

Control Predictivo Para la Detección de Alarmas en Pruebas de Aislamiento de Pértigas Utilizadas en Redes de Distribución.

Héctor Aníbal Tabares Ospina^{*a}, John William Branch Bedoya^b

(a) *Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia*

(b) *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.*

* *e-mail: hectortabares@itm.edu.co*

(Recibido: Abril 24 de 2008- Aceptado: Noviembre 24 de 2008)

RESUMEN

Este artículo presenta la automatización de las pruebas de aislamiento a pértigas utilizadas en redes de distribución y propone un sistema de mantenimiento predictivo. Para la implementación del prototipo, se utilizó un controlador lógico programable.

PALABRAS CLAVE: Lógica difusa, pértigas, redes de distribución.

Test of Isolation to Poles Used in Distribution Networks, Applying Predictive Control for Alarms Detection.

ABSTRACT

This article presents the test automation of isolation to poles used in distribution networks and proposes a system of predictive maintenance. The implementation of the prototype, was used a Programmable Logic Controller.

KEYWORDS: *Fuzzy logic, distribution networks.*

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta una propuesta para automatizar las pruebas de aislamiento que se realizan a pértigas utilizadas en redes de distribución, usando un sistema experto para la gestión de alarmas. La implementación del prototipo se realizó en el laboratorio de Alta Tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.

La primera parte de este trabajo hace una introducción al aislamiento eléctrico y las causas que producen su degradación. En la segunda parte, se estudia particularmente las pruebas de aislamiento en pértigas utilizadas en redes de distribución. Seguidamente se expone el sistema a automatizar, sus componentes, la gestión de alarmas, el prototipo propuesto para su tratamiento y las pruebas de validación realizadas. Para la implementación del prototipo se utilizó un autómatas programable. El artículo finaliza el artículo exponiendo las principales conclusiones obtenidas de este trabajo investigativo.

2. DIAGNÓSTICO DE AISLAMIENTO

Un detallado estudio sobre pruebas de aislamientos esta más allá del ámbito de esta unidad. Megger [1] ofrece un excelente tratamiento con referencias específicas. En esta sección se presenta una breve revisión con el fin de proporcionar un conocimiento básico sobre el asunto. El aislamiento eléctrico está caracterizado por la capacidad dieléctrica de los materiales aislantes para no permitir corrientes de fuga provocadas por la tensión a que está sometido el elemento. Depende principalmente de la tensión de operación, las condiciones ambientales de humedad, temperatura y sollicitaciones mecánicas que pueden producir desgaste y disminución de los espesores del material aislante al nivel de producir una descarga dieléctrica a través de él.

Existen cinco causas básicas para la degradación del aislamiento. Ellas interactúan una con otra y ocasionan una espiral gradual de declinación en la calidad de aislamiento. Se tiene:

- *Fatiga eléctrica:* Los sobre voltajes y los bajos voltajes ocasionan fatiga normal

dentro del aislamiento que puede conducir a agrietamiento y laminación del propio aislamiento.

- *Fatiga térmica:* condiciones excesivamente calientes o frías ocasionan expansión o sobre contracción del aislamiento que dará lugar a grietas y fallas.
- *Fatiga mecánica:* Resultado de golpes y vibraciones sobre el aislamiento.
- *Ataque químico:* La efectividad del aislamiento se reduce por vapores corrosivos, la suciedad y el aceite
- *Contaminación ambiental:* Abarca una multitud de agentes que van desde la humedad por procesos hasta la humedad del medio ambiente.

Se considera que el aislamiento ha fallado si no evita adecuadamente que la corriente eléctrica fluya por trayectorias indeseadas. Ello incluye el flujo de corriente a través de las superficies exterior (corriente de fuga superficial) e interior del aislamiento (corriente de conducción).

2.1 Corriente de fuga superficial.

La corriente de fuga superficial se presenta porque la superficie del aislamiento esta contaminada con humedad o sales. La corriente es constante con el tiempo y depende del grado de ionización presente, que depende a la vez de la temperatura. Por ejemplo, pueden aparecer en el aislamiento agujeros pequeños y grietas, o la humedad y materiales extraños pueden penetrar la superficie. Estos contaminantes se ionizan fácilmente bajo el efecto de un voltaje aplicado y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la corriente de fuga superficial que aumenta en comparación con superficies sin contaminar secas. Limpiando y secando el aislamiento, sin embargo, se rectificará fácilmente esta situación.

2.2 Efectos de la temperatura

Las variaciones de temperatura pueden tener un efecto crítico en las lecturas de resistencia de aislamiento. La resistencia para un mismo aislamiento cae marcadamente con un incremento en la temperatura y cada tipo de material aislante tiene un grado diferente de cambio de resistencia con la temperatura.

Una regla práctica experimental muestra que por cada 10 °C de incremento en temperatura, la resistencia se reduce a la mitad. Por cada 10 °C de disminución de la temperatura, la resistencia se dobla. Por ejemplo, una resistencia de 100 GΩ a 20°C se hace a 25 GΩ a 40°C.

2.3 Efectos de la humedad

La humedad tiene un efecto en la resistencia de aislamiento, pero no se puede cuantificar tan simplemente como la temperatura, debido a que los diferentes tipos de aislamiento absorben humedad a distintos grados. A diferencia de la temperatura, el efecto de la humedad no es un gradiente constante y en tanto la temperatura permanezca arriba del punto de rocío, la humedad no afectará en forma apreciable las lecturas de aislamiento.

