

Las pruebas periódicas en una máquina deben hacerse en lo posible bajo las **mismas condiciones de temperatura, humedad y tensión aplicada.**



# Evaluación práctica del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas de gran potencia

## *Practical Evaluation of Electrical Insulation in High Power Rotating Machines*

### RESUMEN

Para la evaluación integral del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas existen en el mercado diversos tipos de pruebas que se emplean en forma periódica, lo que resulta en un servicio de alto costo para las empresas; además, si consideramos que no hay una prueba estándar con alta confiabilidad, el problema se agrava.

Este trabajo propone técnicas predictivas a través de la aplicación de tensión continua sobre el aislamiento de las máquinas rotativas, para de monitorear y anticipar potenciales fallas o deterioro de dicho aislamiento mediante el uso de equipos comerciales de bajo costo. Esta metodología permite obtener hasta cinco parámetros (corriente de absorción, corriente de conducción, índice de absorción, índice de polarización y resistencia del aislamiento) en una sola prueba, que al ser aplicada en forma periódica simplifican el monitoreo y evaluación del estado del aislamiento en máquinas rotativas de gran potencia.

### ABSTRACT

*In the evaluation of electric insulation in rotating machines, it is necessary to perform periodically several tests, in spite high cost for enterprises as well as a lack of high reliability standard.*

*This paper presents a predictive technique using application of direct current voltages to the insulation of rotating machines, with the aim of monitoring and anticipating potential faults or deterioration of the insulation using low cost*

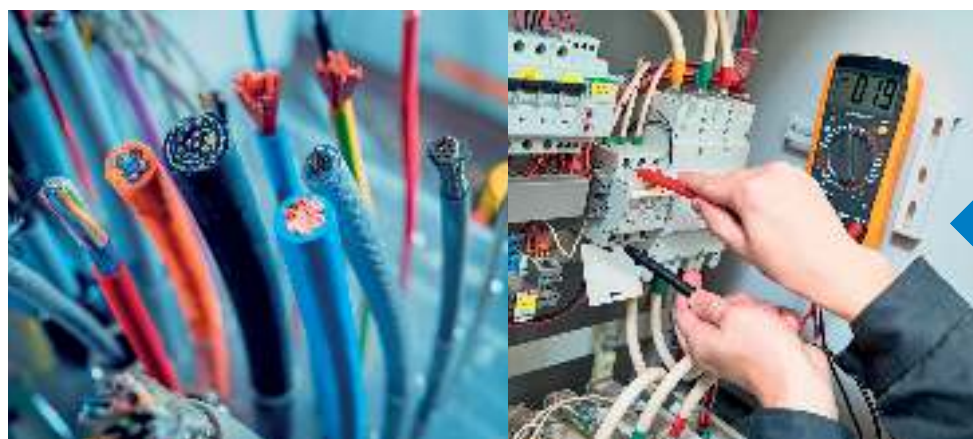
*commercial equipment. This methodology can measure up to five parameters (absorption current, conduction current, absorption index, polarization index and, insulation resistance) in a single test. Its periodical application would be used in monitoring and evaluation of insulation state in high-power rotating machines.*

### INTRODUCCIÓN

La evaluación de materiales dieléctricos utilizados como aislantes eléctricos en máquinas rotativas de gran potencia implica realizar pruebas para identificar el grado de envejecimiento y de contaminación. Son pruebas específicas que determinan si el aislamiento es adecuado con referencia a algún parámetro particular. Si bien estos tests no son suficientes para la evaluación integral del aislamiento, el análisis de tendencias del conjunto de parámetros obtenidos en cada prueba sí nos puede ofrecer estimaciones válidas para evaluar el estado del aislamiento eléctrico, así como anticiparnos a potenciales fallas.

Por ello, dicho monitoreo debe ser periódico, además de contemplar la aplicación de diferentes pruebas para la obtención de los parámetros a controlar.

Existen en el mercado diversos tipos de pruebas que deben ser aplicadas en forma periódica, aunque de manera individual para la evaluación integral del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas. Si a ello le sumamos que a la fecha no se cuenta con una prueba estándar de alta confiabilidad, el problema se agrava puesto que las alternativas son onerosas y generan un alto costo para las empresas.



### Palabras clave

Aislamiento eléctrico, evaluación de máquinas rotativas, corriente de absorción, corriente de conducción, índice de polarización.

### Key words

Electrical insulation, evaluation of rotating machines, absorption current, conduction current, polarization index.

Ante este panorama, la implementación de un método de bajo costo que posibilite el monitoreo de ciertos parámetros para evaluar potenciales fallas o deterioro del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas se hace necesaria en los planes de mantenimiento predictivo de las empresas.

En el presente artículo se presentan, en primer lugar, los fundamentos del comportamiento de los materiales aislantes frente a sollicitaciones eléctricas en tensión continua; para luego explicar la metodología e implementación de la prueba a realizar; y finalmente, analizar los resultados y validar el método mediante la comparación con otras pruebas estándar.

## FUNDAMENTOS

El material aislante que cubre el conductor puede ser considerado como el dieléctrico de un condensador en el que uno de los electrodos es el propio conductor y el otro, el elemento del cual se pretende aislar (por ejemplo, el núcleo del bobinado). Bajo estas consideraciones, el material aislante puede representarse como un circuito equivalente R-C [1] en paralelo con resistencias de alto valor, como se muestra en la Figura 1.

