



# Remodelación del probador de aceites WPOT 0.25/75

Ignat Pérez  
Juan A. Almirall

Recibido: Julio del 2005  
Aprobado: Septiembre del 2005

## Resumen / Abstract

El objetivo fundamental de este trabajo es el rediseño del probador de aceites WPOT 0.25/75. Para esto fue necesario rediseñar completamente todo su sistema de control y de protección pues el original además de estar constituido sobre la base de válvulas de vacío, no funcionaba ya que presentaba fallas en los soportes aislantes de las mismas, fallas de dichas válvulas y fallas en la placa aislante que sirve de soporte a los componentes de los mecanismos de protección y control. Para solucionar estos problemas se diseñó un sistema de control con tiristores para la protección del equipo sustituyéndose por completo el obsoleto sistema de control a válvulas, lográndose un sistema de control seguro, confiable y de fácil operación como para ser operado por personal con pocas habilidades.

Palabras clave: probador de aceites, aislamiento, transformadores

*The main objective of this paper is to remodel the WPOT 0.25/75 oil tester equipment. The original equipment was made with vacuum valves, coupled on an insulated support. This equipment presented several electrical failures on the insulated support and in the vacuum valves. In order to solve this problem, a new control and protecting system, using tiristor, was designed. With this new design it was possible to use this oil tester again. Moreover, the design offers better and new operating options useful for some special interesting tests.*

*Key words: oil tester, vacuum valves, tiristor*

## INTRODUCCIÓN

Las pruebas a los aceites aislantes<sup>1</sup> proporcionan información relativa a la calidad de estos, indicando sus condiciones químicas, mecánicas y eléctricas, así como una proyección de los efectos que la condición del aceite puedan aportar al sistema de aislamiento. Dichas pruebas están predeterminadas y procesadas bajo estándares y métodos reconocidos internacionalmente (ANSI, ASTM, ICE, etc.) que en conjunto proporcionan la información óptima (técnica y económica) necesaria para determinar la calidad del aceite y sus efectos en el sistema de aislamiento.

Una de las pruebas fundamentales que se le realiza a los aceites aislantes es la determinación de su rigidez dieléctrica;<sup>2</sup> la cual consiste en aumentar la tensión entre dos electrodos sumergidos en aceite dentro de una copa de porcelana hasta que ocurra la ruptura dieléctrica del mismo.

La rigidez dieléctrica de los aceites aislantes se ve afectada por el contenido de impurezas, entre las que se destacan el agua, las partículas de carbón, gases productos de las descargas y de la oxidación, fibras de celulosa, etc. Estas impurezas usualmente causan una disminución en la rigidez dieléctrica del líquido.

En el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) existían varios equipos destinados a realizar estas pruebas, pero fueron presentando dificultades hasta quedar totalmente en desuso por lo que se planteó la necesidad no solo de reactivarlos, sino también de adecuarlos a los requerimientos del centro.

### **CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROBADOR DE ACEITES**

El probador de aceites portátil alemán, tipo WPOT 0.25/75 fue diseñado para realizarle pruebas de rigidez dieléctrica a aceites aislantes utilizados en los equipos como aislamiento.

### **DATOS GENERALES**

- Tensión de alimentación: 220 V de corriente alterna (CA).
- Potencia de entrada: 500 VA.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Temperatura ambiente: de 5 °C a 40 °C.
- Máxima humedad relativa: 80 %.
- Máxima potencia de salida: 250 VA.
- Tensión de salida: de 0 a 75kV de CA.
- Dimensiones (largo X ancho X altura): 470mm X 365mm X 355mm.
- Peso 52 kg.
- Velocidad de variación de la tensión: 2kV/s.

### **PROBLEMAS FUNDAMENTALES DEL PROBADOR DE ACEITES**

Los equipos de este modelo que existen actualmente en el CIPEL han presentado las siguientes dificultades:

1. Fallas mecánicas en el engranaje del sistema motorreductor.
2. Fallas en los soportes aislantes de las válvulas de vacío.
3. Fallas de las válvulas de vacío.
4. Fallas en la placa aislante que sirve de soporte a los componentes de los mecanismos de protección y control.

Las fallas mecánicas son fácilmente corregibles construyéndose engranajes metálicos. Sin embargo, las fallas en el sistema eléctrico no es posible repararlas debido fundamentalmente a la no existencia de válvulas de vacío de repuesto ni de los soportes de las mismas. Todo esto trae como consecuencia la imposibilidad de usar estos equipos en el centro, tanto para pruebas como para fines docentes.