El incremento de humedad en el aire del entorno (ambiente) puede afectar la resistencia del aislamiento a distintos grados. Si el aislamiento opera regularmente arriba de la temperatura del punto de rocío, las lecturas de la prueba no serán afectadas por la humedad. Aún si el elemento que se va a probar está en vacío, no se afecta en tanto su temperatura se mantenga arriba del punto de rocío (y las superficies del aislamiento estén libres de contaminantes tales como ciertas pelusas y ácidos o sales, que tienen la propiedad de absorber la humedad).

En las pértigas, la preocupación principal es la condición de la superficie expuesta donde se condensa la humedad y afecta la resistencia total del aislamiento. Los estudios muestran sin embargo, que el rocío se forma en las grietas y huecos del aislamiento antes de que sea evidente en la superficie. Las mediciones del punto de rocío proporcionarán una pista de si tales condiciones invisibles pudiesen existir y alterar los resultados.

Los efectos de la humedad requieren mayor atención conforme crecen los voltajes de prueba porque los voltajes altos pueden dar lugar a la ionización mucho más fácilmente que los bajos voltajes.

3. PRUEBAS DE AISLAMIENTO A PÉRTIGAS.

Las pértigas o varas aisladas para operar con tensión, poseen excelentes cualidades de aislamiento eléctrico. Se construyen de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (FRP, por sus siglas en inglés) mediante varios métodos. Entre ellas se incluyen las pértigas tubulares rellenas con espuma que se utilizan donde se requiere resistencia mecánica. Otras aplicaciones pueden utilizar piezas tubulares huecas. Ambos tipos constructivos cumplen con la Norma ASTM-F711 [2] para FRP o tubos usados en herramientas para trabajo con tensión.

Otros tipos de pértigas son:

- Pértiga de Gancho Retráctil, es una herramienta muy versátil porque garantiza la distancia de seguridad y aislamiento necesario en el mantenimiento en instalaciones eléctricas. Es fabricada con tubos de fibra de vidrio, impregnada de resina epoxy y rellena con espuma de poliuretano. El proceso de fabricación proporciona a las pértigas una altísima resistencia mecánica, así como una excelente rigidez dieléctrica, características esenciales que cumplen rigurosamente con las normas ASTM-F711 y IEC-855[3].
- La Pértiga Soporte de Conductor tienen diversas aplicaciones, entre ellas, mover y mantener conductores energizados alejados del área de trabajo. Están construidas con tubos según los estándares ASTM F711 y IEC-61855[4].
- Las Pértigas Eslabón de Rodillo, son utilizadas para separar conductores y mantenerlos alejados hacia un lado en la mitad del vano con ayuda de una soga puesta en el anillo. Las pértigas eslabón de tensión son utilizadas en estructuras de retención como aislamiento entre los aparejos de soga y las mordazas.

3.1 Montaje de prueba

El Probador de pértigas que se encuentra en el laboratorio de Alta Tensión de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, ofrece una manera conveniente de probar herramientas de líneas vivas. Consisten en una fuente de alto voltaje,

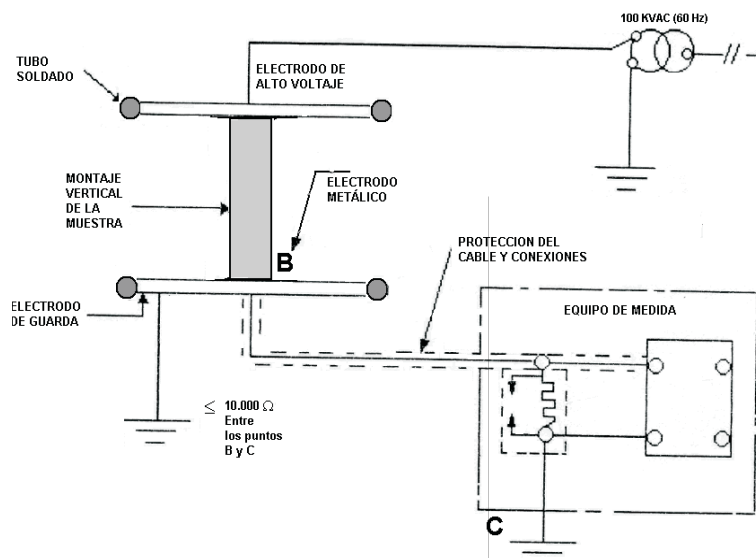


Fig. 1. Configuración conjunta del montaje de prueba.

un medidor amplificador de alta ganancia, un juego de electrodos y un área metalizada para protección. La figura 1 describe, en forma general, el montaje para las pruebas de tensión sostenida en seco y bajo condiciones de humedad.

El equipo de medida debe estar al menos a 1,8 metros del electrodo de Alto Voltaje. La pértiga se monta verticalmente a 0,9 metros sobre el nivel del piso en un soporte aislado.

La fuente de alto voltaje pone 100 kV a través de los dos electrodos centrales con los dos electrodos exteriores conectados a tierra. El electrodo exterior sirve para proteger los electrodos interiores y para evitar que el operador afecte inadvertidamente la lectura del medidor.