Cuando se aplica una tensión continua al aislamiento en estudio se generan diversas corrientes dentro del material aislante que varían en el tiempo (ver Figura 2) cuyo análisis en forma independiente permite evaluar el estado del material.

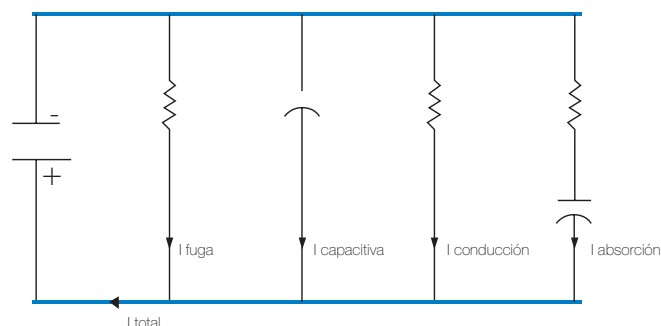


Figura 1. Circuito equivalente del material aislante. Fuente: IEEE Std 43-2000 (R2006) [1].

Al inicio se genera una corriente capacitiva que corresponde a la corriente requerida para cargar la capacitancia del aislamiento. Al principio su valor es elevado, pero cae exponencialmente a un valor cercano a cero en un periodo corto de tiempo. Existen, además, una corriente de conducción y otra de corriente de fuga, que no permiten llevar la corriente total a cero, las cuales son producto de la imperfección del dieléctrico y del estado de contaminación y deterioro del mismo.

Otra corriente generada conjuntamente con la corriente capacitiva es la de absorción [2], llamada también de polarización lenta, producida por impurezas iónicas en el aislamiento que aumentan con el envejecimiento. Estas se desplazan lentamente hacia los electrodos, aunque no llegan a descargarse sobre ellos, y su movimiento es medido en forma de corriente.

En forma general, la corriente de absorción se debe a:

- El movimiento de electrones libres a través del aislamiento.
- La distorsión molecular de la capa negativa de los electrones que circulan alrededor del núcleo, orientándolos hacia el polo positivo del campo.
- La alineación de las moléculas polarizadas dentro del campo aplicado [3].

La corriente de absorción es una propiedad intrínseca de cada material aislante y para propósitos prácticos se puede representar mediante un circuito R-C [11].

Respecto a la corriente de conducción, su valor parte de cero y aumenta conforme decae la corriente capacitiva, para luego ser constante en el tiempo. Es producida por la existencia de electrones libres en el aislamiento imperfecto, los cuales fluyen por efecto del campo eléctrico. Estos iones susceptibles a recombinaciones son nocivos para el material aislante porque provienen de productos fácilmente disociables bajo el campo eléctrico (por ejemplo, el agua tiene un alto poder de disociación en esas condiciones [4]). El valor de la corriente de conducción generalmente se incrementa por la presencia de otra corriente denominada de fuga superficial, debida a la contaminación o humedad de la superficie del aislamiento.

Cuando se deja de aplicar tensión, el material empieza a descargarse y aparecen dos corrientes: la primera corresponde a la carga capacitiva, cuyo valor se hace cero en un periodo corto de tiempo; y la segunda, a la corriente de reabsorción que es idéntica a la corriente de absorción pero de sentido contrario.

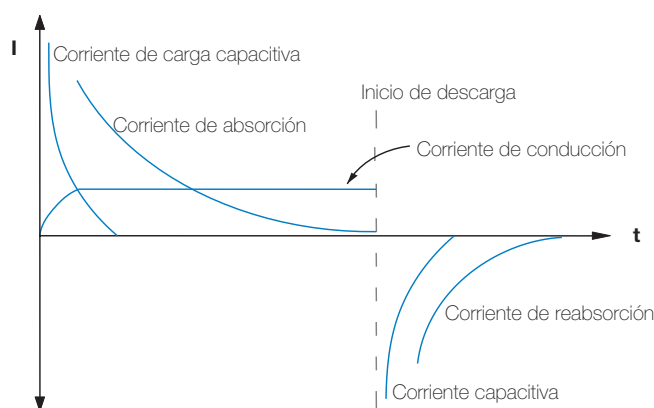


Figura 2. Corrientes generadas en el material dieléctrico.

La corriente total se expresa en función de la corriente de conducción y de absorción, que son las predominantes durante el ensayo, mediante la siguiente ecuación:

$$I_t = I_c + kt^{-n} \quad (1)$$

Donde:  $I_c$ : corriente de conducción;  $k$ : amplitud de la corriente de absorción (independiente de la tensión aplicada);  $t$ : tiempo y  $n$ : índice de la estructura íntima del material (independiente de la tensión aplicada).



Como se observa en la ecuación anterior la corriente de conducción permanece durante los primeros instantes de tiempo cubierta por la corriente de absorción, debido a que esta tiene una disminución exponencial. Ante esta condición, para calcular la corriente de conducción se obtienen tres medidas de corrientes totales ( $I_1, I_2, I_3$ ) correspondientes a tres tiempos que varían en progresión geométrica ( $t_1=60s, t_2=190s, t_3=600s$ ) y se aplica la siguiente ecuación:

$$I_c = \frac{(I_1 \cdot I_3 - I_2^2)}{I_1 + I_3 - 2 \cdot I_2} \quad (2)$$

Donde:  $I_1$ : corriente total medida en el tiempo  $t = t_1$ ;  $I_2$ : corriente total medida en el tiempo  $t = t_2$ ;  $I_3$ : corriente total medida en el tiempo  $t = t_3$ ;  $a$ : coeficiente de progresión geométrica.