Además, este equipo por sus características de operación no se ajusta a los requerimientos de las pruebas que se les realiza a los materiales aislantes

líquidos en los laboratorios docentes para apreciar los efectos de los agentes contaminantes, tales como agua en suspensión y materiales fibrosos; y tampoco el efecto de la variación de la velocidad de incremento de la tensión de ruptura.

Teniendo en cuenta estas deficiencias desde los puntos de vista técnico y docente, se procedió a la remodelación integral del equipo.

### **CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO REMODELADO**

Teniendo en cuenta las deficiencias señaladas anteriormente al probador de aceites portátil alemán, tipo WPOT 0.25/75 y los objetivos que se plantean en este trabajo, se decidió rediseñar un equipo para que cumpla los siguiente requisitos:

1. Añadir al equipo un sistema de alimentación variable de CA con la finalidad de poder variar la velocidad de subida de la tensión según las necesidades específicas de la prueba que se trate.

2. Diseñar un sistema de control con tiristores para la protección del equipo y sustituir por completo el sistema de control a válvulas.

3. Diseñar un sistema de control seguro, confiable y de fácil operación como para ser operado por personal con pocas habilidades.

### **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN VARIABLE DE CORRIENTE ALTERNA**

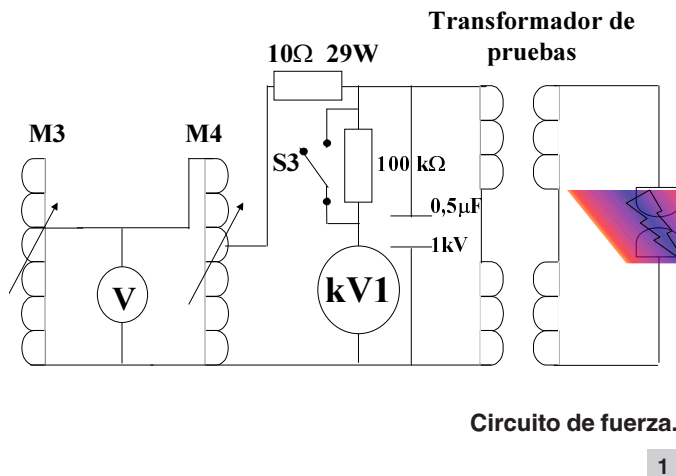
La razón de crecimiento de la tensión aplicada a la muestra a prueba depende de dos aspectos:

- La velocidad del sistema motorreductor.
- La magnitud de la tensión de alimentación al autotransformador variable(M4) que alimenta al transformador de pruebas.

Al no poseer controladores de velocidad para motores monofásicos, se decidió controlar la velocidad variando la magnitud de la tensión de alimentación del autotransformador variable M4; para esto se le adició al sistema de pruebas un autotransformador variable (M3) a través del cual se alimenta el autotransformador variable(M4), tal como se muestra en la figura 1.

Fijando la tensión que se desea en el autotransformador variable (M3), y manteniendo fija la alimentación al sistema motorreductor se puede controlar según se necesite la razón de crecimiento de la tensión de prueba, con el único inconveniente de que la tensión máxima de salida entre los electrodos de prueba disminuye en proporción con la disminución de la tensión que le queda aplicada al

autotransformador variable (M4); sin embargo, en la mayoría de las pruebas, reduciendo la tensión máxima que puede alcanzar el equipo entre los electrodos de prueba hasta un 50 % se logra la ruptura de la muestra; además, para las actividades docentes este aspecto es de primordial importancia para que el alumno pueda ver el desarrollo del fenómeno de la ruptura provocado por el agua y(o) partículas fibrosas en suspensión que constituye uno de los experimentos para los que está diseñado este equipo.



