN LAS NORMAS IRAM

$U_N$ (valor eficaz)	Tensiones del cable			Tensiones de ensayo c.c. (*)		
	$U_o$ (valor eficaz)	$U$ (valor eficaz)	$U_{1a}$ (valor de cresta)	Valor para instalación (por 1° vez)	Valor para mantenimiento	Valor máximo admisible (**)
(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)	(kV)
3,3	2,3	3,3	40	13	9	28
6,6	3,8	6,6	60	19	14	42
	5,2	6,6	65	22	17	46
13,2	7,6	13,2	85	32	24	60
	10,5	13,2	110	44	33	77
33	19	33	170	80	60	120
66***						
132	76	132	450	305	230	315
	76	132	550	305	230	385

(\*) Aplicada entre cada conductor y masa (tierra) durante un lapso de 15 min.

(\*\*) Tensión calculada según la IEEE Std. 400/1980, como el 70 % de la  $U_{1a}$ .

(\*\*\*) El cable para esta tensión nominal no está normalizado por IRAM, dada su escasa utilización.

NOTA 1. Para una determinada tensión nominal de la red  $U_N$ , la elección de la tensión de aislación a tierra  $U_o$  del cable se realiza en función de las características propias de las redes, que a tales efectos se dividen en dos categorías (I y II) según se detalla en la norma IRAM 2178.

NOTA 2: Los valores de esta tabla se corresponden con los prescripto en las normas IRAM respectivas, aplicables a cables de campo radial, siendo:

$U_N$  la tensión nominal de la red;

$U_o$  la tensión nominal de aislación a tierra;

$U$  la tensión nominal de aislación entre fases;

$U_{1a}$  la tensión resistida de impulso atmosférico.

## T A B L A B2

## TENSIONES DE ENSAYO "EN EL CAMPO" PARA CABLES CON TENSIONES

## NOMINALES DE HASTA 69 kV SEGÚN LA IEEE Std. 400/1980

Tensión nominal entre fases de la red (Valor eficaz)	Nivel básico de aislación a impulso atmosférico (Valor de cresta)	Tensión de ensayo de c.c. (*)	
		Valor para la instalación (puesta en servicio por 1° vez) (c.c.)	Valor para mantenimiento (c.c.)
(kV)	(kV)		
2,5	60	25	20
5	75	35	25
8,7	95	40	30
15	110	55	40
25	150	80	60
34,5	200	100	75
46	250	120	90
69	350	170	125

(\*) Aplicada entre cada conductor y masa (tierra) durante un lapso de 15 min.

NOTAS:

- (1) La aplicación de tensiones de hasta el 70 % del nivel básico de aislación a impulso ya sea para ensayos posteriores a la instalación o bien de mantenimiento, debe ser considerada de común acuerdo con los proveedores del cable y de los accesorios (ver B.4.2).
- (2) Puede ser necesario utilizar valores de tensión de ensayo menores que los recomendados, cuando la instalación de cables a ensayar tiene conectados a ella equipamientos tales como transformadores, motores, etc., para cumplir con los límites de tensión que le corresponde a dichos equipamientos, siempre y cuando no sea practicable su desconexión.

B.1.2 Objeto

B.1.2.1 Establecer procedimientos uniformes para realizar ensayos de aprobación de la instalación y de mantenimiento, con alta tensión continua, para cables de energía (incluyendo sus accesorios) "en el campo".

B.1.2.2 Establecer lineamentos para la evaluación de los resultados de los ensayos.

B.1.2.3 Definir los términos que tienen un significado específico en esta guía.

B.1.3 Alcance. Esta guía se aplica a todo sistema o red de cables aislados, con tensiones nominales comprendidas entre 1 kV y 132 kV, y destinados fundamentalmente a la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Esta guía no está destinada a aplicarse a cables para comunicaciones, control, maniobra y alta frecuencia, u otros usos especiales.

Se reconoce que los procedimientos y ensayos aquí descriptos también se pueden aplicar, con las debidas precauciones, a cables no incluidos, en este alcance, pudiéndose de este modo obtenerse informaciones de valor.



## B.2 DEFINICIONES

B.2.1 alta tensión continua. Tensión continua de valor mayor o igual que 5 000 V suministrada por un equipo de ensayo de potencia limitada.

B.2.2 en el campo. El término "en el campo" o también "in situ" se refiere generalmente el equipamiento instalado en su lugar de trabajo. Sin embargo, puede referirse también a equipamiento todavía no instalado o que ha sido trasladado de su lugar original de trabajo.

B.2.3 accesorios para cables. Aquellos componentes de un sistema de cables que no pueden ser desconectados rápidamente del cable y, consecuentemente, estarán sometidos a la tensión plena de ensayo aplicada al sistema (Ejemplos: empalmes, terminales, etc.).

B.2.4 ensayo de aprobación de la instalación. Ensayo realizado después de la instalación del cable, pero antes de ponerlo en servicio normal. Este ensayo está destinado a detectar daños ocasionados durante el transporte o instalación de los cables, y para poner en evidencia cualquier defecto o error grosero en la realización de los empalmes y de los terminales.

B.2.5 ensayo de mantenimiento. Ensayo hecho durante la "vida útil" de un cable. Está destinado a detectar el deterioro del cable o sus accesorios y a verificar íntegramente la mano de obra, de modo de poder iniciar tareas adecuadas de mantenimiento.

## B.3 CONSIDERACIONES GENERALES

### B.3.1 Influencias ambientales

B.3.1.1 Temperatura. La rigidez dieléctrica de algunas aislaciones de cables se reduce a temperaturas elevadas (aquellas que exceden las temperaturas normales de servicio permanente indicadas en las normas IRAM de cables). Los gradientes de temperatura en la aislación de los cables, originados por la disipación de calor de los conductores, pueden producir distribuciones anormales del potencial durante la aplicación de alta tensión continua (ver B.5.2.).

B.3.1.2 Condiciones atmosféricas. La contaminación de las superficies de las piezas terminales puede ocasionar importantes aumentos de la corriente de conducción y reducir los niveles de la tensión de contorno.

La densidad relativa del aire afecta la medición de la tensión de ensayo mediante explosores o medios similares, como así también afecta a la tensión de contorno de los terminales. A alturas mayores que 1000 m, se requieren terminales con aislaciones adecuadamente mayores para resistir tanto las tensiones de servicio como las tensiones de ensayo prescriptas en esas condiciones ambientales y atmosféricas.

