

## DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN PARA LA EMPRESA MAGNETRÓN S.A.

### RESUMEN

La empresa Magnetron S.A. requería para su laboratorio de pruebas de transformadores mejorar su rendimiento y desempeño. La Facultad de Ingeniería Eléctrica a través de los contratos 221-03 y 71102-02, diseñó y desarrolló un sistema automatizado aplicando los últimos avances de la instrumentación moderna.

**PALABRAS CLAVES:** Laboratorio de pruebas para transformadores, automatización industrial.

### ABSTRACT

*Company Magnetron needed test and a research laboratory for distribution transformer; the idea was to improve its performance. The Faculty of Electrical Engineering designed and developed an automatization system from you complete investigations in the field of instrumentation.*

**KEYWORDS:** Research laboratory for transforming of distribution, industrial automatization.

### ÁLVARO OROZCO

Ingeniero Electricista  
Profesor Titular  
Universidad Tecnológica de Pereira  
aorozco@utp.edu.co

### MAURICIO CALZADA

Ingeniero Electrónico.  
Ingeniero de Diseño  
Magnetron S.A.  
mcalzada@magnetron.com

### EDUARDO GIRALDO

Estudiante X Semestre.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
egiraldos@utp.edu.co



Figura 1. Sistema para el desarrollo de pruebas y ensayos desarrollado por la UTP

### 1. ANTECEDENTES

El laboratorio de pruebas de la firma Magnetron S.A. nació como elemento de control de calidad del producto de una fábrica de transformadores que abastecía el mercado nacional.

La velocidad a la que se producían los transformadores era suficientemente baja para que una sola persona

podiera probar las unidades de producto terminado de manera satisfactoria en el tiempo necesario.

Las certificaciones, no se habían arraigado lo suficiente en el ámbito nacional, por lo cual no existía la exigencia y se toleraban desviaciones en los niveles de pérdidas que serían inaceptables posteriormente para compradores extranjeros.

Sin embargo, en la medida en que el mercado interno de energía eléctrica se derrumbaba como consecuencia de la crisis política y económica por la que atravesaba el país a fines de la década de los noventa la empresa se veía obligada a incursionar en países vecinos como: Cuba, Panamá, Honduras, Nicaragua, Puerto Rico, Haití, Ecuador, Perú y Venezuela entre otros; simultáneamente la inversión española en Latinoamérica llevaba a manos de transnacionales el sector eléctrico nacional. De tal modo que cualquier participación en el comercio de transformadores se hallaba supeditada a que se cumplieran los mismos criterios de calidad que se aplicaban a nivel internacional.

resultados de la prueba no se verían alterados de existir fuertes distorsiones en la forma de onda de tensión que estuviera siendo aplicada a los transformadores.

El ajuste del voltaje entregado al transformador bajo prueba se hacía con un *variac* (variador de voltaje ac) controlado manualmente, de tal manera la precisión en el voltaje que el dispositivo debía alcanzar estaba supeditada a la habilidad del operario para discernir adecuadamente la lectura en el voltímetro analógico y a la paciencia que este tuviera para, a través de ensayo y error, ajustar el *variac* una y otra vez hacia un lado u otro hasta alcanzar el nivel adecuado para la prueba.



Figura 2. Laboratorio antiguo de la firma Magnetrón

Un laboratorio con pruebas totalmente manuales, instrumentos analógicos y nula capacidad de expansión no estaba en capacidad de proveer ni los niveles de calidad ni la velocidad de prueba requerida, ni mucho menos eficiencia y especialización ante los requerimientos de la normatividad internacional.

#### *Condiciones Iniciales del laboratorio de pruebas. Análisis Técnico*

Las medidas para todos los tipos de prueba se llevaban empleando medidores de potencia, voltaje y corriente análogos monofásicos. Esto significaba que los

Las normas técnicas internacionales exigen que la forma de onda de voltaje aplicado al equipo bajo prueba esté dentro de ciertos límites de distorsión; esto se hace a través de la medición simultánea del verdadero valor eficaz y del valor promedio del voltaje rectificado de la señal.

Igualmente se señala que, para el caso de transformadores trifásicos, los voltajes o corrientes a las que se deben probar los equipos para considerar satisfactoria una prueba estarán determinados por el promedio de las tres fases.

Una vez efectuada una prueba los resultados se consignaban en papel y posteriormente se digitaban en la base de datos protocolos.

Esta situación presentaba varios problemas.