### SISTEMA DE CONTROL DE SUBIDA Y BAJADA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL EQUIPO

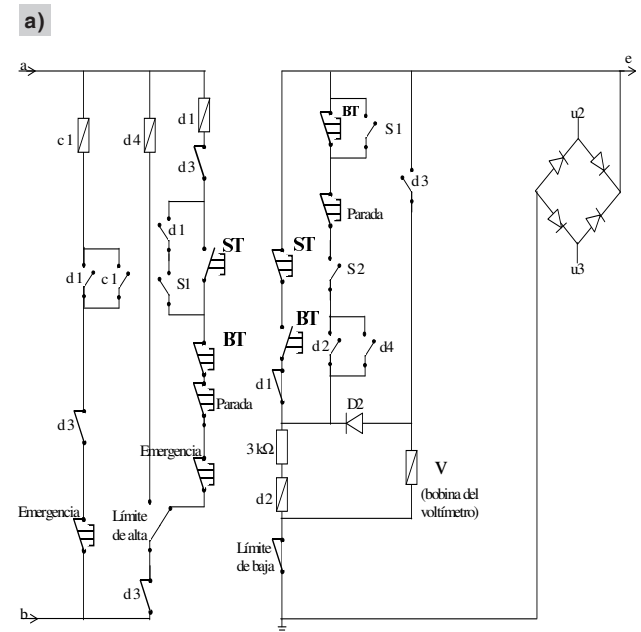
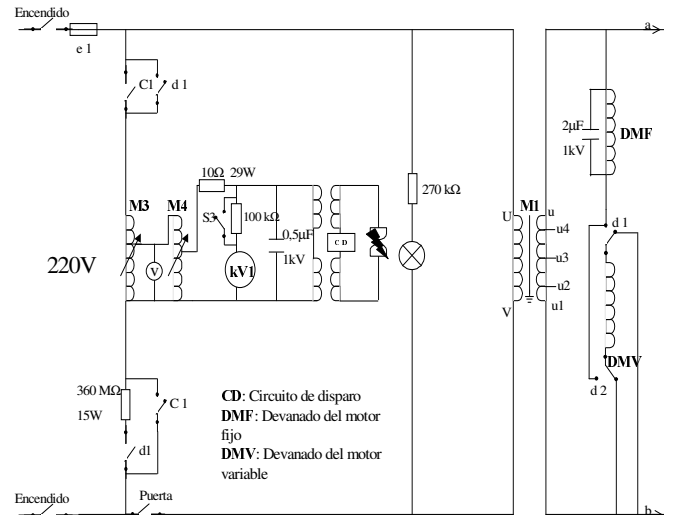
Para lograr los objetivos propuestos, se diseñó para el equipo un sistema de control (figura 2), el cual permite las siguientes condiciones de operación:

1. Controlar la variación de la tensión de alimentación del transformador de alta tensión en un rango de 0 a 220 V la que puede ser de las siguientes formas:

- Control automático completo.
- Control automático parcial.
- Control manual.

2. Garantizar la protección contra sobrecorrientes mediante un circuito que opera en el momento de ocurrir la ruptura eléctrica del material a prueba y que a su vez realiza las siguientes funciones:

- Fija la tensión a que ocurre dicha ruptura.
- Desconecta el circuito de fuerza.
- Invierte el sentido de rotación del sistema motorreductor llevando el autotransformador (M4) que alimenta al transformador de alta tensión a la posición de cero.



**Circuito de control: a) Fuerza, motor y encendido; b) Bobinas y botoneras.**

### 2 CIRCUITO DE CONTROL. CONTROL AUTOMÁTICO COMPLETO

En esta opción, la tensión se puede variar desde cero hasta su valor máximo, y al alcanzarse este valor retorna automáticamente a cero. En este caso la operación es como sigue:

Cuando se energiza el equipo por medio del interruptor de encendido (IE), el circuito de control queda listo para comenzar a operar.

Para esta opción es necesario colocar el interruptor S1 en la posición indicada en el equipo como **automática** y el interruptor S2 en la posición indicada en el equipo como **inversión instantánea**.

Al oprimir el botón pulsador de subida ST se energiza el relé auxiliar d1, el que se sella por medio de un contacto suyo normalmente abierto y con un contacto normalmente cerrado bloquea la operación del relé auxiliar d2, y queda así alimentado el motor con los devanados conectados para que este gire en el sentido de subir tensión.

Al arribar el autotransformador M4 a su punto máximo y por ende a la máxima tensión de salida, un aditamento mecánico del mismo acciona el interruptor límite de alta (LA), desenergizando el relé auxiliar d1 y energizando el relé auxiliar d4 y mediante un contacto normalmente abierto suyo, se energizará el relé auxiliar d2, el que se sella por medio de un contacto suyo normalmente abierto, quedando así alimentado el motor con los devanados conectados para que este gire en el sentido de disminuir tensión, comenzando así la disminución de la tensión de salida, y cuando el autotransformador M4 llega a su valor mínimo y por ende la tensión de salida llega a cero, un aditamento mecánico del mismo acciona el interruptor límite de baja (LB) desenergizando el relé auxiliar d2 quedando así desconectado el motor.