La demostración matemática de esta ecuación se realiza mediante el uso de la ecuación (1) y el desarrollo de las expresiones del numerador y denominador.

Al trabajar con el numerador:

$$I_1 \cdot I_3 - I_2^2 = [I_c + kt_e^{-n}] \cdot [I_c + k(a^2 \cdot t_e)^{-n}] - [I_c + k(a \cdot t_e)^{-n}]^2$$

$$I_1 \cdot I_3 - I_2^2 = I_c \cdot k [t_e^{-n} - 2(a \cdot t_e)^{-n} + (a^2 \cdot t_e)^{-n}]$$

Al tratar el denominador:

$$I_1 \cdot I_3 - I_2^2 = [I_c + kt_e^{-n}] \cdot [I_c + k(a^2 \cdot t_e)^{-n}] - [I_c + k(a \cdot t_e)^{-n}]^2$$

$$I_1 \cdot I_3 - I_2^2 = I_c \cdot k [t_e^{-n} - 2(a \cdot t_e)^{-n} + (a^2 \cdot t_e)^{-n}]$$

Finalmente, al simplificar el numerador y el denominador se obtiene la misma ecuación (2).

$$\frac{I_1 \cdot I_3 - I_2^2}{I_1 + I_3 - 2 \cdot I_2} = I_c$$

Las corrientes de absorción para los tiempos  $t_1, t_2$  y  $t_3$  se calculan al restar la corriente de conducción ( $I_c$ ), de la corriente total medida.

$$I_{abs} = I_{tot} - I_c \quad (3)$$

## METODOLOGÍA

### Resistencia de aislamiento

La prueba de resistencia de aislamiento es un test puntual que se realiza mediante la aplicación de una tensión y tomándola medición el valor de la resistencia de aislamiento a un minuto de iniciado el ensayo.

El estándar 43-2000 del IEEE [1] establece el nivel de aislamiento mínimo corregido a 40 °C, así como la tensión de prueba a ser aplicada de acuerdo a la tensión nominal de la máquina rotativa (Tabla 1).

Tipo de motor	Resistencia de aislamiento
Bobinado antes de 1970	> 1 MΩ + 1MΩ/kV
Bobinado después de 1970	> 100 MΩ
Bobinado preformado y armaduras de CC	> 5 MΩ
Tensión nominal del motor	Tensión de prueba
Menos de 1,000 V	500 V
1,000 V a 2,500 V	500 a 1,000 V
2,501 V a 5,000 V	1,000 a 2,500 V
5,001 V a 1,2000 V	2,500 a 5,000 V
12,000 V a más	5,000 a 10,000 V

Tabla 1. Valores mínimos seguros recomendados para máquinas rotativas. Fuente: IEEE Std 43-2000 (R2006) [1].

### Corriente de absorción

De acuerdo a las premisas dadas para el modelamiento matemático, se determina el valor de la corriente de absorción para el tiempo  $t_1$  = un minuto después de iniciado el ensayo. Con ese valor se calcula el índice:

$$I_A = \frac{I_{abs}}{V_{prueba} \cdot C_{material}} \quad (4)$$

Donde:  $I_A$ : índice para evaluar el aislamiento en función de la corriente de absorción;  $I_{abs}$ : corriente medida a un minuto de iniciado el ensayo corregida a 20 °C (mA);  $V_{prueba}$ : tensión de prueba (V); y  $C_{material}$ : capacitancia del material (F).

La valoración numérica se indica en la Tabla 2:

Valor (mA V <sup>-1</sup> F <sup>-1</sup> )	Estado del aislamiento
>7	Malo
4 - 7	Pobre
2 - 4	Cuestionable
<2	Adecuado

Tabla 2. Valoración del aislamiento por corriente de absorción. Fuente: Guía de pruebas de diagnóstico de aislamiento a tensiones superiores a 1 kV [2].

### Corriente de conducción

En este caso también se calcula de la misma manera que el índice para la corriente de absorción:

$$I_c = \frac{I_{cond}}{V_{prueba} \cdot C_{material}} \quad (5)$$

Donde:  $I_c$ : índice para evaluar el aislamiento en función de la corriente de conducción;  $I_{cond}$ : corriente medida a un minuto de iniciado el ensayo corregida a 20 °C (mA),  $V_{prueba}$ : tensión de prueba (V);  $C_{material}$ : capacitancia del material (F). La clasificación numérica se presenta en la Tabla 3.

Valor (mA V <sup>-1</sup> F <sup>-1</sup> )	Condiciones del aislamiento
>20	Anomalía, aislamiento contaminado
2 - 20	Si en la siguiente prueba aumenta en 50% indica anomalía
0.3 - 2	Si en la siguiente prueba aumenta en 100% indica anomalía
<0.3	Aislamiento bueno

**Tabla 3.** Valoración del aislamiento según la corriente de conducción. Fuente: Manual de equipos eléctricos primarios Endesa-Chile [5].