1. No existían medidores de valores promedio ni de verdadero valor eficaz.
2. Las medidas se realizaban con base en la corriente o voltaje alcanzado en una sola fase, no con base en un promedio, y de intentarlo, sería muy difícil para un operario obtenerlo correctamente.
3. Los niveles de tensión y corriente a los que se realizaban las pruebas no eran confiables, se realizaban sobre una fase y dependían fundamentalmente de la pericia del operario y el tiempo disponible.
4. La velocidad a la que se probaban los equipos era bastante baja, puesto que el componente de trabajo manual (digitación de datos requeridos y datos de prueba, atención en el proceso de la prueba) era bastante elevado.
5. No existía ninguna capacidad de expansión; cualquier ampliación posterior basada en estos métodos de prueba se basaría simplemente en multiplicar el número de operarios y de elementos de medida.
6. Había reclamos sobre el futuro del laboratorio en cuanto a su mejoramiento, a su limitada capacidad de las pruebas y a la veracidad de sus datos.

## 2. EL DESAFÍO

El Grupo de trabajo de control e instrumentación y el equipo de ingeniería de la Empresa Magnetrón S.A. decidieron realizar un sistema automatizado que permitiera:

Realizar las pruebas de vacío y de carga de manera automática a cinco transformadores. Simultáneamente. El proceso deberá cumplir la normatividad vigente. [8]-[16]

Realizar la prueba de calentamiento de manera automática.

Mejorar la velocidad de realización de las pruebas. Interactuar con la base de datos de diseño.

Contar con un analizador de línea clase 0.2, capaz de entregar cualquier tipo de medida (valores *r.m.s.*, *true r.m.s.*, *mean r.m.s.*, valores de potencia activa, reactiva y aparente, factores de forma, correcciones de potencia por

forma de onda, valores promedio, eficiencia, factores de potencia, *THD* para cualquier tipo de sistema (trifásico o monofásico) y/o conexión (delta, estrella 3 hilos o 4 hilos).

Ejercer un control preciso sobre las condiciones de prueba exigidas por la norma.

Generar una interfaz gráfica amigable y de fácil comprensión por parte del operador.

Elaborar para el usuario los protocolos de prueba y actualizar la base de datos de diseño.

Efectuar los análisis de las señales en el tiempo, en la frecuencia y a través de fasores., medición de la distorsión armónica y estudio de las formas de onda y Lissajous.

Disminuir el error humano.

Aumentar la productividad al realizarse las pruebas en un tiempo menor.

## 3. LA SOLUCIÓN

Una vez analizado los requerimientos del sistema, se diseñó, desarrolló e implementó un sistema completo de instrumentación y control basado en PC. Dicho sistema fue estructurado en dos partes el hardware y el software.

*El hardware* lo constituye de manera inicial el módulo de acondicionamiento de señales eléctricas; éste adquiere y acondiciona seis señales eléctricas, tres de corriente y tres de voltaje. Las señales son adquiridas a través de transductores resistivos clase 0.1. Para las shunt de corriente y clase 0.01 para los divisores de tensión, aisladas a 1500 Voltios *r.m.s.* Las señales son llevadas de manera oportuna al subsistema de multiplexación y digitalización para finalmente ser procesadas. La siguiente unidad lo constituye el módulo de acondicionamiento de termopares, conformado por siete salidas para termopares que puede ser de cualquier tipo estándar (ANSI: J,K,R,S,T) que realizan la prueba de calentamiento. Finalmente se encuentra el centro de conmutación de transformadores CCT, la cual tiene como funciones, preparar, seleccionar y energizar los transformadores a probar.

*El software* que sirvió de plataforma del proyecto fue el sistema de desarrollo LabVIEW V.6.1 de la empresa National Instruments. El programa finalmente implementado fue estructurado en cuatro subsistemas que le permiten al operador desarrollar sus tareas de manera oportuna y ágil.

El subsistema *configurar* actualiza todas las opciones necesarias para el buen funcionamiento del sistema, éste configurará desde los usuarios que cuentan con autorización para manejar el módulo hasta las constantes necesarias para el buen desempeño de las pruebas.

El subsistema *medidor* calcula a partir de las seis lecturas básicas de voltaje y corriente los parámetros necesarios para determinar el comportamiento de la red o de los dispositivos conectados a ella. Valores como: *true-rms*, *mean-rms*, potencia activa, potencia aparente, potencia

El subsistema *pruebas* es el encargado de realizar la prueba de: vacío, la prueba de carga y la prueba de calentamiento de acuerdo a la normatividad vigente para este tipo de pruebas. Para modelar los lugares y las transiciones de las pruebas se utilizó Redes de Petri y su implementación se estructuró a través máquinas de estado.

El Subsistema *base de datos*, permite interactuar con la base de datos de la empresa Magnetrón, programa de Protocolos.