### CONTROL AUTOMÁTICO PARCIAL

En esta opción, la tensión se puede variar desde cero hasta su valor máximo, y al alcanzarse este valor, el motor se detiene y el retorno a cero es de forma manual.

Para esta opción es necesario colocar el interruptor S1 en la posición indicada en el equipo como automática y el interruptor S2 en la posición indicada en el equipo como inversión manual.

En este caso, la operación es igual que en el caso de control automático completo hasta que el autotransformador M4 arribe a su punto máximo. Entonces, cuando se desee que el sistema motorreductor comience a girar en el sentido de disminuir la tensión de salida se puede dejar el interruptor S2 en la posición indicada en el equipo como **inversión manual**, o colocarlo en **inversión instantánea**. En el primer caso, para que el sistema motorreductor comience a girar en el sentido de disminuir la tensión de salida será necesario pulsar el botón para bajar tensión (BT), mediante el cual se energizará el relé auxiliar d2, pero este no se sellará, y por lo tanto, para que el motor se mantenga girando es necesario mantener oprimido dicho botón.

Para el segundo caso, al pulsar el botón BT, mediante el cual se energizará el relé auxiliar d2, el cual se sellará y el sistema motorreductor comenzará a girar en el sentido de disminuir la tensión de salida igual que en el control automático completo.

En ambos casos cuando el autotransformador M4 llega a su valor mínimo y por ende a la tensión de salida

llega a cero, un aditamento mecánico del mismo acciona el interruptor límite LB desenergizando el relé auxiliar d2 quedando así desconectado el motor.

### CONTROL MANUAL

En esta opción, la variación de la tensión desde cero hasta su valor máximo y su retorno a cero es **de forma manual**.

Para esta opción es necesario colocar el interruptor S1 en la posición indicada en el equipo como **manual**.

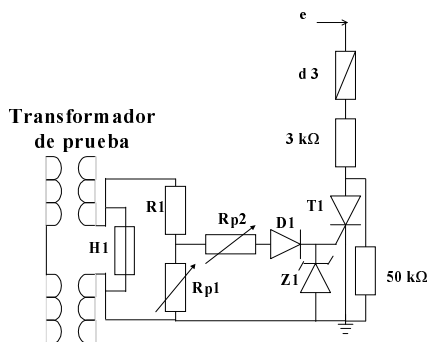
Si el equipo se encuentra en el modo de variación manual, para variar la tensión desde cero hasta su valor máximo es necesario pulsar el botón de subir tensión (ST), mediante el cual se energizará el relé auxiliar d1, pero este no se sellará y por lo tanto para que el motor se mantenga girando es necesario mantener oprimido dicho botón.

Cuando el autotransformador M4 arriba a su punto máximo y por ende a la máxima tensión de salida, un aditamento mecánico del mismo acciona el interruptor límite LA, desenergizando el relé auxiliar d1, independientemente de que esté oprimido el botón ST, deteniéndose el sistema motorreductor. Entonces para disminuir la tensión es necesario oprimir el botón BT y mantenerlo oprimido, pues en esta opción no se sella el relé auxiliar d2; y al llegar el autotransformador M4 a su punto mínimo, un aditamento mecánico del mismo acciona el interruptor límite LB desenergizando el relé auxiliar d2, independientemente de que esté oprimido el botón BT, deteniéndose el sistema motorreductor.

### CIRCUITO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES

Este sistema se logra mediante un circuito ajustable conectado entre los dos devanados que componen el lado de alta del transformador de alta tensión. Dicho circuito se representa en la figura 3.

A partir de un valor de corriente dado, la caída de tensión en la resistencia ajustable RP1 es tal que provoca el disparo del tiristor T1 a través del cual se energiza el relé auxiliar d3, desconectándose la bobina del contactor magnético de fuerza C1, ya que un contacto normalmente cerrado de d3 se encuentra en serie con dicha bobina. Además, se energizan la bobina del relé auxiliar d2 para hacer que el motor se mueva en el sentido de llevar el autotransformador variable M4 a la posición de cero tensión y el relé de tensión que fija la aguja del voltímetro; esto se logra, pues un contacto normalmente abierto de d3 se encuentra en serie con dichas bobinas. El ajuste de la corriente de disparo se realiza mediante las resistencias ajustables RP1 y RP2. Todo el sistema en su conjunto se encuentra protegido por el descargador gaseoso H1.