### Índice de absorción

Brinda información respecto a la pendiente de la curva de carga y está dado por la relación entre la corriente de absorción a los 30 y 60 segundos de iniciado el ensayo.

$$IA = \frac{I_{abs30s}}{I_{abs60s}} \quad (6)$$

La valoración numérica se muestra en la tabla 4:

Valor	Condicion del aislamiento
<1.1	Peligroso
1.1 – 1.3	Cuestionable
1.3 – 1.4	Confiable
>1.4	Bueno

**Tabla 4.** Valoración de la condición del aislamiento de acuerdo al Índice de absorción. Fuente: Métodos de medición de aislamientos. Instrucción técnica de ABB [6]

### Índice de polarización

Es una relación de dos corrientes, la primera medida a un minuto de iniciado el ensayo y la segunda a los diez. El índice de polarización se expresa de la siguiente manera:

$$IP = \frac{I_{1min}}{I_{10min}} \quad (7)$$

Este cociente da una idea sobre el grado de contaminación del material aislante y la escala numérica adoptada para su evaluación se muestra en la Tabla 5:

Valor	Condicion del aislamiento
<1	Aislamiento pobre
1 – 2	Aislamiento cuestionable
2 – 4	Aislamiento confiable
>4	Aislamiento bueno

**Tabla 5.** Valoración de la condición del aislamiento por índice de polarización. Fuente: Guía de pruebas de diagnóstico de aislamiento a tensiones superiores a 1 kV [2].

Asimismo, se deben tener en cuenta las recomendaciones del estándar IEEE 43-2000, referidas a la evaluación del material de acuerdo a la clase de aislamiento, que se exponen en la Tabla 6.

Valor	Condicion del aislamiento
Clase A	>1.5
Clase B	>2
Clase F	>2
Clase H	>2

**Tabla 6.** Valoración de la condición de acuerdo al Índice de polarización según la clase de aislamiento. Fuente: IEEE Std 43-2000 (R2006) [1].

Si bien, valores por encima de 4 pueden representar un aislamiento en buenas condiciones, también pueden indicar la presencia de grietas o zonas quebradizas en el aislamiento [1], si el valor aumenta en más del 20% de un ensayo a otro sin haber realizado mantenimiento alguno.

### Implementación de la prueba

Para las mediciones llevadas a cabo durante la prueba se utilizaron un medidor de aislamiento estándar (megóhmetro) y un multímetro capaz de medir capacitancia [7]. El proceso consiste en medir el aislamiento en cada fase en tiempos predefinidos de 30, 60, 190 y 600 segundos a una tensión establecida según la norma IEEE Std 43-2000: Resistencia de aislamiento e índice de polarización (maquinas nuevas y usadas) y de acuerdo al esquema general presentado en la Figura 3.

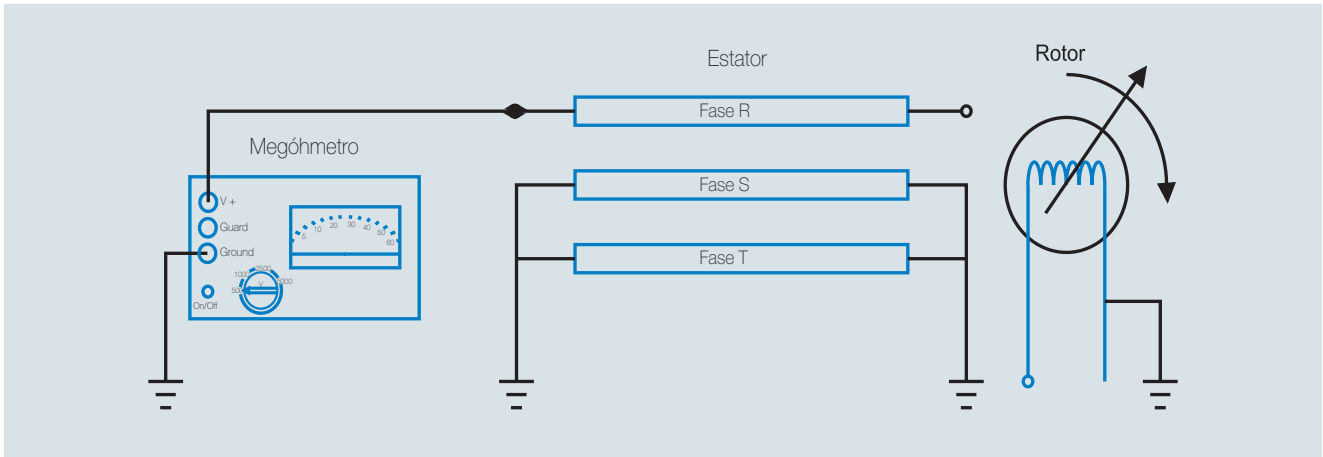


Figura 3. Esquema de conexiones.

Las resistencias obtenidas se utilizan para el cálculo de las corrientes respectivas, que debe considerar también la curva de carga y la resistencia interna propias del medidor de aislamiento dadas en los manuales de operación del equipo. Los valores a 30 y 60 segundos permiten calcular el índice de absorción, y los de 60 y 600 segundos, el índice de polarización. La resistencia

de aislamiento [1] es medida a 60 segundos. Finalmente, los valores de la corriente total a 60, 190 y 600 segundos sirven para calcular las corrientes de conducción y absorción mediante la aplicación de las ecuaciones (2) y (3). A manera de ejemplo, la Figura 4 muestra los datos recolectados con este método en un caso específico.