Figura 3. Nuevo sistema para la elaboración de las pruebas, se observa el módulo de adquisición de señales parte superior izquierda, el interface gráfico y el centro de conmutación de transformadores

reactiva, factor de potencia, factores de forma, potencia corregida, corriente promedio, voltaje promedio, eficiencia, THDs, análisis de armónicos, análisis fasoriales y análisis de señales en el tiempo se calculan y muestran en esta sección. La certificación de la clase de instrumento fue dada por el laboratorio de Metrología Variables Eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira. Su clase fue determinada para todo el sistema como 0.2, como así lo explica los certificados de procedimiento: LME-PDC-006 y 2ME-PDC-008 de fecha febrero de 2004.

El Subsistema *analizador de redes* A través de l conexión serial establece comunicación con el medidor 930A de Arbiter System, éste medidor servirá inicialmente para dar soporte al sistema de pruebas diseñado.

#### 4. DESARROLLO DEL SISTEMA

El sistema se implementó en 18 meses con la ayuda y colaboración del departamento de ingeniería de empresa Magnetrón S.A. Para la realización de este proyecto se utilizaron herramientas modernas de diseño y equipos de buena calidad y precisión.

La estructura básica del software fue desarrollada a través de máquinas de estado y modelado a través de Redes de Petri, lo anterior para evitar bloqueos y facilitar el flujo secuencial de los eventos asociados al sistema.

El módulo de adquisición y acondicionamiento de señales garantizó en todo momento la clase del sistema exigido por el contratante. El bloque de multiplexación y digitalización se obtuvo a partir de una tarjeta de adquisición de datos (PCI-6014)<sup>1</sup> de 16 bits, 8 canales, 200 kS/s, conectada en modo diferencial – bipolar. En general este módulo permite manejar niveles de tensión hasta 1000 Voltios y corrientes hasta de 15 Amperios sin transformador de corriente.

Para el manejo de salidas y entradas digitales se utilizó una tarjeta de 24 entradas y/o salidas digitales (PCI-6503)<sup>1</sup> conectada al bus del computador y que facilita el control secuencial del sistema implementado.

El módulo de conmutación de transformadores fue diseñado con el fin de poder atender las órdenes enviadas por el procesador, a fin de establecer las conexiones que permitan seleccionar el transformador de distribución bajo prueba.

El sistema de control implementado para el manejo del *variac* fue un típico control híbrido proporcional, el cual arrojó en sus pruebas iniciales y finales óptimos resultados.

Los sistemas secuenciales para la elaboración de las pruebas tomaron como base las normas técnicas (NTC, ANSI IEC).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema implementado ha mostrado a la fecha un excelente desempeño en cuanto al tiempo y calidad en las pruebas.

Las pruebas realizadas a los transformadores con el nuevo sistema fueron comparadas con los resultados del Laboratorio de Ensayos para Transformadores de la Universidad del Valle. Sus resultados fueron óptimos.

La producción ha dejado de tener un cuello de botella en el laboratorio de pruebas., teniendo como consecuencia una reprogramación de tiempos y costos a favor de la empresa..

La empresa Magnetrón dentro del proceso de modernización, busca más rápidamente nuevos mercados.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Manuales, LabVIEW V.6.1, Nacional Instruments, 2002..

[2] RAMÓN, Pallás “Sensores y Acondicionamiento de Señales”

[3] Understanding Accuracy Specifications and Computer-Based Instruments – Part I.and II, NI Developer Zone – Advanced programming Technicals, on line, Austin Texas, national Instruments, 03/22/2004 available from internet: www.ni.com

[4] NI 6013/6014 Family Specifications, Manual, National Instruments and ni.com and NI.DAQ.2003.

[5] IEEE Standard General Requirements for Liquid – Immerse Distribution Power, and Regulation, and Regulating Transformers, IEEE Std C57.12.00-2000, Sponsor Transformer Committee of the IEEE

[6] IEEE Standard Test Code Approved 26 June 1999, IEEE Standards Board. C57.12.90-1999

[7] IEEE Standard Test Procedure For Thermal Evaluation of IEEE Std C.57.100-1999, Approved 26 June 1999

[8] CEI-IEC, Power Transformer Partier I, CEI-IEC - 60076-1, Edition 2.1, Edition 2: 1993 Consolidated with Amendment 1:99.

[9] NTC Transformadores, “Método de Ensayo Para Determinar el Calentamiento para Transformadores Sumergidos en Líquido Refrigerante”, NTC 316-1998-09-23.

[10] NTC, “Transformadores Eléctricos, “Ensayos Eléctricos, Generalidades.” NTC 380.2001-09-26.

[11] NTC Transformadores, “Determinación de la Tensión de Corto Circuito”, NTC 1005.1975-08-06

[12] NTC Transformadores, “ Ensayos para la Determinación de las Pérdidas y Corriente sin Carga”, NTC-1031.1998-09-03

[13] NTC Electrotécnia, “Transformadores de Potencia y Distribución, Terminología”, NTC 317.