Al colocar una herramienta en el probador, el medidor lee solamente el incremento en la corriente de fuga debido a la presencia de la herramienta. Esto da una indicación inmediata de la condición de la pértiga pues todas las demás corrientes (en el aire, internas a los probadores, etc.) han sido nulificadas.

3.2 Probador de resistencia de aislamiento en pértigas.

Con el objeto de apoyar el instructivo para el desarrollo de pruebas de aislamiento realizadas a pértigas utilizadas en redes de distribución, se

describe a continuación el procedimiento aplicado a tubos y varillas aislantes rellenos de espuma aislante y fabricadas con FRP (Fiberglass-Reinforced Plastic) según la norma internacional que ampara el ensayo de varas dieléctricas ASTM F71 (Medios de protección eléctricos, tubos aislantes rellenos de espuma, tubos huecos y pértigas aislantes macizas), que son destinados al uso como herramientas de mantenimiento en línea viva. Se remite al lector consultar la norma F711-89 para especificaciones detalladas. Las guías para el examen, limpieza, reparación y pruebas en servicio de otros tipos de herramientas de línea viva están contenidas en [5].

Preparación de la muestra:

- El dieléctrico a probar debe tener una longitud de 9300 m.m.
- Antes de iniciar la prueba, la muestra debe ser limpiada con un solvente de manera que no queden residuos en la superficie.
- Todas las pruebas al dieléctrico de la muestra deben ser hechas sin exponerla a condiciones de humedad.
- Después de limpiar la muestra, se coloca en el probador 24 horas antes de ejecutar las pruebas, y bajo las siguientes condiciones: La resistencia de

aislamiento es altamente dependiente de la temperatura y por tanto los resultados deben corregirse a una temperatura [21-24] °C y humedad relativa de al menos 93%.

Método de prueba:

- Inspección visual: Observe el material con el fin de comprobar defectos en su superficie, por ejemplo, evidencias de partículas, burbujas de aire y cuerpos extraños. Si se encuentra algún defecto o contaminación que pudiera afectar adversamente las cualidades aislantes o la integridad mecánica de la herramienta de línea viva, deberá repararse o ser permanentemente removida del servicio. Por ejemplo, pueden aparecer en el aislamiento agujeros pequeños y grietas, o la humedad y materiales extraños pueden penetrar la superficie. Estos contaminantes se ionizan fácilmente bajo el efecto de un voltaje aplicado y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la corriente de fuga superficial que aumenta en comparación con superficies sin contaminar secas. Limpiando y secando el aislamiento, sin embargo, se rectificará fácilmente esta situación.

- Comprobación de aislamiento eléctrico: Las pruebas de aislamiento deben estar diseñadas para proteger al operario y proporciona los medios confiables para conectar y poner a tierra el circuito de alto voltaje.

- Durante la ejecución de la prueba no debe haber signos de descargas disruptivas.

Diseño eléctrico de la prueba:

- Se aplica el voltaje de 100 kV r.m.s. entre los electrodos según el método de prueba ASTM D 149 [6], con un máximo incremento de voltaje pico de 3 kV/s. La corriente que pasa sobre o a través del dieléctrico es calculada en valores rms por medio de una resistencia conocida.

- La I_1 es la corriente del dieléctrico medida con un voltaje alterno de 100 kV rms a 60 Hz aplicado entre los electrodos durante 60 segundos.

- Con el propósito de continuar la evaluación aplicando tensión bajo humedad relativa, limpie la muestra con un paño seco. Programe la humedad y bajo las mismas condiciones de voltaje, frecuencia

y tiempo ilustradas anteriormente, ejecute la prueba y registre la corriente del dieléctrico I_2

- La corriente I_1 medida debe ser menor a los valores nominales (Véase tabla 1). La diferencia entre I_1 y I_2 debe ser menos de 20 μ A

Tabla 1. Corriente de dispersión

TIPO	DIAMETRO EXTERIOR		CORRIENTE DE DISPERSIÓN
	in	(mm)	μ A
TUBO	1	25.4	5
	1 ¼	31.8	6
		38.1	8
	1 ¾	44.5	9
	2	50.8	10
	2 ½	63.5	12
	3	76.2	14
VARILLA	3/8	9.5	6
	1/2	12.7	6
	5/8	15.9	6
	3/4	19.1	6

- Durante la ejecución de la prueba, no deberán detectarse signos de descargas disruptivas, marcas, erosión sobre la superficie o cambios perceptibles de temperatura en la muestra. Sin embargo, se debe recordar que una prueba de sobre voltaje puede llevar a una falla catastrófica si se rompe el aislamiento.

- La pértiga es aprobada sólo si superan los dos ensayos eléctricos anteriormente ilustrados, sin que se detecten puntos calientes.

Secuencia de aplicación de voltaje de prueba:

La aplicación de voltaje en la prueba de tensión sostenida a pértigas, se realiza conforme se describe en la figura 2.