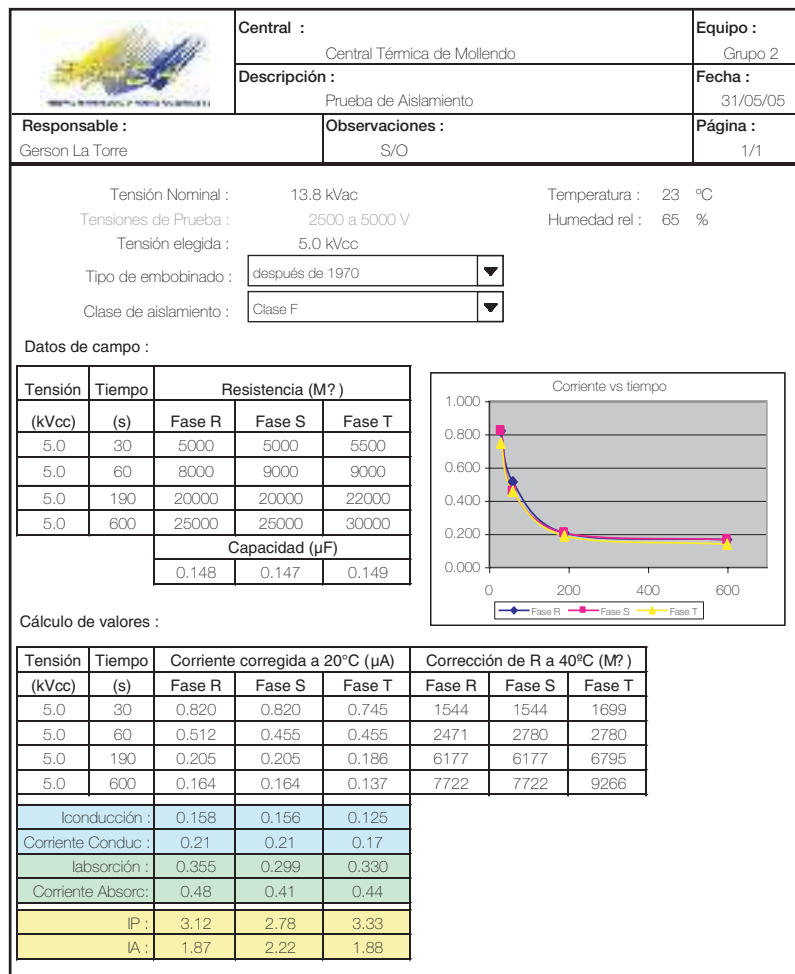


Figura 4. Protocolo de pruebas aplicando el método expuesto en la Central Termoeléctrica de Mollendo. Fuente: Departamento de mantenimiento térmico Egasa.

RESULTADOS

En las figuras 4 y 5 se muestran los valores de corriente de absorción y de corriente de conducción obtenidos de las pruebas realizadas en algunos generadores de la central térmica de Mollendo de Egasa (Mol 1, Mol 2) y de generadores

de las centrales eléctricas de Edegel (Hco 1, Hco 2, Hco 3, Mat 1, etc.)

Para efectos de análisis y comparación entre máquinas se toma como valor representativo el promedio de las fases a fin de evaluar la unidad como un todo en lo referente a las corrientes de absorción (en mA V<sup>-1</sup> F<sup>-1</sup>) y de conducción (en mA V<sup>-1</sup> F<sup>-1</sup>), considerando las valoraciones de la tabla 2 y tabla 3 respectivamente.

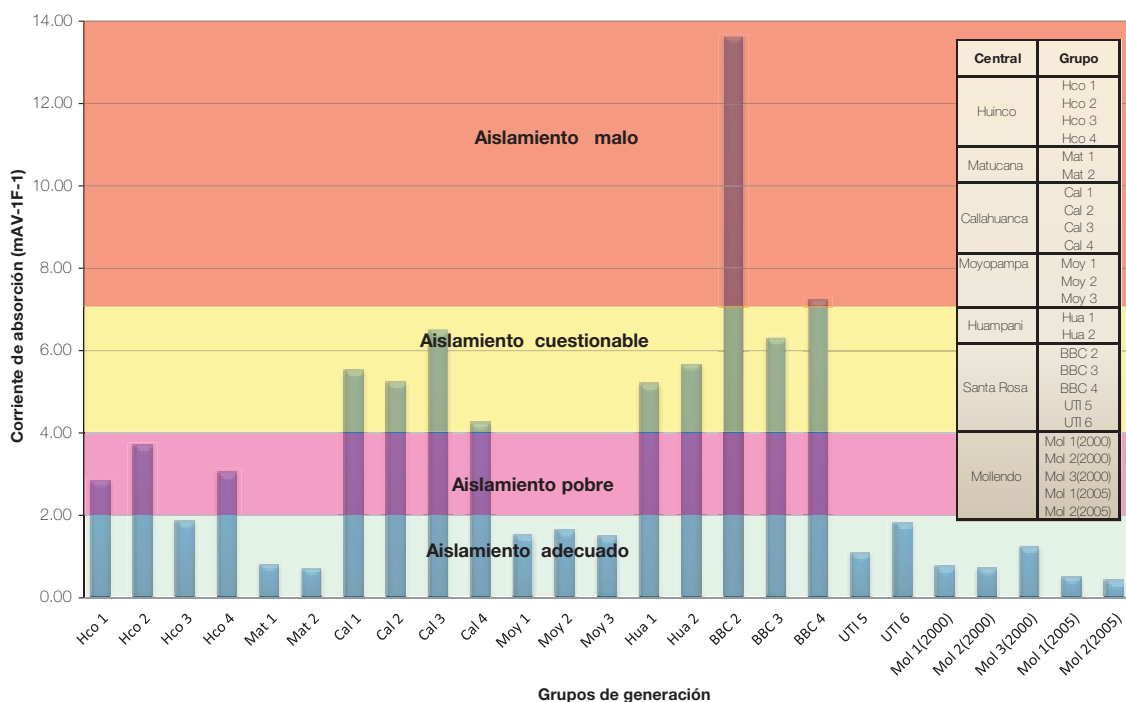


Figura 4. Evaluación del aislamiento eléctrico de grupos de generación en función de la corriente de absorción.