La presencia del viento puede causar lecturas erróneas de la corriente (ver B.5.2).

B.3.1.3 Campos eléctricos extraños. Los ensayos con tensión continua se realizan usualmente en el campo en la vecindad de equipamiento energizado. Los campos eléctricos extraños resultantes tienen generalmente poca influencia sobre las mediciones. Sin embargo, es posible que ocurra algún contorno entre el circuito bajo ensayo y los circuitos próximos energizados debido a la sollicitación dieléctrica e ionización del aire. Para prevenir esto, puede ser necesario adoptar algunas precauciones especiales cuando el espaciado entre dichos circuitos es escaso. Estas precauciones pueden incluir la instalación de pantallas puestas a tierra para proteger los circuitos adyacentes en servicio.

### B.3.2 Equipamiento de ensayo

B.3.2.1 Equipo de ensayo de alta tensión continua. La fuente de tensión de ensayo tiene que:

- a) proveer la máxima tensión de ensayo requerida, más cierto margen adicional;
- b) la polaridad de la tensión de ensayo será negativa, es decir que el terminal de alta tensión será el negativo y el de masa-tierra, el positivo (ver el informe técnico);
- c) proveer la posibilidad de incrementar la tensión ya sea continuamente o bien en pequeños escalones;
- d) proveer una regulación satisfactoria de la tensión de salida;
- e) suministrar una tensión de salida en vacío lo suficientemente filtrada para obtener una tensión continua aceptablemente pura;
- f) dar indicaciones de tensión y de corriente que puedan ser leídas con exactitud. Es deseable obtener una resolución de  $0,1 \mu A$  en la gama de las corrientes más bajas;
- g) debe proveer una corriente continua de intensidad suficiente para cargar electrostáticamente el cable a ensayar en un tiempo razonable.

B.3.2.2 Fuente de alimentación. Es esencial disponer de una fuente de alimentación bien estabilizada para el generador de alta tensión continua.

Aún las variaciones más pequeñas pero rápidas en esta alimentación, pueden ocasionar variaciones notables en la indicación de la corriente de salida, debido a la carga o descarga electrostática del cable ensayado.

B.3.2.3 Resistor de descarga. Se puede utilizar un resistor con una resistencia no menor que  $10000 \Omega$  por kV de tensión de ensayo, para descargar el cable después del ensayo (ver B.4.2). Este resistor estará diseñado para resistir la tensión plena de ensayo sin contornearse, y para descargar la energía electrostática almacenada sin calentarse excesivamente. Deberá estar provisto de una pértiga aislante y de un conductor flexible, para poder conectar, a través del resistor, el terminal del cable y la tierra (masa).

B.3.3 Seguridad de las personas. Los ensayos con alta tensión de los cables engloban todos los riesgos normales inherentes al trabajo sobre circuitos energizados. Sin embargo, hay dos circunstancias que provocan riesgos adicionales. Los circuitos de cables normalmente tendrán uno o más terminales alejados del área de ensayo. Estos terminales deberán ser separados y resguardados para la seguridad de las personas. Se recomienda verificar la ausencia de tensión antes de iniciar los ensayos, mediante un indicador de tensión adecuado para su aplicación a un circuito energizado, que garantice la seguridad del personal. Además, los cables presentan una gran capacitancia, y absorción dieléctrica, por lo que se requieren una atención particular y técnicas especiales para su descarga electrostática, después de ensayarlos, para minimizar los riesgos personales.

Como consecuencia de las enormes constantes de tiempo inherentes al fenómeno de absorción dieléctrica, pueden quedar cargas eléctricas remanentes en un cable del que se ha desconectado el dispositivo de puesta a tierra, después de una aplicación y subsecuente descarga de la alta tensión continua. Por este motivo, se recomiendan algunos procedimientos de puesta a tierra en B.4.2.

## B.4 MÉTODOS DE ENSAYO

**B.4.1 Precauciones.** Todos los componentes del sistema de cables a evaluar requieren que se elimine su carga electrostática antes del ensayo. Se recomienda verificar la ausencia de tensión con un indicador de tensión confiable. Cuando dicho indicador está en contacto con cada conductor y se evidencia la ausencia de tensión, se debe efectuar una conexión a tierra del conductor verificado, y mantenerla en todo momento, excepto cuando se va aplicar la tensión de ensayo. Esto mismo se debe aplicar a todas las partes metálicas desenergizadas que estén próximas.

Todos los terminales de los componentes a ensayar, se resguardarán de los contactos accidentales mediante elementos tales como barreras, cubiertas, o bien mediante personal de vigilancia en todos los puntos riesgosos. Se debe establecer una separación entre los terminales y todos los elementos no sometidos a ensayo, con distancias mínimas de 2,5 mm por cada kilovolt de tensión de ensayo.

Para reducir la corriente por efecto corona, originada en los extremos metálicos desnudos o en los terminales, puede ser conveniente recubrirlos con envolturas metálicas o semiconductoras de formas adecuadas para disminuir o atenuar las concentraciones de campo eléctrico. Por ejemplo, pueden utilizarse cámaras de neumáticos de rodados como coberturas semiconductoras.

**B.4.2 Procedimiento de ensayo.** Se desconecta todo el equipamiento que no se va a incluir en el ensayo, pero se dejan intactas todas las conexiones de tierra. Se prepara el cable para ensayarlo conforme con lo indicado en B.4.1. Se limpian las superficies de los aisladores con un paño seco y, si es necesario (en zonas severamente contaminadas), se le aplica grasa de siliconas para minimizar las corrientes de fuga superficiales y para prevenir el contorneo. Si es necesario, se envuelven las superficies expuestas del conductor con varias capas de cintas de polietileno, para minimizar el efecto corona (ver también B.5.2).

Se debe verificar el buen funcionamiento del equipamiento de ensayo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

La indicación de la corriente por el instrumento puede ser verificada conectando un trozo corto de alambre delgado al terminal de A.T del equipo de ensayo, e incrementando su tensión hasta que sea audible el efecto corona en el extremo del alambre. En estas condiciones, un microamperímetro de 0  $\mu$ A a 10  $\mu$ A ó de 0  $\mu$ A a 50  $\mu$ A debería acusar una corriente.

La corriente de fuga del equipo de ensayo en vacío, sin conexión alguna, no debería ser detectada cuando se alcanza la máxima tensión de ensayo del equipo.

