



SISTEMA DE BAJO COSTO PARA MONITORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

**M. R. H. Chury
J. J. Penco**

**F. Pessolani
C. E. Mazurier
C. M. Chezzi**

**F. Berterame
M. I. Jauregui**

**Facultad Regional Concordia -Universidad Tecnológica Nacional
Grupo de Investigación en Modelado y Simulación (GIMOSI)
Concordia – Entre Ríos – Argentina**

RESUMEN

Los Transformadores de Potencia son componentes costosos y estratégicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia y deben operar en forma continua para suministrar energía eléctrica de modo ininterrumpido. Durante su funcionamiento están sometidos a solicitaciones del tipo eléctrico, electromecánico, químico y ambiental, lo que provoca un proceso de envejecimiento del mismo. La vida del transformador se estima en un tiempo determinado, trabajando en condiciones nominales, pero cuando estas condiciones no se cumplen, el tiempo se reduce.

Para reducir los costos en la distribución de energía eléctrica se trata de prolongar la vida del equipo, para lo cual es importante el mantenimiento de los transformadores. Una de las prácticas de mantenimiento que se lleva a cabo es la monitorización en tiempo real, que consiste en la observación de variables claves, que permiten conocer el estado del mismo durante su operación.

Por este motivo se desarrolla un sistema de monitorización en tiempo real, en el entorno gráfico LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), de parámetros tales como temperatura del aceite, temperatura ambiente, corriente en los bobinados, estado de funcionamiento de los elementos de refrigeración y estado de los interruptores.

El sistema tiene como principales funciones la captura en tiempo real de las variables mencionadas, su representación gráfica de evolución en el tiempo, su almacenamiento y además la posibilidad de activación de alarmas en caso de que dichas variables se encuentren fuera de un rango establecido. Con este sistema el operario puede realizar un control del funcionamiento del transformador.

PALABRAS-CLAVE

Monitorización, sistemas de tiempo real, adquisición de señales, transformadores de potencia, detección de fallas, prevención de fallas, aplicación LabVIEW, bajos costos, control a distancia, reducción de gastos.



1. INTRODUCCIÓN

La demanda de electricidad en el mundo muestra un crecimiento en su consumo, con un pronóstico de duplicación en el mismo entre los años 2000 y 2030, a una tasa anual del 2.4%, siendo mayor respecto a otras fuentes de energía. Además los transformadores de potencia son componentes estratégicos y costosos en los sistemas eléctricos de potencia [1]. Durante su funcionamiento están sometidos a sollicitaciones del tipo eléctrico, electromecánico, químico y ambiental, lo que provoca el proceso de envejecimiento del mismo [2]. Deben operar en forma continua, para que los usuarios tengan acceso al servicio de energía eléctrica de modo ininterrumpido.

La vida del transformador se estima en un tiempo determinado, trabajando en condiciones nominales, pero cuando estas condiciones no se cumplen, el tiempo se reduce [3][4][5]. Con el fin de minimizar los costos en la distribución de energía eléctrica se trata de prolongar la vida del equipo, para el cual su mantenimiento es de vital importancia [1][6].

Una de las prácticas de mantenimiento que se lleva a cabo es la monitorización en tiempo real [1][6][7][8], que consiste en la observación y medición de ciertas variables significativas, que permiten conocer el estado del mismo durante su operación. De las variables a medir del transformador se destacan las siguientes [6]: temperatura superior e inferior del aceite, temperatura ambiente, intensidad de la corriente en el lado de alta tensión y baja tensión, contenido de gases y humedad en el aceite del transformador. A partir de estas mediciones y un análisis adecuado se dispone de información para la toma de decisiones por parte del operador responsable.

De las ventajas de la monitorización [9] se destacan: (i) contar con la información necesaria en el centro de control sin necesidad estar situado en el lugar de ubicación del transformador, (ii) obtener información en tiempo real que agilice la toma de decisiones sobre ajustes o maniobras, (iii) recolectar, almacenar y analizar información para la prevención de fallas y disminución del impacto en el sistema eléctrico, (iv) conocer la carga instantánea permitiendo optimizar la potencia instalada y (v) minimizar el tiempo de restauración de la interconexión con el sistema externo en caso de falla. Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión, ya que se reflejan en aumentos de los niveles de facturación, seguridad, reducción de costos de mantenimiento y mayor confiabilidad en el suministro de energía.