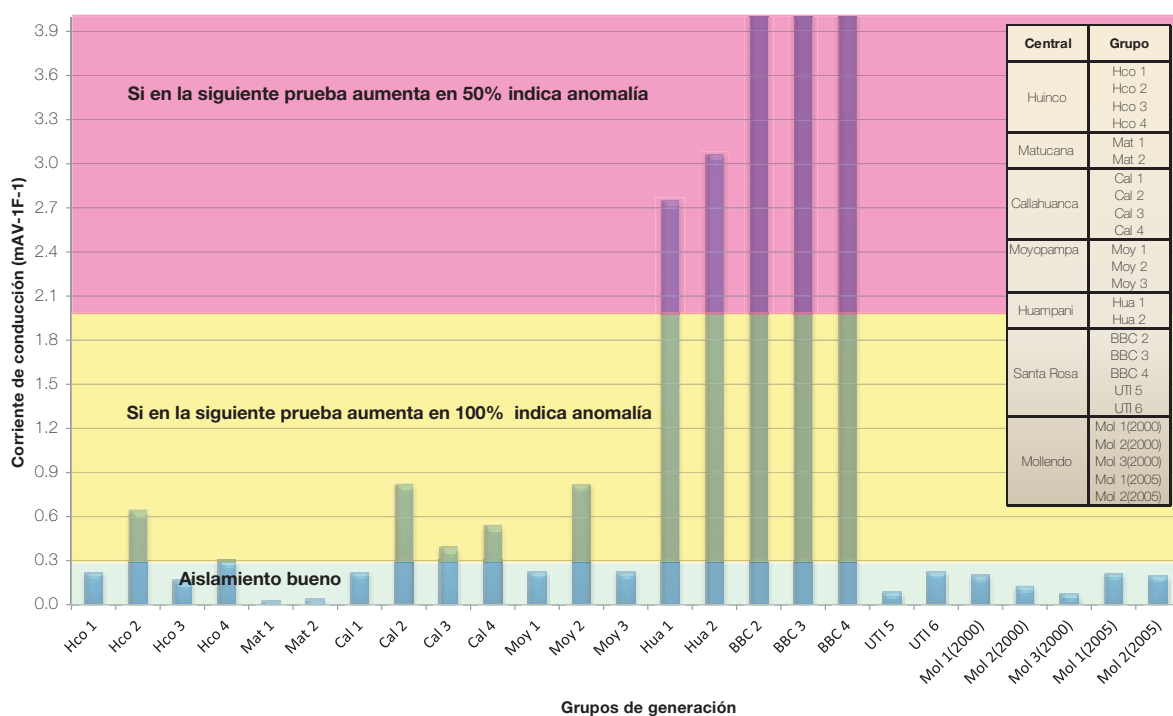


Figura 5. Evaluación del aislamiento eléctrico de grupos de generación en función de la corriente de conducción.

### Validación de los resultados

En noviembre del 2004, Egasa contrató un servicio por terceros (IEE Transmotor SAC) para el diagnóstico del aislamiento eléctrico de sus generadores, el cual incluyó las pruebas de

aislamiento, HI POT, factor de potencia y Surge. La Tabla 8 muestra los resultados de esas pruebas realizadas en los generadores de la central térmica de Mollendo.

	GRUPO 1			GRUPO 2			GRUPO 3		
	Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
<b>Prueba de Aislamiento</b>									
Resistencia de aislamiento 40°C@5030V	2345 @5010 V	2023 @5010 V	2144 @5010 V	2099 @5030	2126 @5030	2120 @5030	2099 @5030 V	2745 @5020V	2771 @ 5020V
Indice de absorcion	1.48	1.33	1.46	1.41	1.48	1.62	1.41	1.38	1.47
Indice de polarizacion	3.13	2.93	2.86	4.09	4.04	4.11	4.09	3.79	3.52
Resultado	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Prueba HI POT</b>									
Tension Escalon (Vdc)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tension Final (Vdc)	10020	10030	10010	10000	10020	10030	10010	10090	10030
Cte Fuga final (uA)	1.403	1.972	1.456	1.299	1.285	1.421	1.293	1.33	1.243
Perfil cte fuga	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Resultado	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
<b>Factor de Potencia</b>									
%FP (8kV)	1.57	1.56	1.56	1.61	1.62	1.58	1.69	1.69	1.68
Capacitancia a 8kV (uF)	0.14658	0.14646	0.14596	0.14703	0.1471	0.14692	0.14683	0.14618	0.14642
Tip Up	0.74	0.69	0.67	0.69	0.68	0.66	0.73	0.68	0.74
Resultado	Valores similares entre fases indica aislamiento aceptable. Valores Tip Up referenciales para otras pruebas			Valores similares entre fases indica aislamiento aceptable. Valores Tip Up referenciales para otras pruebas			Valores similares entre fases indica aislamiento aceptable. Valores Tip Up referenciales para otras pruebas		
<b>Prueba Surge</b>									
Tension de prueba		9850			9960V			9960V	
Desviacion EAR		4%			8%			8%	
Distorsion		Ninguna			Ninguna			Ninguna	
Resultado		Bueno			Bueno			Bueno	

**Tabla 8.** Pruebas de aislamiento realizadas por IEE Transmotor SAC en la C.T. Mollendo.  
**Fuente:** Servicio de diagnóstico de aislamiento eléctrico de generadores de EGASA 8.