El electrodo de tierra del equipo de ensayo se debe conectar a la pantalla metálica del cable y a la tierra local si la hubiera. Los terminales de los cables no conectados a tierra deben tener su pantalla metálica conectada a la tierra local, si ésta es accesible, durante los ensayos con corriente continua. Se conecta el electrodo de ensayo de alta tensión al primer conductor o conductores a ser ensayados.

Se desconecta la puesta a tierra del o de los conductores a ensayar. Cuando se ensayan cables multipolares sin pantallas individuales (campo eléctrico no radial), cada conductor debe ser ensayado separadamente, con los conductores restantes conectados todos a tierra.

Antes de aplicar la tensión de ensayo el sistema de cables se debe haber enfriado hasta la temperatura ambiente (ver B.3.1.1 y B.5.2). El valor inicial de la tensión continua aplicada no debe exceder de 1,8 veces la tensión nominal de frecuencia industrial entre fases del cable. La tensión se incrementa gradualmente, o en escalones, hasta alcanzar el máximo valor de ensayo. Si el incremento es gradual, la velocidad de aumento de la tensión será aproximadamente uniforme, y de modo tal que se alcance el 100 % de la tensión de ensayo entre 10 s y 60 s. Si el incremento es en escalones, la duración de cada escalón debe ser suficiente para que la corriente alcance un valor estable (se sugiere 1 min), o tal que no se aprecie variación del valor de la corriente. Las lecturas de los valores de corriente para cada escalón de tensión, se deben realizar al final de la aplicación de dicho escalón. La tensión debe ser aplicada con la lentitud suficiente como para evitar la sobrecarga de la fuente de tensión.

La tensión máxima de ensayo se puede mantener durante 15 min. La intensidad de la corriente se debería registrar al minuto y a los 15 min de alcanzada la máxima tensión de ensayo.

Las tensiones de ensayo recomendadas por IRAM para sistemas de cables con tensiones nominales de hasta 132 kV están indicadas en la tabla BI. (En la tabla BII se agregan a título ilustrativo los valores de la IEEE Std. 400/80). Cuando a juicio del usuario fuere necesario utilizar niveles de ensayo más exigentes, las tensiones de ensayo máximas admisibles se deben determinar a través de consultas a los fabricantes del cable y de los accesorios de dicho cable. La tensión continua máxima a aplicar a un sistema de cables no debería exceder el 70 % del nivel básico de aislación a impulso atmosférico de ese sistema.

Si se emplea el método de incremento de la tensión por saltos o escalones, se recomienda utilizar un mínimo de 5 escalones, cuando se realizan lecturas de corriente en cada uno de ellos.

Si algún equipo queda conectado al sistema de cables en ensayo, se deberá tomar en consideración su nivel de tensión continua resistida.

Completado el ensayo, se puede reducir la tensión volviendo a cero el regulador del generador de alta tensión continua, y permitiendo que el cable se descargue electrostáticamente a través de sí mismo y del equipo de ensayo. Para largos de cables que exceden los 300 m, aproximadamente, el tiempo requerido para este tipo de descarga puede ser excesivo. Para acelerar el proceso, se puede conectar entre el conductor ensayado y tierra un resistor como el descrito en B.3.2.3.

Este resistor puede ser construido y ubicado convenientemente en el extremo de una pértiga aislante adecuada, con la parte inferior del resistor puesta a tierra a través de un conductor flexible. Después que la tensión se redujo a menos de un 40 % de su valor inicial, o bien si se produjo una falla en el cable ensayado, éste debe ponerse rígidamente a tierra (aplicándole un terminal adecuado provisto de un conductor flexible de puesta a tierra, mediante una pértiga aislante), y debe permanecer puesto a tierra hasta que se lo vaya a poner en servicio o a ensayar nuevamente. No se debe iniciar un nuevo ensayo hasta tanto el cable haya estado puesto a tierra (cortocircuitado) por un lapso mínimo de 4 veces la duración total del ensayo previo.

## B.5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

B.5.1 Relaciones entre la corriente y el tiempo. La corriente de ensayo aumenta momentáneamente en cada salto incremental de la tensión, debido a la carga de la capacitancia y a la absorción dieléctrica que caracterizan al cable. Estos dos fenómenos decaen, el capacitivo en unos pocos segundos y el de absorción más lentamente, quedando finalmente sólo la corriente de conducción, más algunas corrientes de fuga sobre las superficies externas, o también por efecto corona. El tiempo requerido para alcanzar la corriente de estado estacionario depende del tipo de aislación y de su estado dieléctrico, como así también de la temperatura.

Este tiempo puede ser del orden de las horas para aislaciones laminadas impregnadas con aceite.

Si se mantiene la tensión constante y la corriente comienza a incrementarse lentamente al principio, pero con una velocidad de crecimiento uniforme, se puede estar produciendo una falla gradual de la aislación. Este proceso probablemente continuará hasta concluir con una eventual falla del cable, a menos que la tensión aplicada sea rápidamente disminuida. Este tipo de falla se presenta usualmente en las aislaciones de goma o de papel impregnado no presurizado. Los otros tipos de aislaciones raramente presentan esta clase de falla. Uno de los criterios para juzgar a un ensayo con alta tensión continua como satisfactorio, es el de verificar la disminución de la corriente con el transcurso del tiempo, a una tensión aplicada constante. Ya que esta disminución puede ser parcialmente enmascarada por corrientes por efecto corona, o bien por la inestabilidad de la fuente de tensión y por un amortiguamiento inadecuado del instrumento indicador, un criterio práctico de aprobación generalmente aceptado es la ausencia de un incremento de la corriente con el transcurso del tiempo (ver también B.5.2).

Si en algún momento durante el ensayo, se produce un incremento violento de la corriente, acompañado por una apertura intempestiva del interruptor del equipo de ensayo, esto se debe probablemente a que se ha producido una falla en el cable, o en un empalme o un contorneo en un terminal. Se puede confirmar la existencia de una falla por la incapacidad del cable para soportar una segunda aplicación de la tensión de ensayo.

Aún en el caso de verificarse la circunstancia descrita anteriormente, es posible, en algunos casos, reponer el cable en servicio por un corto período de tiempo. Esto se puede realizar solamente cuando se ha determinado que un aumento paulatino de la tensión de ensayo, durante la segunda aplicación, no da origen a una ruptura dieléctrica subsecuente en el cable, o en sus accesorios, antes de alcanzar un valor de tensión confiable, es decir que sea convenientemente mayor que la tensión de cresta

entre fase y tierra (Por ejemplo:  $1,10 \times \sqrt{2} U_0$  ) .