El entorno de desarrollo gráfico LabVIEW permite la construcción de aplicaciones para monitorización en tiempo real, sobre la base de una interface de usuario con capacidad de programación gráfica, en tanto que el lenguaje textual de alto nivel está reservado específicamente para el software. Una capacidad fundamental es la gestión automática por software del direccionamiento, almacenamiento, formación de tablas y recuperación de datos, dejando liberado al usuario de esa tediosa tarea por operaciones de bajo nivel. En último término, a pesar de lo complejo que puede parecer el panel frontal del usuario, LabVIEW genera un código ejecutable de alta eficiencia que brinda alta velocidad a la aplicación [10][11].

Respecto a la demanda de energía en la Región de Concordia se registra un aumento del 3,97% para el año 2012 como resultado del aumento vegetativo de la población y de la calidad de vida. Por tanto los transformadores de la compañía distribuidora de electricidad tendrán que responder a la misma. Por otro lado, el sector eléctrico transita una etapa de desinversión por tarifas subsidiadas por el estado nacional, lo que impide la compra de nuevos equipos y sobrecarga los transformadores existentes. Esta exigencia obliga a los operadores del sistema a controlar mediante monitoreo continuo la carga de los equipos.

Por este motivo se desarrolla un sistema para monitorización en tiempo real de parámetros físicos y eléctricos de transformadores de potencia, con el fin de adquirir información necesaria para realizar el

análisis correspondiente y procurando una configuración que minimice costos de diseño e instalación. Este sistema está formado por un conjunto de sensores (temperatura, corriente), que se conectan a través de sus respectivos acondicionadores de señal, a una placa de adquisición de datos (DAQ) y que por medio de una herramienta implementada en el entorno gráfico LabVIEW se realiza la lectura y procesamiento de los datos adquiridos por la misma.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se presenta el sistema de monitorización desarrollado con la propuesta de los componentes tecnológicos requeridos; en la Sección 3 se realiza la descripción de la herramienta diseñada, se esbozan estrategias para el uso de LabVIEW y se muestra la técnica de prueba del sistema; en la Sección 4 se presentan y analizan los resultados obtenidos, y finalmente en la Sección 5 se obtienen las conclusiones planteándose pautas para el desarrollo de trabajos futuros.

2. SISTEMA DE MONITORIZACION

El sistema de monitoreo está compuesto por el elemento a monitorizar (transformador de potencia), los sensores (para medición de corrientes eléctricas, temperatura, estado de interruptores y estado de los dispositivos de refrigeración), acondicionadores de señales (para adaptar las señales de salida de los sensores a una señal compatible con la placa de adquisición de datos), la placa de adquisición de señales, la computadora (con la que se realiza la adquisición y procesamiento de señales), la computadora (con la que se visualiza la pantalla del sistema en una sala de control remota, el módem y el programa (con el que se hace el procesamiento de las señales, a través del cual se visualizan los parámetros a controlar).

Para especificar la secuencia de recursos necesarios para el proceso de captación de señales, se muestra la Figura 1, en donde se puede observar un conjunto de sensores/acondicionadores conectados al transformador, una placa de adquisición de datos (DAQ) y la computadora personal en donde corre la aplicación.