El diagnóstico del grado de aislamiento de las unidades examinadas es favorable en todas las pruebas, según el informe presentado por el contratista [8]. Sin embargo, se observa un ligero compromiso del aislamiento por contaminación en el Grupo 1 evidenciado, principalmente, en el índice de polarización y la corriente de fuga final.

Asimismo, las pruebas de la calidad del aislamiento mediante el método aplicado en este trabajo fue realizado en el año

2000 sobre los mismos generadores, resultaron también en un diagnóstico positivo del nivel del aislamiento, con un ligero compromiso del Grupo 1 reflejado en el índice de polarización y la corriente de conducción.

En cuanto a las tendencias en el índice de polarización (según la Tabla 5) y la corriente de conducción, los resultados obtenidos con el método expuesto y los de la empresa IEE Transmotor SAC son similares (Figura 6 y Figura 7).



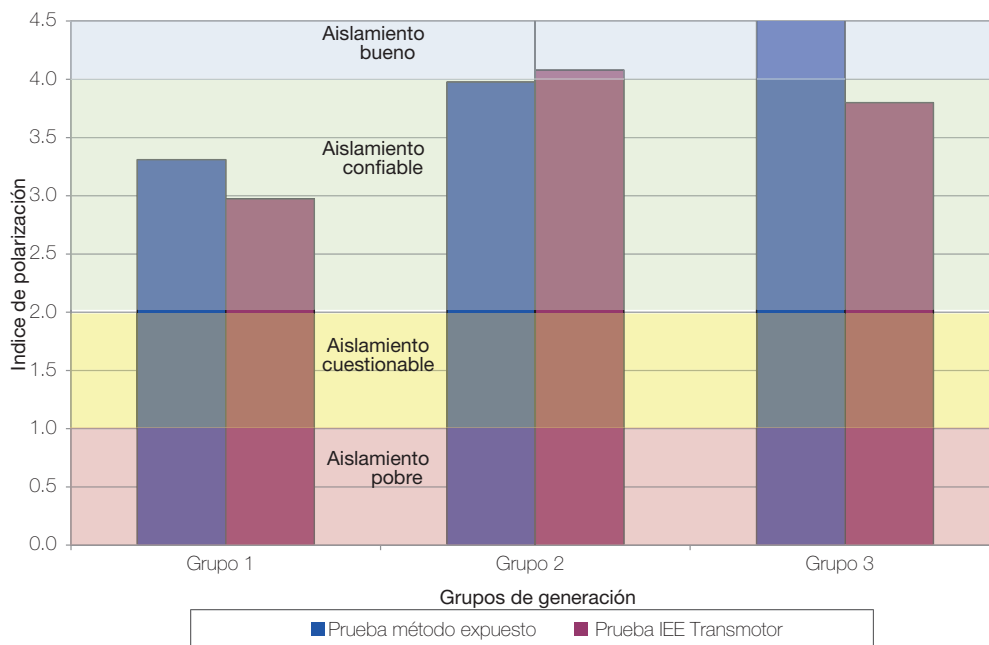


Figura 6: Comparación del índice de polarización entre el método expuesto y las pruebas realizadas por IEE Transmotor.

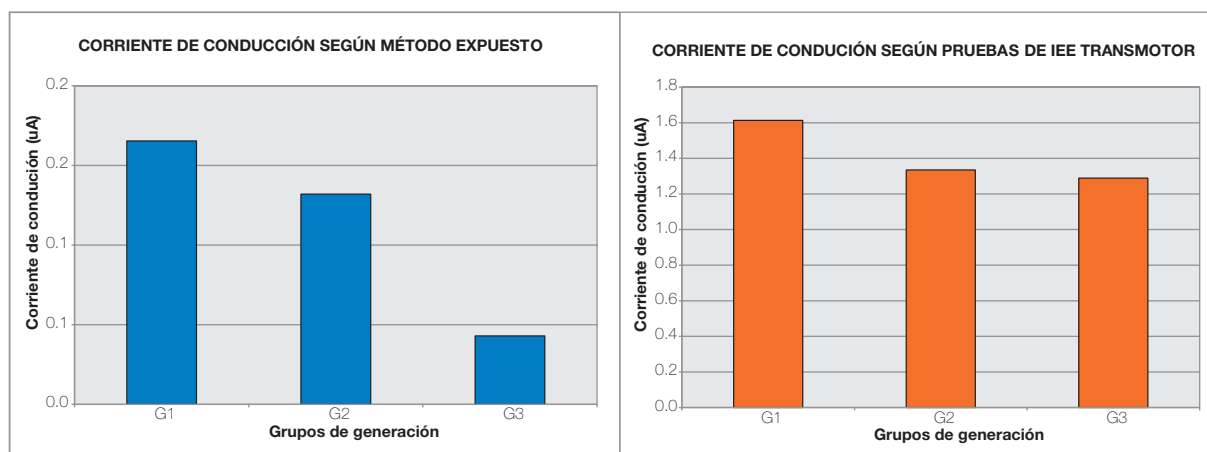


Figura 7: Comparación de las corrientes de conducción entre el método expuesto y las pruebas realizadas por IEE Transmotor.