Circuito de protección contra sobrecorrientes.

3

## AJUSTE DEL CIRCUITO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES

Para ajustar el circuito de disparo se hace circular por los dos devanados que componen el lado de alta del transformador de alta tensión, una corriente determinada, y mediante el ajuste de los potenciómetros RP1 y RP2 se logra la condición de conducción de tiristor T1.

Como este circuito trabajará en condiciones de cortocircuito súbito; cuando se trabaje a las tensiones más altas, se pueden producir caídas de tensión peligrosas en este sistema, para lo cual se protege con un descargador gaseoso H1 situado en paralelo con el mismo y al tiristor se le brinda protección adicional mediante un diodo zener Z1 a fin de limitar la tensión máxima que puede quedar aplicada entre sus terminales, compuerta y cátodo.

## SISTEMA DE MEDICIÓN DE TENSIÓN

El sistema de medición de tensión consta de dos partes fundamentales:

- Sistema de medición de baja tensión.
- Sistema de medición de alta tensión.

### Sistema de medición de baja tensión

El sistema de medición de baja tensión está constituido por un voltímetro (V1) de escala de 0 a 250V conectado a la salida del autotransformador variable M3.

### Sistema de medición de alta tensión

El sistema de medición de alta tensión no fue concebido para medir tensión directamente en los terminales donde se encuentran los electrodos usados para las pruebas, sino que por el contrario, este sistema mide la tensión en los terminales de baja tensión del transformador de alta tensión. Esto es posible, pues se tiene en cuenta que hasta que no ocurra la ruptura dieléctrica del aceite aislante a prueba, las corrientes que circulan por los devanados del transformador son muy pequeñas, pudiéndose considerar que el transformador está en vacío y por lo tanto se puede conocer el valor de la tensión del transformador por el lado de alta, si se mide la tensión por el lado de baja y se usa la relación de transformación del transformador.

Para esto se utilizó un voltímetro (kV1) con una escala de 0 a 220 V, la que ha sido cambiada por una de 0 a 75 kV con la relación 75000/220.

Para poder tener una mejor precisión en las mediciones para tensiones menores a 37,5 kV, la resistencia multiplicadora del galvanómetro del instrumento que era de 200 kΩ se dividió en dos resistencias de 100 kΩ cada una; con lo cual al cortocircuitar una de ellas por medio de interruptor S3, el rango de medición de la escala deja de ser de 0 a 75 kV para ser de 0 a 37,5 kV, por lo que para este último caso la lectura del voltímetro debe dividirse por dos.

Además, este voltímetro cuenta con un electroimán que fija la aguja de medición por medio de un hilo. Este proceso ocurre en el momento de la ruptura dieléctrica del material bajo prueba y es accionado por el mismo mecanismo que acciona el relé auxiliar d3 como se describió con anterioridad. La aguja se mantiene fija debido a la acción del hilo que manipula el electroimán hasta que el autotransformador variable M4 llegue a la posición de mínimo y en ese momento se abre el interruptor límite LB, que se encuentra acoplado a dicho autotransformador, desenergizándose el electroimán y este a su vez libera la aguja del voltímetro kV1.

## CONCLUSIONES

El equipo fue diseñado persiguiendo un objetivo más general que una simple prueba de rigidez dieléctrica, pues además de poder ser usado perfectamente para pruebas normales con solo fijar la tensión de alimentación a 220V; los cambios efectuados al sistema de control y protección son aplicables a cualquier equipo de este tipo que se encuentre roto por alguno de los defectos eléctricos señalados, sustituyéndole sus condiciones de operación y diseño y dándole mayor versatilidad en cuanto a las variaciones específicas de las distintas normas.

## REFERENCIAS

1. Clark, Frank M.: *Insulating Materials for Design and Engineering Practice*, John Wiley and Son, 1962.
2. Almirall, Juan L.: *Temas de Ingeniería Eléctrica*, t. I, Ed. Félix Varela, Ciudad de La Habana, 2004.

## AUTORES

### Ignat Pérez Almirall

Ingeniero Electricista, Instructor, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:ignat@electrica.cujae.edu.cu

### Juan A. Almirall Mesa

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias, Profesor Auxiliar, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:almirall@electrica.cujae.edu.cu