**B.5.2 Valores de resistencia.** Los valores leídos de tensión "E" y de corriente de conducción "I", observados durante el ensayo con alta tensión continua, se pueden utilizar para calcular la resistencia de aislación efectiva "R<sub>A</sub>" dada por:

$$R_A = \frac{E}{I}$$

Cuando se realiza un ensayo con saltos de tensión, es de una gran ayuda para evaluar la condición de la aislación, calcular y graficar la resistencia de aislación en función de la tensión. Este procedimiento es frecuentemente más sensible para detectar la aproximación a la corriente de falla por avalancha, que el de observar el comportamiento dinámico del microamperímetro.

Una disminución sustancial de la resistencia de aislación, al incrementarse la tensión aplicada., es una clara indicación de que se aproxima una avalancha. Este fenómeno de avalancha no se debe confundir con la iniciación de descargas externas por efecto corona.

La comparación de las resistencias de aislación calculadas para cada una de las tres fases de un cable o sistema de cables es una indicación útil para determinar una anomalía en la aislación de uno o más de los conductores del cable. Si bien no se puede dar una guía precisa para efectuar esta comparación, se puede considerar que existe una probable anomalía cuando excede de 3 a 1, la relación entre las resistencias de aislación medidas sobre distintas fases de un mismo cable, para longitudes mayores que 1000 m. Se admiten relaciones algo mayores para cables de alrededor de 300 m de largo.

Las características de la resistencia de aislación y las condiciones en que se encuentran los terminales varían tan ampliamente que resultaría engañoso establecer en esta guía valores absolutos de resistencia. En cambio, es de gran utilidad la comparación de los valores de resistencia de aislación medidos periódicamente, con aquellos obtenidos cuando el sistema de cables fue instalado.

Todas las aislaciones de cables poseen un coeficiente negativo de variación de la resistencia de aislación con la temperatura. Diversos tipos de compuestos utilizados como relleno de los terminales para cables, tienen resistencias óhmicas mucho menores y coeficientes de variación de dicha resistencia con la temperatura mucho mayores, que aquellos que les corresponden a los cables de papel-aceite que llegan a dichos terminales. Por este motivo, se debe permitir que los terminales se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente, antes de ejecutar los ensayos. Algunos terminales prefabricados también exhiben un comportamiento bastante similar al descripto frente a las variaciones de la temperatura.

La humedad, la condensación, y la lluvia, sobre la superficie de un terminal, pueden incrementar la corriente de fuga en varios órdenes de magnitud.

La presencia de humedad también aumenta la corriente por efecto corona, la cual se suma a la corriente total medida.

La presencia del viento modifica la acumulación de cargas distribuidas en los terminales desnudos energizados. Esto ocasiona un incremento del efecto corona. Una envoltura o cubierta plástica tiende a retener estas cargas distribuidas, aún en presencia del viento.

El equipamiento incluido en el circuito que se está ensayando, conectado al cable en algún punto alejado de los terminales sobre los que se realizan las mediciones, puede originar corrientes adicionales del orden de diez a varios cientos de veces la corriente de fuga del cable.

Cuando además del cable y de sus terminales, se incluye equipamiento adicional en el ensayo, es posible que no se logren la sensibilidad necesaria para percibir la aproximación de las condiciones de avalancha descriptas en B.5.1, debido a la preponderancia de la corriente de fuga de ese equipamiento. En estos casos, las condiciones de avalancha o de descontrol de la corriente de fuga del cable, solo puede ser advertida cuando ya el proceso de falla está muy avanzado.

Todos los factores expuestos se deberán considerar cuando se comparen o evalúen los valores de resistencia de aislación aparente de un circuito de cables.

A N E X O CENSAYO DE TENSIÓN Y CORRIENTE INCREMENTALES

Este método de ensayo responde a los mismo principios que los demás métodos presentados en esta guía, ya que permite evaluar la aislación de un equipamiento a través de un ensayo no destructivo con corriente continua. Sin embargo, a diferencia de los otros métodos en los que se mide directamente el valor de la resistencia de aislación  $R_a$ , en éste se mide la corriente  $I_T$  total que toma una aislación. Por ello, se lo ha incluido en este anexo y no en el texto principal de la norma.

El ensayo de tensión-corriente incrementales consiste en medir la corriente  $I_T$  a los "t" segundos" (por lo general a los 60 s) de aplicado el incremento  $\Delta E$  de la tensión continua de ensayo. En ningún caso la mayor tensión que se alcance debe exceder el valor de  $E_{m\acute{a}x}$  recomendado en 3.4 para el equipamiento y en el anexo B para los cables. Para esto es preciso disponer de un equipo de ensayo que posea una fuente estabilizada de alta tensión continua (cuyo valor de tensión de salida sea variable a voluntad) un microamperímetro y un kilovoltímetro.

Se recomienda incrementar la tensión en escalones de valor  $\Delta E$  constante, para que durante la marcha de la experiencia se pueda observar si la corriente  $I_T$  se incrementa excesivamente en relación a su aumento en el escalón de tensión inmediato anterior. El aumento ( $\Delta I_T$ ) desmesurado de  $I_T$  indica la posible presencia de alguna falla incipiente, que puede agravarse si se continúa aumentando la tensión de ensayo.

De ser así caben dos posibilidades:

- a) Detener rápidamente el ensayo;
- b) Continuarlo hasta poner en evidencia la falla.

Con los valores obtenidos se puede graficar la corriente  $I_T$  en función del tiempo para los distintos escalones de tensión, como se observa en la figura C.1, aunque lo más común es graficar la corriente  $I_T$  en función de la tensión continua aplicada  $E$ , tal como se ve en la figura C.2.

También, durante la realización del ensayo se pueden registrar los valores obtenidos en una tabla, en la que se consignen la tensión aplicada  $E$ , la corriente total medida  $I_T$  y la diferencia entre la corriente de un escalón y la del escalón inmediato anterior, que permite apreciar si entre un escalón y el que le sigue la corriente se ha incrementado peligrosamente (ver tabla C.1.).

Se considera que la aislación está en buen estado si la pendiente de la curva  $I_T$  en función de  $E$  tiende a mantenerse constante al aumentar la tensión  $E$ , dentro de la gama de tensiones definida por  $E \leq E_{m\acute{a}x}$  (vease el ejemplo de la tabla C.1. graficado en la figura C.2).