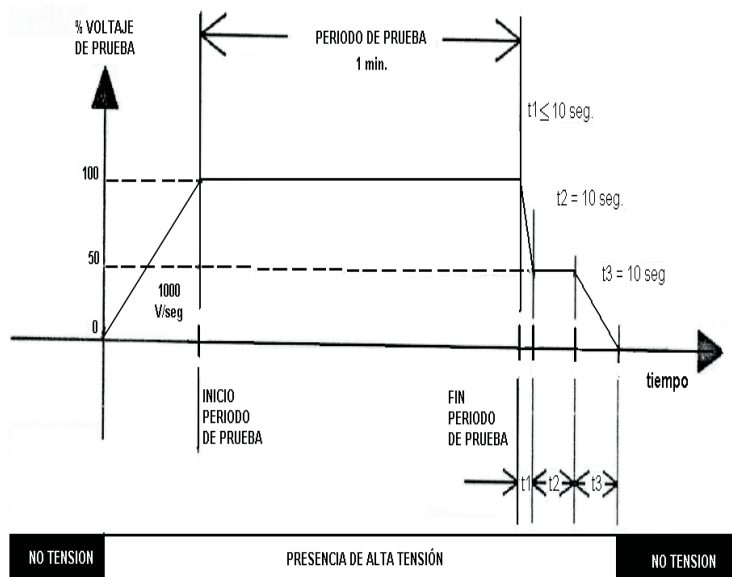


Fig. 2. Secuencia de aplicación de voltaje de prueba (tensión sostenida)

El procedimiento de prueba de tensión sostenida a pértigas utilizadas en redes de distribución, está diseñado para verificar la integridad de la herramienta en toda su longitud y, si esta hecha de plástico reforzado con fibra de vidrio, su integridad bajo condiciones de humedad. La prueba es como se presenta seguidamente:

1- *Aplicar tensión constante a 1kV hasta 100 kV:* Puesto que el aislamiento bueno es resistivo, un incremento en el voltaje de prueba conducirá a un incremento en la corriente mientras la resistencia permanece constante.

Cualquier desviación de esto podría significar aislamiento defectuoso. Con voltajes de prueba más bajos, 500 V o 1000V, es bastante posible que estos defectos no se observen, pero conforme se eleva el voltaje se llega a un punto donde tiene lugar la ionización dentro de las grietas o las cavidades, lo que da por resultado un incremento de la corriente, y por tanto una reducción de la resistencia de aislamiento. Nótese que no es necesario llegar al voltaje de diseño del aislamiento para que estos defectos se hagan aparentes, puesto que se busca simplemente la ionización en el defecto.

Un procedimiento normal reconocido por los expertos en el tema consiste en incrementar el voltaje en cien pasos, cada uno de 1 kV por segundo y registrar la resistencia del aislamiento final en cada nivel. Cualquier reducción marcada o inusual de resistencia es una indicación incipiente de debilidad.

- 2- *Sostener tensión durante 1 minuto*
- 3- *Disminuir tensión al 50% en 10 segundos:* Decrementar el voltaje en 10 pasos, cada uno de 5 kV
- 4- *Sostener tensión durante 10 segundos.*
- 5- *Disminuir tensión hasta 0% en 10 segundos:* Decrementar el voltaje en 10 pasos, cada uno de 5 kV.
- 6- *Desmontar la muestra y comenzar el proceso de absorción de humedad.*

El resumen de los anteriores pasos se describe en el siguiente pseudocódigo.

Inicio Funcion Prueba de Aislamiento

Aplicar tensión constante a 1kV/s hasta 100 kV.

Si(Disrupción) Entonces

Registrar tensión y tiempo.

Diligencie protocolo de pruebas

SiNo

Sostener tensión durante 1 minuto.

Si(Disrupción) Entonces

Registrar tensión y tiempo.

Diligencie protocolo de pruebas

SiNo

Disminuya tensión al 50% en 10 segundos.

Sostener tensión durante 10 segundos

Disminuya tensión hasta cero en 10 segundos

Diligencie protocolo de pruebas

FinSI

FinSi

Fin Funcion Prueba de Aislamiento

4. AUTOMATIZACION PRUEBA DE AISLAMIENTO.

Con el propósito de automatizar las pruebas de aislamiento en el laboratorio del Alta Tensión del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, se propuso un automatismo aplicando el sistema híbrido entre un Controlador

lógico y Predictivo, el primero para operar la ejecución de las diferentes etapas de la prueba y el segundo para el tratamiento de alarmas.

4.1 Panel de mando

Está formado por los siguientes elementos, como se ilustra a continuación:

- Pulsador Inicio de Prueba (PIP).
- Pulsador Fin de Prueba (PFP).
- Pantalla Digital: Tiempo
- Pantalla Digital: Voltaje
- Luz Piloto de estado 1. Aplicando tensión a razón de 1 kV/s hasta 100 kV.
- Luz Piloto de estado 2. Sosteniendo tensión durante 60 segundos.
- Luz Piloto de estado 3. Disminuyendo tensión al 50 % en 10 segundos.
- Luz Piloto de estado 4. Sosteniendo tensión durante 10 segundos.
- Luz Piloto de estado 5. Disminuyendo tensión al 0% en 10 segundos.
- Luz Piloto de estado 6. Fin de la prueba.
- Luz Piloto señal de disrupción (LPD).
- Luz Piloto señal de sobre corriente (LPSC).
- Luz Piloto señal se encuentra próximo el voltaje de ruptura (LPR).
- Luz Piloto indicadora de Arco demasiado pequeño (LPA).
- Luz Piloto indicadora de aislamiento aprobado (LPAA).