Esta coincidencia de los diagnósticos del nivel de aislamiento obtenidos en las dos evaluaciones valida el método empleado en este estudio, el cual nos asegura un aceptable nivel de confianza. Además, garantiza un menor costo de implementación y la posibilidad de trabajar en condiciones de indisponibilidad de máquina relativamente bajo, esto último debido a que el propietario puede elegir el momento más oportuno desde el punto de vista económico para evaluar las máquinas.

Si se consideran los altos costos de servicio o adquisición de equipos para pruebas de evaluación del aislamiento en máquinas rotativas, este método práctico proporciona los elementos necesarios para una evaluación general del aislamiento a un costo relativamente bajo.

La prueba permite una intervención planificada, rápida y programada de las máquinas (desde el punto de vista técnico y económico), lo que reduce costos por indisponibilidad de máquina.

El monitoreo en el tiempo de los parámetros evaluados permite ampliar los criterios técnicos para la toma de decisiones en cuanto a la optimización de los programas de mantenimientos mayores o reemplazos de las máquinas.

## CONCLUSIONES

La comparación de los resultados del método expuesto con otros verifica su validez, al constatarse la coincidencia en la evaluación general y particularmente en las tendencias de inicios de degradamiento en las unidades intervenidas.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda poner a tierra los bobinados de fases por un periodo de 30 minutos antes de realizar el ensayo. Luego de probar una fase, colocar a tierra por un periodo igual a cuatro veces el tiempo que estuvo en prueba [1].

Las pruebas se deben realizar con un medidor de aislamiento con lectura analógica, debido a que el movimiento de la aguja proporciona información valiosa difícil de discernir en una pantalla LCD a dígitos. La velocidad y la deflexión de la aguja indican el estado del aislamiento y permiten tomar decisiones en cuanto a la suspensión del ensayo en salvaguarda del equipo en prueba.

Verificar la calidad del probador de aislamiento a través de la curva de tensión de salida versus resistencia de carga [9]. Un equipo de calidad tendrá una elevación rápida de la tensión seleccionada hasta un nivel de resistencia aceptable como buen aislamiento.

Verificar la corriente de cortocircuito en las especificaciones del medidor de aislamiento [10] para conocer la resistencia interna correspondiente a la tensión seleccionada, que permite realizar un cálculo más exacto de las corrientes.

Las pruebas periódicas en una máquina deben hacerse en lo posible bajo las mismas condiciones de temperatura, humedad y tensión aplicada. Las temperaturas deberían ser corregidas a una de referencia para las comparaciones. También debe asegurarse que, al momento de realizar la prueba, la temperatura esté sobre el punto de rocío para evitar la condensación.

Según las instalaciones y el tipo de máquina rotativa se deben tomar medidas de seguridad para la prueba y los equipos adyacentes, como bloqueo de equipos de maniobra, bloqueo de sistemas de protección eléctrica y sistema contra incendio, poner en cortocircuito y conectar a tierra los sensores de temperatura, o apagar el sistema de calefacción.

## REFERENCIAS

- [1] Electric Machinery Committee (Ed.) (2006). *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. IEEE Std. 43-2000(R2006)*. New York: IEEE - Power and energy society.
- [2] MEGGER (Ed.) (2002). *Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento a voltajes superiores a 1 kV*. España: Megger.

- [3] Callister, W. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverte.
- [4] Fink, D. & Beaty, H. (1996). *Manual de Ingeniería Eléctrica: tomo I*. (13a ed.) México DF: MCGRAW-HILL.
- [5] Endesa (Ed.) (1996). *Manual de equipos primarios MEE-C-4.2*. Santiago de Chile: ENDESA Chile.
- [6] ABB (ed.) (1994). *Instrucción Técnica, Métodos de Medición de aislamientos*. Madrid: ABB.
- [7] Piugmal, J. (1995). *Diagnóstico del estado del aislante en grandes máquinas eléctricas rotativas mediante el estudio de la capacidad del bobinado*. Recuperado de <https://goo.gl/RG59p1>.
- [8] IEE transmisor SAC. (2004). *Informe técnico ITM-44-04, Servicio de diagnóstico de aislamiento eléctrico a generadores de Egasa*. Arequipa: IEE transmisor SAC.
- [9] MEGABRÁS (Ed) (1999) *Megóhmetro electrónico Mi 10 kVé, Especificaciones técnicas e Instrucciones de uso*. Sao Paulo Brasil: MEGABRAS.
- [10] AEMC instruments (Ed) (1998). *Manual del Usuario Megóhmetro 5100*. Massachusetts: AEMC Instruments.
- [11] Stone G., Boulter E., Culbert I., Dhirani H. (2004). *Electrical Insulation for Rotating Machines*. New Jersey USA: IEEE Press.

## ACERCA DEL AUTOR

### Gerson La Torre García

Ingeniero electricista por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNSA). Egresado de la maestría en Turbomáquinas en la Universidad Nacional de San Agustín. Miembro activo de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) de las sociedades PES (Power and energy society) y DEIS (Dielectrics and Electrical Insulation Society). Asesor de la rama estudiantil del capítulo PES de la UNSA. Cuenta con veinte años de experiencia en mantenimiento y operación de centrales eléctricas. Ha laborado en el Departamento de Mantenimiento Térmico de Egasa, y actualmente trabaja en el Departamento del Centro de Control. Es catedrático adscrito al Departamento Académico de Ingeniería Eléctrica de la UNSA, en cursos de Sistemas de Potencia, Control de Sistemas de Potencia y Medidas Eléctricas.

 glatorreg@hotmail.com