En cuanto a las precauciones de seguridad para aplicar este método, son válidas las indicaciones dadas en el apartado 3.3. También son aplicables las recomendaciones dadas en el anexo B.

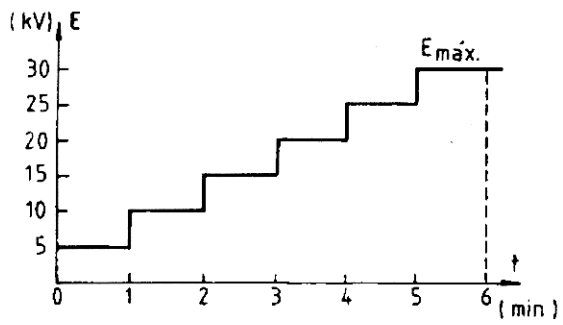
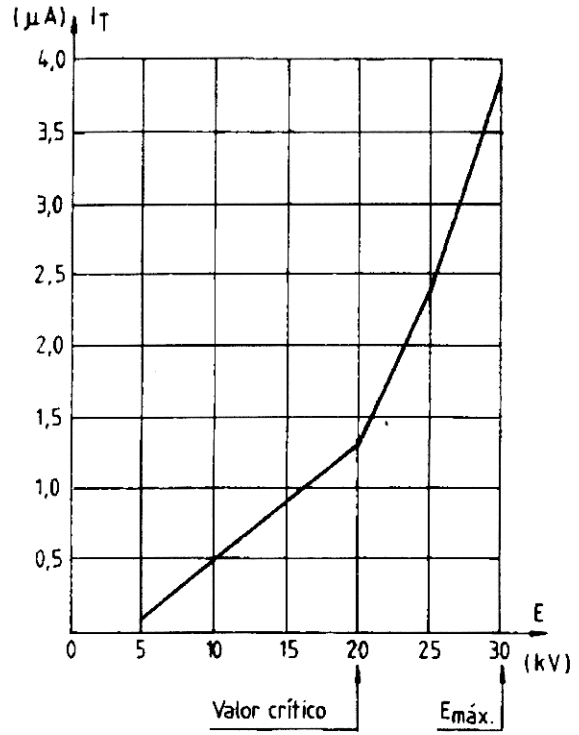
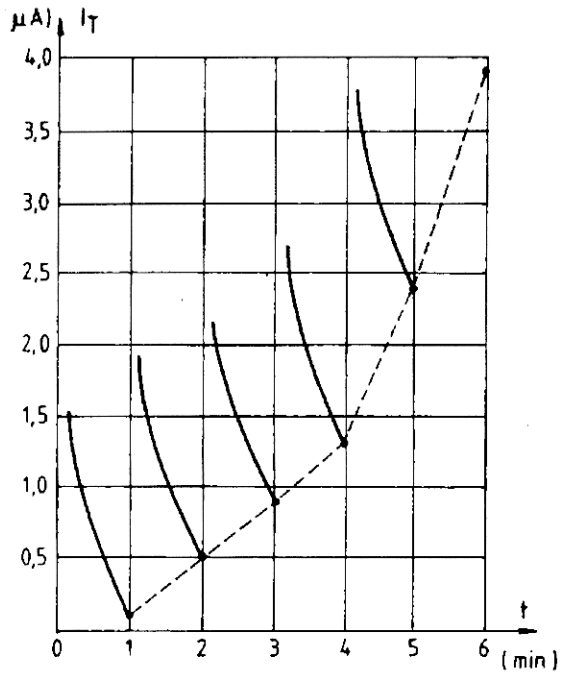


Figura C.1

Figura C.2  
Ejemplos de curvas para el ensayo de  
tensión y corriente incrementales



T A B L A C I

EJEMPLO DE TABLA DE VALORES PARA REGISTRAR EL ENSAYO  
DE TENSIÓN Y CORRIENTE INCREMENTALES (VER FIGURA C.2)

E (kV)	5	10	15	20*	25	30
$I_T$ ( $\mu\text{A}$ )	0,1	0,5	0,9	1,3	2,4	3,9
$\Delta I_T$ ( $\mu\text{A}$ )	0,4	0,4	0,4	1,1	1,5	

\* NOTA: A partir de los 20 kV se observan fuertes incrementos de la corriente que definen el punto crítico que puede poner en evidencia la existencia de alguna falla incipiente de la aislación.

## A N E X O D

### MEDICIONES CON ELECTRODO DE GUARDA

Los megóhmetros con electrodo de guarda, así como los equipos de medición con alta tensión continua destinados a evaluar la aislación eléctrica con microamperímetro y kilovoltímetro que tienen electrodo de guarda, permiten desafectar la lectura del valor medido de componentes indeseables.

Esquemáticamente, un megóhmetro con electrodo de guarda se puede representar por el circuito de la figura D1. En dicha figura, E es la fuente de corriente continua estabilizada y M es el instrumento indicador que mide la corriente  $I_m$  y cuya escala permite la lectura directa de la resistencia de aislación correspondiente.

La corriente  $I_g$  por el electrodo de guarda G, se suma a  $I_m$  para dar la corriente total  $I_T$  que entrega la fuente E.

El electrodo negativo (-) corresponde al terminal de alta tensión, como usualmente sucede en la mayoría de los megóhmetros modernos. Dado que el instrumento M es de muy baja resistencia interna (idealmente resistencia nula) el potencial de G es prácticamente idéntico al del terminal (+), que es el que se conecta a la masa del equipamiento a evaluar y a tierra.

El motivo por el cual el electrodo negativo (-) es el de alta tensión y el positivo (+) es el que se conecta a tierra, es el de lograr la configuración más desfavorable, que da lugar a los menores valores de  $R_A$  cuando la aislación tiene presencia de humedad, debido al fenómeno de "electro-endósmosis" (ver el informe técnico).

Para ilustrar la aplicación del electrodo de guarda se puede considerar cualquier equipamiento representándolo solamente por sus resistencias de aislación. Así, por ejemplo, un equipamiento trifásico se puede representar por un circuito como el de la figura D.2.

En esta figura L1, L2, y L3 son los terminales del equipamiento considerado y  $R_{1j}$  las resistencias de aislación correspondientes. Normalmente, para un equipamiento con su aislación en buen estado y una configuración simétrica del sistema aislante, se verifica que:

$$R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{ff} : \text{Resistencia de aislación entre fases,}$$

$$R_{LM} = R_{2M} = R_{3M} = R_{TM} : \text{Resistencia de aislación entre cada fase y masa .}$$

Mediante la utilización del electrodo de guarda se puede discriminar las resistencias de aislación entre fases de las resistencias entre fases y masa.