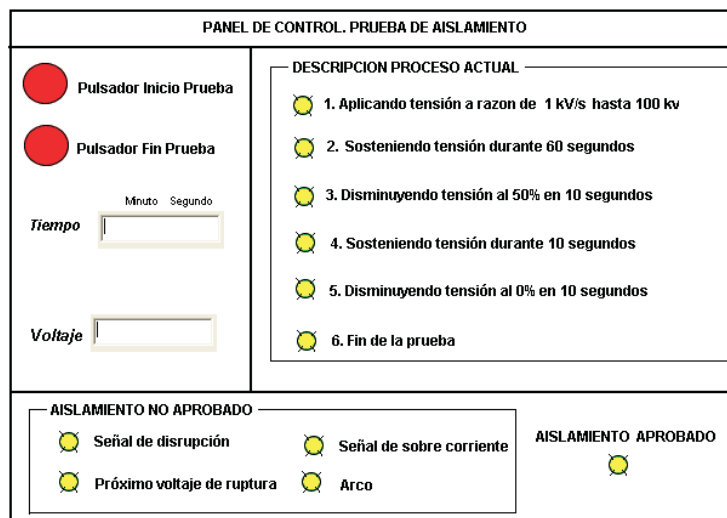


Fig. 3. Panel de control.

4.2 Gestión de Alarmas

Las situaciones en las que se debe producir una alarma en el sistema son:

- Si durante la prueba se detecta disrupción, el sistema debe encender una luz piloto (LPD) con frecuencia de 1 Hz, indicando que el material no es aprobado.
- Si durante la prueba se detecta que la corriente del dieléctrico I_1 es mayor que dos veces el valor nominal, el sistema debe encender una luz piloto (LPSC) con frecuencia de 1 Hz, indicando que el material no es aprobado.
- Conforme se incrementa el voltaje de prueba y el objeto en estudio se aproxima a la ruptura, la descarga por efecto corona hará que el último dígito significativo presente cierta fluctuación, lo que indica al operador que la pértiga se está acercando al voltaje máximo que resiste. Ésto sucede a tiempo para terminar la prueba antes de que ocurra la ruptura real y el posible daño. El sistema debe encender una luz piloto (LPR) con frecuencia de 1 Hz, indicando que el material está próximo a la ruptura.
- Si la pantalla digital avanza y retrocede alternativamente, podría indicar un arco en el objeto bajo prueba, demasiado pequeño para ocasionar la desconexión del probador. El sistema debe encender una luz piloto (LPA) con frecuencia de 1 Hz. Tal información ayuda al operador a determinar algún problema.
- Si al finalizar la prueba no se activó ninguna de las anteriores señales de alarma, el sistema debe encender una luz piloto (LAOK) con frecuencia de 1 Hz, indicando finalización de la prueba y aprobación del material analizado.

4.3 Arquitectura gestión de alarmas.

Este sistema inteligente ha sido diseñado para monitorizar y analizar diversos tipos de fuentes de información, es decir, medidas recibidas de forma

continua y automática a través de un sistema de adquisición de datos de sensores instalados en el laboratorio de Alta Tensión.

Todos estos datos son analizados por medio del uso de modelos de comportamiento normal implantados principalmente mediante un modulo experto [7], [8], [9]. Los modelos funcionan de tal forma que cada uno predice la evolución de sus variables de salida en función de la evolución de sus variables de entrada, en condiciones consideradas como habituales o de funcionamiento normal de la prueba de aislamiento [10]. A partir de estos modelos de comportamiento normal de los componentes del laboratorio, se puede detectar anomalías o desviaciones entre el comportamiento real y el esperado como normal para las condiciones de trabajo existentes. Si se detecta alguna anomalía, el módulo experto de diagnóstico es activado y emite una serie de diagnósticos y acciones de mantenimiento a realizar [11], [12] de acuerdo a la anomalía detectada. Este módulo Experto de Diagnóstico está basado en conceptos de representación del conocimiento e inferencia en una base de reglas.

Una vez que el problema ha sido identificado, el sistema adaptará las acciones de mantenimiento de acuerdo a esta situación atendiendo criterio de tipo técnico, es decir, relativo al estado de salud del dieléctrico, criterios económicos y otros denominados criterios de oportunidad. En este sentido, los resultados que proporcionan son: Diagnostico de fallas y acciones de mantenimiento que corrigen o eliminan las anomalías detectadas.

Para el caso particular de las pruebas de aislamiento, se presenta la estrategia de gestión de alarmas, acotándolo a las tareas de detección de anomalías y diagnóstico incipiente de fallos, como se ilustra en la Tabla 2

4.4 Implementación del prototipo

Para la implementación del prototipo, se utilizó el software de programación para los autómatas *Zelio* de *Schneider Electric*® [13]. Permite simular el funcionamiento de los programas sin necesidad de disponer del PLC.