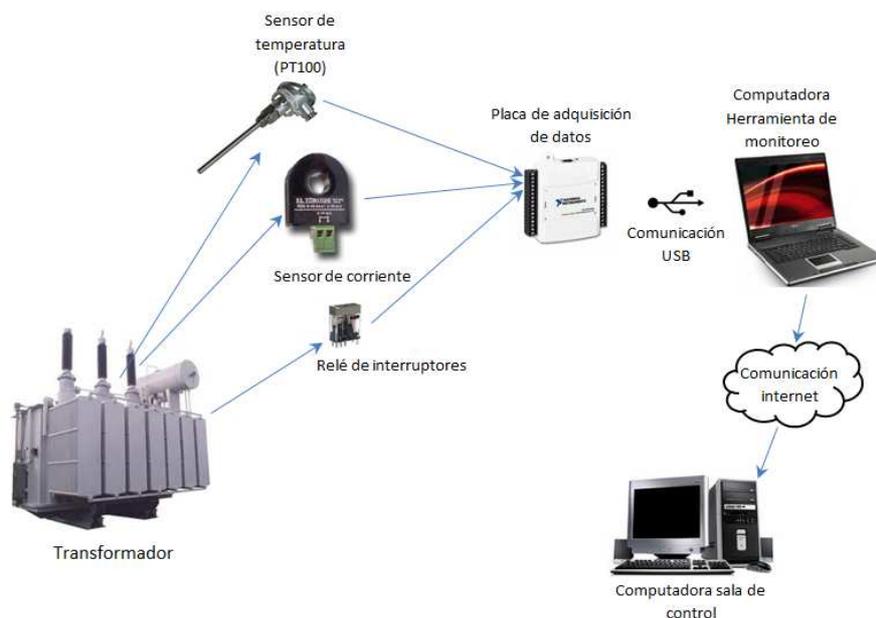


Figura 1. Diagrama de los componentes del sistema de monitoreo.

A continuación se describen los elementos del sistema:



2.1 Transformador de potencia

El mismo es uno de los transformadores de la estación transformadora “Central N° 3” de la Cooperativa Eléctrica y Otros Servicios de Concordia Ltda. La relación de transformación es 33/13,8 kV, la potencia nominal 5000 kVA y la corriente nominal 208 A. Los parámetros a monitorizar son la temperatura y la intensidad de la corriente.

2.2 Sensores y acondicionadores de señales

Los mismos se describen:

2.2.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura utilizado es una sonda resistiva (RTD) denominada Pt100, la cual está construida por conductores de platino y se caracteriza por su precisión y amplio rango de temperatura de operación. La temperatura medida por este elemento se traduce en una variación de su resistencia eléctrica, siendo su valor de referencia de 100 Ω a 0°C. Además se utiliza un acondicionador de señal cuya función es la de convertir la variación de resistencia eléctrica que presenta la Pt100 a un valor de corriente que, para este caso, varía entre 4 y 20 mA, y que al circular a través de una resistencia de 500 Ω produce una caída de tensión comprendida entre 2 y 10V, a fin de que pueda ser leída por la placa de adquisición de datos utilizada.

2.2.2 Sensor de corriente

Se utiliza un sensor toroidal de corriente modelo RSI que convierte la intensidad de corriente real RMS a una corriente continua de 4 a 20 mA. El valor de 4 mA se corresponde con el cero de la medición y los 20 mA al valor de plena escala del dispositivo que para este caso es de 10A. Esta salida se conecta a una resistencia de 500 ohm para obtener una caída de tensión en la misma entre 2 y 10V para que pueda ser leída por la DAQ.

2.2.3 Sensor del estado de los interruptores

Para detectar el estado de los interruptores se utiliza una salida que estos disponen y que en el caso de apertura, esta presenta un voltaje de 110VCC. Este voltaje es aplicado a la bobina de un relé, y a través de los contactos normales abiertos que este dispone se aplica una tensión de 10VCC por medio de una fuente de alimentación auxiliar, a la entrada de la DAQ asociada a dicho interruptor

2.3 Placa de adquisición de señales

Para la adquisición de las señales se utiliza una placa de adquisición de datos DAQ (Data Acquisition) de la empresa National Instruments, modelo USB NI6009, cuya tensión de entrada analógica permitida es de 0 a 10V y posee un conversor Analógico/Digital (ADC) de 14 bits, por lo que se tiene una resolución satisfactoria de 0,6mV en la lectura.