Otra aplicación típica del electrodo de guarda es su utilización para desafectar la medición, de la corriente de fuga superficial y así medir la resistencia de aislación volumétrica.

Asimismo, también se puede representar el sistema de un transformador de dos arrollamientos mediante un circuito como el de la figura D.3.

En este esquema, AT y BT representan los terminales de alta tensión y baja tensión, respectivamente. Mediante la aplicación correcta del electrodo de guarda se pueden medir las tres resistencias siguientes:

$R_{AB}$  : Resistencia de aislación entre alta tensión y baja tensión;

$R_{AM}$  : Resistencia de aislación entre alta tensión y masa;

$R_{EM}$  : Resistencia de aislación entre baja tensión y masa.

En los cuadros D1, D2 y D3, dados al final de este anexo, se ilustran las aplicaciones típicas de los megóhmetros o equipos de medición con alta tensión continua, provistos de un electrodo de guarda y sus ventajas comparados con aquellos sin guarda.

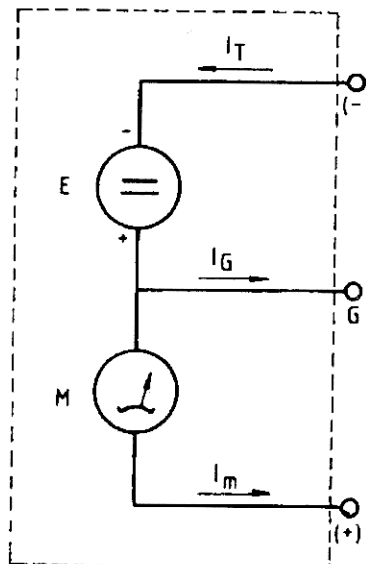


Figura D.1

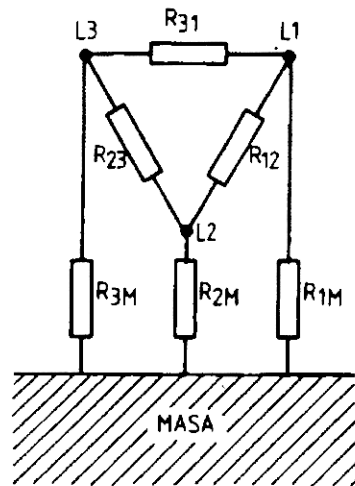


Figura D.2

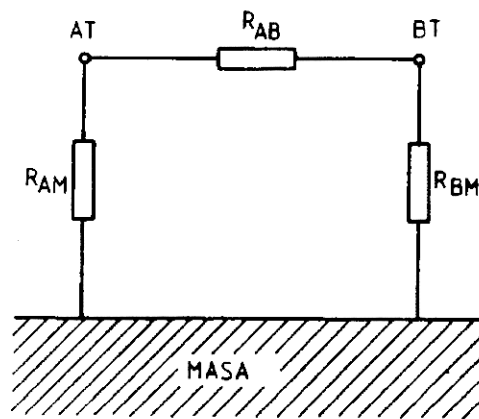


Figura D.3

CUADRO D1

RESISTENCIA DE AISLACIÓN CON Y SIN ELECTRODOS DE GUARDA

Método de medición	Circuito esquemático	Conexiones	Resistencia de aislamiento medida "R <sub>A</sub> "
Sin electrodo de guarda		(+) con L1, L2 y M (-) con L3	$R_A = \frac{1}{\frac{2}{R_{ff}} + \frac{1}{R_{fm}}}$
Con electrodo de guarda		(+) con L1 y L2 G con M (-) con L3	$R_A = \frac{R_{ff}}{2}$
		(+) con M G con L1 y L2 (-) con L3	$R_A = R_{fm}$

NOTAS: (\*) - Puente externo de conexión

1) -  $I_T = I_m + I_g$ ; Donde  $I_g$ : Corriente a través del electrodo de guarda.  
 $I_m$ : Corriente medida por el instrumento indicador.  
 $I_T$ : Corriente total por la fuente de tensión.

2) - Las resistencias sombreadas son, para cada caso, aquellas por las cuales circula la corriente medida por el instrumento indicador "I<sub>m</sub>".

CUADRO D2

MEDICIONES DE RESISTENCIA DE AISLACIÓN SIN ELECTRODOS DE GUARDA

Circuito esquemático	Conexiones	Resistencia de aislamiento medida "R <sub>A</sub> "	Observaciones
	(-) con el borne (+) con la masa	$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}}$	R <sub>v</sub> : Resistencia volumétrica R <sub>s</sub> : Resistencia superficial
	(-) con AT (+) con BT y M	$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_{AB}} + \frac{1}{R_{AM}}}$	
	(+) con BT (-) con AT y M	$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_{AB}} + \frac{1}{R_{BM}}}$	
	(-) con AT (+) con BT	$R_A = \frac{1}{\frac{1}{R_{AB}} + \frac{1}{R_{AM} + R_{BM}}}$	NO es recomendable en ningún caso

NOTAS: (\*) Puente externo de conexión.  
 1) I<sub>m</sub>: Corriente medida por el instrumento indicador.  
 2) Las resistencias sombreadas son, para cada caso, aquellas por las cuales circula la corriente medida por el instrumento indicador "I<sub>m</sub>".

CUADRO D3

MEDICIONES DE RESISTENCIA DE AISLACIÓN CON ELECTRODOS DE GUARDA

Circuito esquemático	Conexiones	Resistencia de aislamiento medida "R <sub>A</sub> "	Observaciones
	(-) con el borne G con el anillo de guarda (+) con la masa	$R_A = R_v$	$R_v$ : Resistencia volumétrica $I_s$ : Corriente de fuga superficial
	(-) con AT G con BT (+) con M	$R_A = R_{AM}$	
	(-) con BT G con AT (+) con M	$R_A = R_{BM}$	
	(-) con AT G con M (+) con BT	$R_A = R_{AB}$	
<p>NOTAS: 1) <math>I_T = I_m + I_G</math>; Donde <math>I_G</math>: Corriente a través del electrodo de guarda.  <math>I</math>: Corriente medida por el instrumento indicador.  <math>I_m</math>: Corriente total por la fuente de tensión.</p> <p>2) Las resistencias sombreadas son, para cada caso, aquellas por las cuales circula la corriente medida por el instrumento indicador "I".</p>			

A N E X O E

MODELOS DE PLANILLAS PARA EL REGISTRO

SISTEMÁTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS

ENSAYOS DE LA AISLACIÓN ELÉCTRICA

PLANILLA E.1. Ejemplo de planilla para el registro sistemático del resultados del ensayo de medición única.