Tabla 2. Base de reglas del controlador borroso

<p>REGLA 1: SI(Disrupción) Entonces DIAGNÓSTICO: Material no aprobado por Disrupción</p> <p>MANTENIMIENTO: Reemplazar el elemento aislante.</p> <p>FinSI</p>
<p>REGLA 2: SI (SobreCorriente) Entonces DIAGNOSTICO: Material no aprobado por sobre corriente</p> <p>MANTENIMIENTO: Reemplazar el elemento aislante.</p> <p>FinSI</p>
<p>REGLA 3: SI (Prueba próxima a voltaje de ruptura) Entonces DIAGNOSTICO: Terminar prueba</p> <p>MANTENIMIENTO: Reemplazar el elemento aislante.</p> <p>FinSI</p>
<p>REGLA 4: SI (Arco) Entonces DIAGNOSTICO: Arco demasiado pequeño para ocasionar la desconexión del probador</p> <p>MANTENIMIENTO: Determinar prueba.</p> <p>FinSI</p>

La programación se puede hacer en modo contactos (LD) o funciones lógicas (FBD). Además, permite introducir los programas dibujándolos mediante el editor o a través de un interfaz que simula el aspecto físico de la controladora Zelio elegida.

A continuación se ilustra la definición de variables de entrada analógico/digital, salidas, etapas del proceso a automatizar y su respectivo diagrama en escalera.

La corriente I_1 e I_2 medidas deben ser menores a dos (2) veces los valores nominales. La diferencia entre I_1 e I_2 debe ser menos de 20 μ A

Tabla 3. Entradas digitales.

Entrada Digital	Nombre	Comentario
I1	PIP	Pulsador Inicio de Prueba
I2	PFP	Pulsador Fin de Prueba
I3	Fc1	Fin de carrera 1. Voltaje = 100 kV
I4	Fc2	Fin de carrera 2. Vol taje = 50 kV
I5	Fc3	Fin de carrera 3 Voltaje = 0 kV
I6	SD	Señal de disrupción
I7	SAE	Señal Arco Eléctrico

Tabla 4. Entrada analógica escalada entre 0 y 10 Volt.

Entrada Analógica	Parámetro
A1	Corriente de dispersión I_1, I_2

Tabla 5. Marcas y Salidas digitales.

Marca	Salida Digital	Comentario
M2	Q1	Aplicando tensión constante de 1kV/s hasta 100 kV
M3	Q2	Sostener tensión durante un minuto (ST, 1 min)
M4	Q3	Disminuya tensión al 50 % en 10 seg.
M5	Q4	Sostener tensión durante 10 seg.
M6	Q5	Disminuir tensión al 0% en 10 seg.
M7	Q6	Fin de la prueba
M9	Q7	Aislamiento aprobado.
MB	Q8	Aislamiento No aprobado. Disrupción
MD	Q9	Aislamiento No aproba do. Sobrecorriente
MF	QA	Aislamiento No aprobado. Posible pequeño Arco eléctrico

4.5 Diagrama funcional Grafcet pruebas de aislamiento

En las figuras 4 y 5 se muestran las etapas en que está dividido el diagrama GRAFCET que se implementó en el autómata y las acciones a realizar en cada una. También se especifican las condiciones de transiciones entre las etapas.

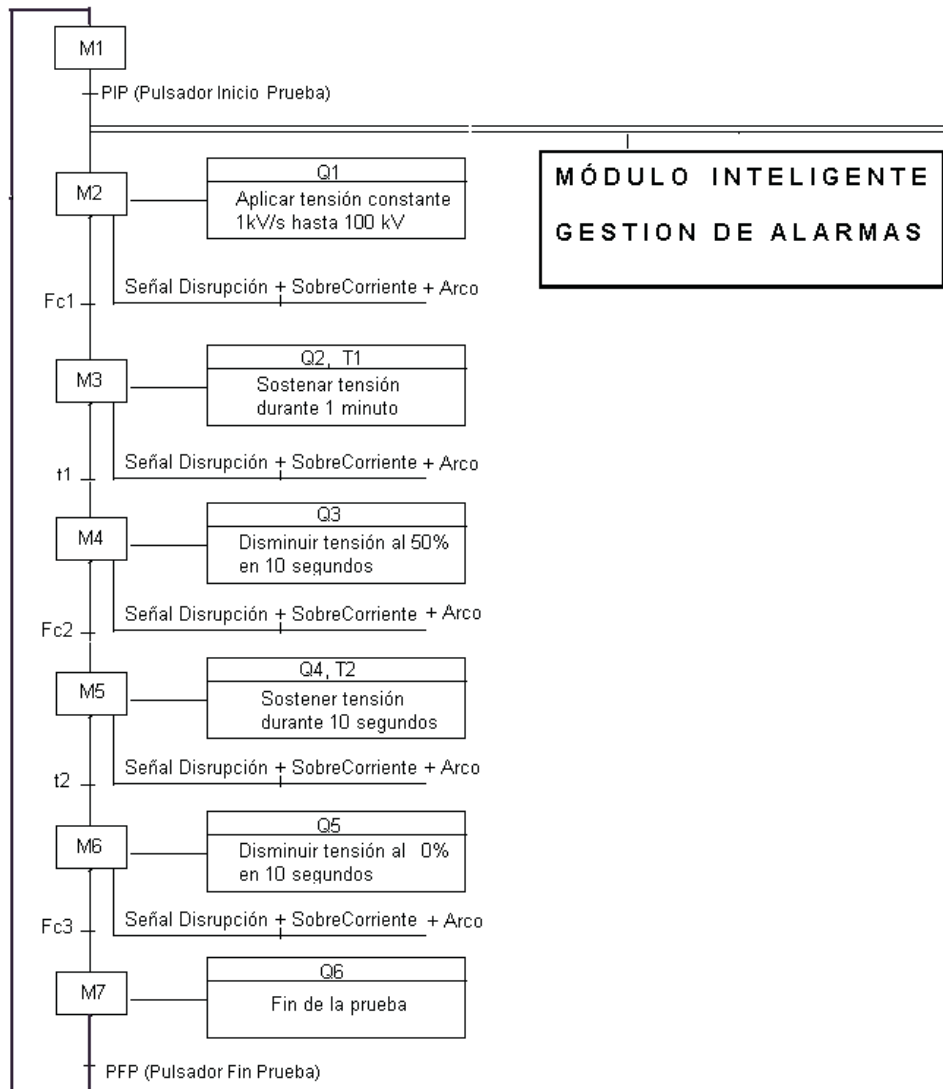


Fig. 4. Diagrama General GRAFCET Nivel 1

4.6 Pruebas diagnóstico de aislamiento.

El procedimiento de pruebas a pértigas utilizadas en redes de distribución estimula eléctricamente el aislamiento y miden la respuesta que conlleva a conclusiones sobre su estado.

Con el propósito de validar el correcto funcionamiento del sistema propuesto en este artículo, se realizaron pruebas de aislamiento a dos pértigas (A y B). Ambas del tipo Tubo y con un diámetro exterior de 25,4 mm, con una corriente de dispersión de 5 μ A.

Como se explica en [1], las pértigas A y B (figuras 6 y 7) muestran una resistencia de aislamiento alta. Sin embargo, cuando se examina la tendencia, la pértiga B ha estado alrededor del mismo valor por vario años y muestra todos los prospectos de continuar en las mismas condiciones en los siguientes años. Adicionalmente, tiene una tendencia casi plana y consistente, lo que indica que la calidad del aislamiento es probablemente aceptable. Por el contrario, la curva de la pértiga A se está clavando rápidamente y el aislamiento fallará si no se hace nada para evitarlo en los próximos años.

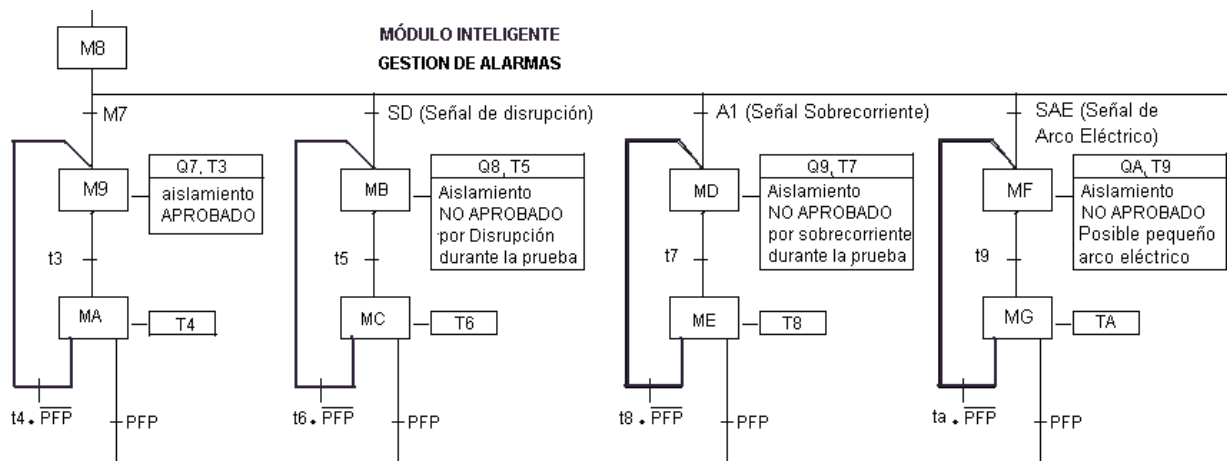


Fig. 5. Diagrama GRAFCET Nivel 1. Módulo Inteligente detección y diagnóstico de anomalías.

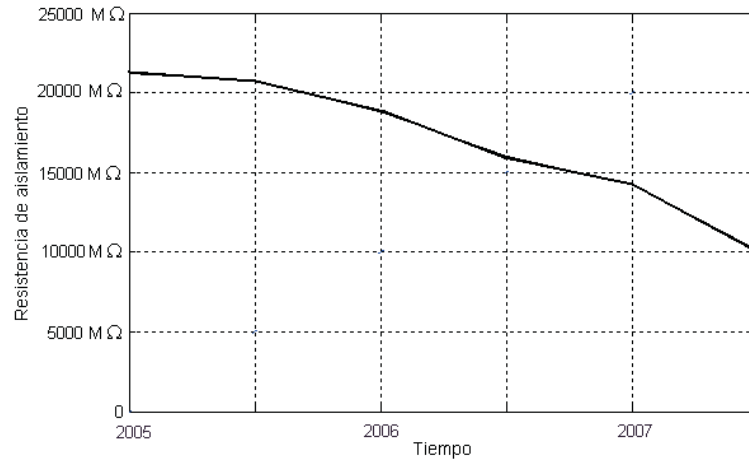


Fig. 6. Tendencia del aislamiento en la pértiga A.