PLANILLA E.2. Ejemplo de planilla para el registro sistemático de los resultados de los ensayos de absorción dieléctrica y de saltos de tensión.





PLANILLA E.2

CENT - S.E. N° NOMBRE ..... EQUIPO ..... TENSIÓN.....kV																																																													
ESTADO DE AISLACIÓN																																																													
N°..... MARCA ..... CONEXIÓN .....																																																													
1° Y 2° MEDICIÓN ENTRE LADO A TIERRA PRUEBA	ANTES DEL ENSAYO DE TENSIÓN																																																												
2° Y 1° MÉTODO DE POLARIZACIÓN	DESPUÉS																																																												
<p>θ Transf. = ____ °C    Kcorr. = _____</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>L</th> <th colspan="2">R</th> <th>R<sub>corr</sub> 20°</th> </tr> <tr> <th>min.</th> <th>div.</th> <th>MΩ</th> <th>MΩ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1/2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>Megómetro Escala:                      Tensión: Constante:</p> <p>RELACIÓN DE ABSORCIÓN</p> $\frac{R_{60s}}{R_{30s}} =$ <p>ÍNDICE DE POLARIZACIÓN:</p> $\frac{R_{10 \text{ min}}}{R_{1 \text{ min}}} =$ <p>MÉTODO DEL SALTO DE TENSIÓN</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tensión</th> <th>MΩ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1000 V</td><td></td></tr> <tr><td>2500 V</td><td></td></tr> <tr><td>5000 V</td><td></td></tr> </tbody> </table>	L	R		R <sub>corr</sub> 20°	min.	div.	MΩ	MΩ	1/2				1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				Tensión	MΩ	1000 V		2500 V		5000 V		
L	R		R <sub>corr</sub> 20°																																																										
min.	div.	MΩ	MΩ																																																										
1/2																																																													
1																																																													
2																																																													
3																																																													
4																																																													
5																																																													
6																																																													
7																																																													
8																																																													
9																																																													
10																																																													
Tensión	MΩ																																																												
1000 V																																																													
2500 V																																																													
5000 V																																																													
<p>NOTA: 1 - Usar el borne de guardia de megóhmetro. 2 - Determinar la temperatura del transformador en medición.</p> <p>OBSERVACIONES:.....</p> <p>INSPECTOR ..... FIRMA ..... SUPERVISOR ..... FECHA .....</p>																																																													

Í N D I C E

	<u>Página</u>
0 - NORMAS PARA CONSULTA	3
1 - OBJETO Y ALCANCE	3
2 - DEFINICIONES	3
3 - CONDICIONES GENERALES	6
4 - REQUISITOS	9
5 - MÉTODOS DE ENSAYO	11
ANEXOS	
A - VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE LA RESISTENCIA DE AISLACIÓN Y DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN	20
B - GUÍA PARA LA REALIZACIÓN EN EL CAMPO DE ENSAYOS SOBRE CABLES CON ALTA TENSIÓN DE CORRIENTE CONTINUA	29
C - ENSAYO DE TENSIÓN Y CORRIENTE INCREMENTALES	39
D - MEDICIONES CON ELECTRODO DE GUARDA	42
E - MODELOS DE PLANILLAS PARA EL REGISTRO SISTEMÁTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE AISLACIÓN ELÉCTRICA	48
INFORME TÉCNICO	52

(Viene de pág.2)

## I N F O R M E T É C N I C O

El estudio de esta guía se inició a partir de una serie de inquietudes planteadas especialmente en el seno de las Comisiones de Alta tensión y de Transformadores de Potencia del IRAM.

Estas inquietudes estaban vinculadas a la carencia de un documento normativo que tratara en forma orgánica, amplia y completa el conjunto de técnicas para la evaluación del estado de una aislación mediante mediciones con corriente continua.

Estas técnicas de medición se vienen empleando desde hace décadas y en el conjunto de las normas IRAM se encuentran referencias puntuales a algunos de estos ensayos, principalmente en las normas de cables y en las de máquinas estáticas y rotativas.

Sin embargo, a pesar de la amplia difusión y utilización de estas metodologías, no se conocen aún que existan normas o guías de organismos normalizadores nacionales o internacionales, que traten el conjunto de todas esas técnicas. Por lo tanto, para la elaboración de esta guía, la Comisión de Alta Tensión debió recopilar y analizar una considerable cantidad de antecedentes de diversos orígenes, de los que se da cuenta en este informe técnico en la bibliografía que lo acompaña.

La tarea de recopilación de antecedentes se inició a fines del año 1985, elaborándose un primer texto en el curso del año 1987. El espíritu con el cual se redactó dicho texto preliminar fue el de dar una serie de recomendaciones generales para efectuar ensayos, ya sea tanto sobre equipamiento nuevo (recién comprado o almacenado), sobre equipamiento reparado, como así también sobre equipamiento en servicio, con el objeto de detectar posibles fallas incipientes de la aislación eléctrica. Todas las técnicas de medición con corriente continua descriptas en ese primer documento y en todos los posteriores que fueron surgiendo del trabajo de la Comisión, tienen las particularidades siguientes:

- a) Son fácilmente realizables "in situ".
- b) Generalmente no son destructivas, si se las aplica en forma adecuada, dependiendo ésto de la pericia del operador.
- c) Efectuadas periódicamente, permiten hacer un seguimiento del estado de la aislación durante la "vida útil" de un equipamiento.

El tratamiento en Comisión del primer texto comenzó en 1987, y desde entonces se fueron incorporando nuevos elementos al esquema original que han ido enriqueciendo el contenido de esta guía.

Durante la consideración de este documento, así como en su texto, surgieron discusiones y comentarios que merecen una mención en este informe y que se detallan a continuación.

- En el capítulo 2 de DEFINICIONES se planteó una discusión sobre la denominación dada a la componente de la corriente total que toma la aislación al aplicarle una tensión continua de ensayo, llamada "corriente de absorción" (definición 2.3.2). Oportunamente se analizaron los fenómenos físicos que dan origen a esta componente, consultándose la bibliografía Bb.3.1 y Bb.3.2, entre otras, concluyéndose que la denominación dada a dicha corriente es la más correcta ya que, independientemente de los fenómenos de polarización por migración que se verifican, todo ocurre como si el volumen del material aislante "absorbiera" la componente " $i_a$ " de la corriente.

Con relación a la expresión (4) de la corriente de absorción  $i_a$ , al exponente "n" a veces se lo denomina "coeficiente de almacenamiento" y su valor, para algunos sistemas aislantes, puede estar comprendido entre 0,5 y 1, tal como se indica en la norma AIEE 62 (1958) .

Además, se resolvió adoptar la letra E para designar a la tensión continua de ensayo, para distinguirla de la letra U, que habitualmente designa al valor eficaz de la tensión alterna.

- Dentro del capítulo 3 cabe destacar que el apartado 3.4, donde se dan valores de la tensión continua de ensayo, se elaboró adaptando a las tensiones normalizadas por IRAM los valores de la Bb.5.1.
- En el capítulo 4, para el apartado 4.2 de medición única, se resolvió incorporar un anexo donde se resume un conjunto de varias expresiones de distintos orígenes para estimar la resistencia de aislación mínima, junto con expresiones determinadas estadísticamente en nuestro país.  
En el apartado 4.3, correspondiente a los requisitos aplicables al ensayo de absorción dieléctrica, se introdujo una tabla con valores recomendables de la relación de absorción dieléctrica y del índice de polarización, según sea el estado de la aislación evaluada. No obstante, dicha tabla se debe utilizar con mucha cautela, ya que no es aplicable a todo tipo de equipamiento por igual. Por ello, en el anexo A se agregaron algunas consideraciones complementarias para la aplicación de este método.  
Adicionalmente, es de gran importancia la elección del instrumental adecuado en relación al equipamiento a ensayar. En este sentido, una característica relevante del instrumento de medición es el valor de su corriente de cortocircuito, que se alcanzará plenamente cuando éste deba cargar electrostáticamente el dieléctrico de un sistema aislante de gran extensión física y dieléctrica. Una condición deseable es que al aplicar la tensión continua de ensayo se pueda registrar con el instrumento algún valor apreciable dentro de los primeros 30 s de aplicación de la tensión de ensayo.
- El motivo por el cual en el anexo D se da preferencia a una polaridad de ensayo, se debe a que la presencia de humedad, en algunos dieléctricos sólidos, en ocasiones da lugar a una diferencia considerable en la conducción volumétrica según sea la polaridad de la tensión aplicada. Este fenómeno es particularmente notable cuando los electrodos son de diferente tamaño, por ejemplo, en el caso del conductor y la pantalla de un cable. Este efecto se debe a un fenómeno conocido como "electro-endósmosis", caracterizado por la migración, bajo la acción de un campo eléctrico de corriente continua, de pequeñas gotas de agua con cargas positivas localizadas en su superficie de interfase con el material aislante.

Por último, se consideró importante acompañar a este informe de una bibliografía completa de los antecedentes consultados para la elaboración de esta guía, detallándose a continuación.

#### Bb.1 NORMAS IRAM

- Bb.1.1 IRAM 2105/87 - Transformadores para transporte y distribución de la energía eléctrica. Niveles de aislación y ensayos dieléctricos.
- Bb.1.2 IRAM 2178/90 - Cables de energía con dieléctrico sólido extruído para tensiones nominales desde 1 kV hasta 33 kV.
- Bb.1.3 IRAM 2180/62 - Clases de Aislación.
- Bb.1.4 IRAM 2211/84 - Coordinación de la aislación eléctrica.
- Bb.1.5 IRAM 2250/77 - Transformadores de distribución. Tipificación de características y accesorios.

**Bb.2 NORMAS EXTRANJERAS**

- Bb.2.1 IEC 85/1984 - Thermal evaluation and classification of electrical insulation.
- Bb.2.2 IEEE Std. 43/1974 - Recommended practice for testing resistance of rotating machinery.
- Bb.2.3 IEEE Std. 62/1958 - Guide for making dielectric measurement in the field.
- Bb.2.4 IEEE Std. 95/1977 - Recommended practice for insulation testing of large a.c. rotating machinery with direct voltage.
- Bb.2.5 IEEE Std. 400/1980 - Guide for making high - direct - voltage test on power cable systems in the field.

**Bb.3 LIBROS**

- Bb.3.1 Principios de electrotecnia III. Teoría del campo electromagnético - A.V. Netushil, K.M. Polivanov - Grupo Editor de Buenos Aires (Ed. original circa 1960).
- Bb.3.2 Física de los materiales dieléctricos - B. M. Taréiev - Ed. MIR, Moscú (Ed. 1978).
- Bb.3.3 Los ensayos de transformadores industriales. M. Lapiné - Versión española de la segunda edición francesa, Ed. TECNOS S.A. Madrid (Circa 1955).
- Bb.3.4 Underground Systems Reference Book - Chapter II - Edison Electrical Institute, N. Y. - USA (1959)
- Bb.3.5 Transformer Maintenance (In Situ) - Myen, Kelly, Parrish - Transformer Maintenance Institute, Ed. AKRON - Ohio - USA (1981).

**Bb.4 ARTÍCULOS TÉCNICOS**

- Bb.4.1 D.C. Insulation Analysis: A new and Better Method - IEEE T.P.A.S. N° 7 July 1985 - P.H. Reynolds, S.A. Leszczyuski.
- Bb.4.2 Significado e importancia del análisis sistemático de los valores de la resistencia de aislación del equipamiento eléctrico - J. C. Arcioni, O. D. Petroni - Revista Electrotécnica N° 2 y 3 de 1989, A.E.A.- Buenos Aires.

**Bb.5 PUBLICACIONES TÉCNICAS DE FABRICANTES DE INSTRUMENTAL**

- Bb.5.1 James G. Biddle Co. U.S.A.: "A Stich in time": Manual on electrical insulation testing (Traducción al español del Laboratorio Electromecánico de SEGBA S.A.) (Circa 1975).
- Bb.5.2 AEMC Corporation, Boston Ma. U.S.A. - 1985 Catalog of testing and mesuring instruments.
- Bb.5.3 Associated Research Inc., U.S.A. - Folletos 2 100 - 2-86, 2 955-1, DMG-83.
- Bb.5.4 Multi-Amp Corporation, Dallas, Texas - U.S.A. - Bolletines 2 CB-605, 2 CB-100, 6-MG, 1 MG-300, 2 MG-251 y 306, 5MD".