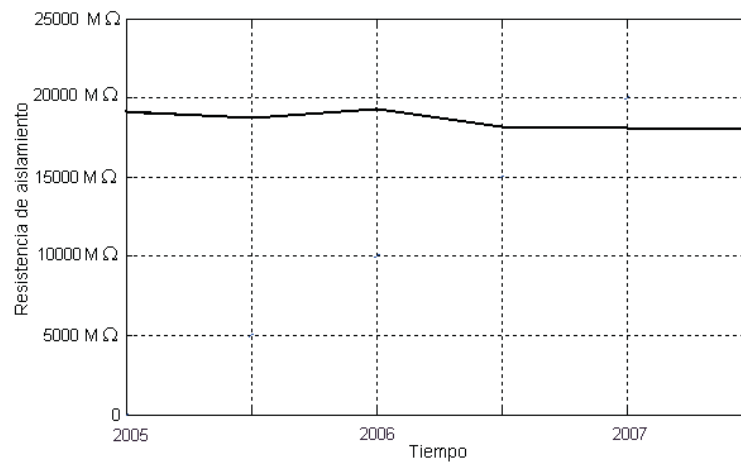


Fig. 7. Tendencia del aislamiento en la pértiga B.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo consiste en automatizar las pruebas de aislamiento a pértigas que se realiza en el laboratorio de Alta Tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, aplicando control predictivo para la detección de alarmas.

Se diseñó el control de acuerdo a una evaluación cuantitativa del estado de salud de las componentes. El módulo experto para la gestión de alarmas, detecta dinámicamente las irregularidades que se presentan en las pruebas, informa del evento y propone acciones de mantenimiento.

Para la implementación del prototipo, se utilizó el software de programación para los autómatas *Zelio* de *Schneider Electric*. El análisis de los resultados obtenidos por medio del simulador software demuestra que la implementación cumple con los requerimientos planteados en la etapa de análisis de requisitos.

Con respecto a las pruebas realizadas sobre diagnóstico de aislamientos en pértigas, la información importante a analizar es la tendencia de las lecturas en un periodo de tiempo, que pueden mostrar reducción de la resistencia y, por lo tanto, advertencia de problemas venideros [14], [15]. Por tanto, y como según se explica en [1] las pruebas periódicas (mensual, semestral, anual, etc) son críticas en el mantenimiento preventivo de las pértigas, las cuales deben hacerse del mismo modo cada vez y al alrededor de la misma temperatura. El registro de la humedad relativa cerca de la pértiga en el momento de la prueba es útil para evaluar la lectura y la tendencia puesto que las temperaturas bajas y la humedad alta podrían sugerir condensación de la superficie del aislamiento. Por esta razón, es esencial asegurar que la pértiga que se va a probar esté a una temperatura en exceso del punto de rocío, puesto que de otra manera se formará condensación que distorsionará las lecturas.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta sección reconoce la ayuda del señor profesor M.Sc. Luis Fernando Gallego, Titular del

programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Antioquia, por su asistencia, sugerencias e ideas para explicar las pruebas de aislamiento.

Se agradece a los revisores del artículo las constructivas sugerencias realizadas sobre el mismo.

7. REFERENCIAS DE NORMAS, SITIOS DE INTERNET Y BIBLIOGRÁFICAS

[1] MEGGER. “*Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento*”. <http://www.megger.com> . Acceso 9 de Julio de 2007.

[2] ASTM F711-89: *Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic Rod and Tube Used in Live Line*, The American Society for Testing and Materials, 1989, p.p 401-409.

[3] IEC-855: *A new dielectric type test procedure for live working tools*. High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467) Volume 1, 1999, p.p 25–28

[4] IEC-61855: *Household electrical hair care appliances .- Methods of measuring the performance*. International Standard. First Edition, 2003, p.p 1–5.

[5] IEEE Standard 978. *Guide for In-Service Maintenance and Electrical Testing of Live-Line Tools*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1984

[6] ASTM D 149-97. *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies*. ASTM International, 1997.

[7] Verbruggen, H. y Babuska, R, “*Fuzzy Logic Control: Advances in Applications*”. World Scientific. Singapore, 1999.

[8] Hilera J. “*Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones*”. AlfaOmega, MADRID 2000. p.p.132-153.

- [9] Martín del Brio. B y Sans A. “*Redes Neuronales y Sistemas Difusos*”. AlfaOmega, MADRID 2002, p.p 241-349.
- [10] R. Iserman, “*Process fault detection based on modelling and estimation methods*”, Automática, Vol. 20, pp 387-404, 1984
- [11] J. Rasmusen, “*Diagnostic reasoning in action, IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics*”, vol, 23, pp 981-992, 1993.
- [12] L. C. Lavalle, R. Sanz, M. Palacios, SEDIMAHE: “*An Expert System to Help the Maintenance of Machina Tools*”, Maintenace 92, vol. 8, pp. 10-14, 1993.
- [13] ZELIOSOFT: *Schneider Electric – Telemacanique*: <http://www.schneiderelectric.es/>. Acceso 26 de Febrero de 2007.
- [14] S. Grzybowski, y X. Li, “*Critical Flashover Voltage by Fiberglass Distribution Line Pole*”. In Proc. of the International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM 2000). p.p 350-353.
- [15] IEEE Standard 1024. “*Recommended Practice for Specific Distribution Composite Insulator*”, 1988, p. 1024.