3. HERRAMIENTA LABVIEW DE MONITORIZACIÓN DE TRANSFORMADORES

3.1 Descripción de la herramienta de monitorización

La herramienta informática tiene como principales funciones la captura en tiempo real de las variables corriente, temperatura, estado de los interruptores (abierto/cerrado), estado de los dispositivos de refrigeración, su registración y procesamiento para la activación de alarmas en caso de anomalías en el desempeño del equipo. Estas anomalías son producto de sobrecorrientes, temperatura elevada o fallas en los sistemas de refrigeración.

En la Figura 2 se muestra la ventana principal de la herramienta, donde se puede observar los valores de corriente, temperatura, estado de los interruptores y el número de actuaciones de los mismos. También se señalizan alarmas por corrientes, temperaturas elevadas o falla de los ventiladores de refrigeración.

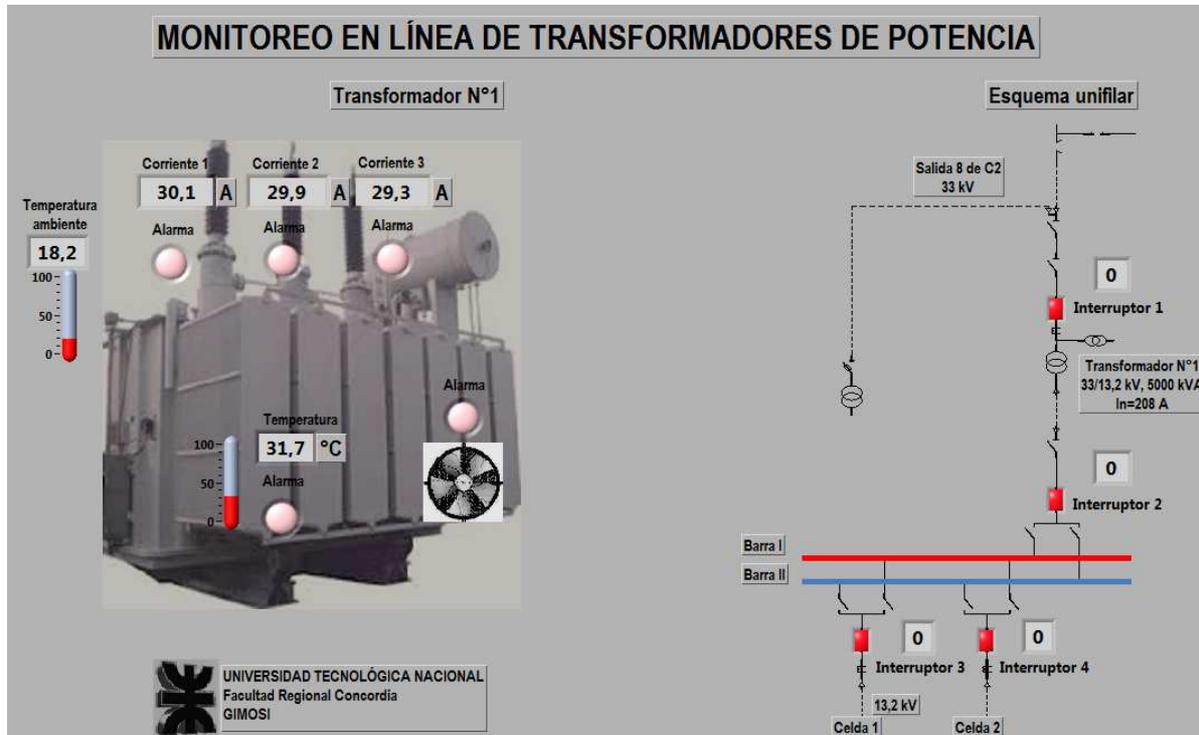


Figura 2. Ventana de interface operador-computadora.

A la izquierda de la ventana se ubica la imagen de un transformador de potencia sobre el cual se encuentran indicadores numéricos para informar los valores de corriente de cada una de las fases, la temperatura del mismo, la temperatura ambiente e indicadores LED de las alarmas por corriente, temperatura elevadas y falla del sistema de refrigeración.

Mientras que a la derecha se ubica el esquema unifilar de la estación, sobre éste se encuentran indicadores LED del estado de cada uno de los interruptores que se monitoriza (el indicador LED modifica su color en función del estado del interruptor, el color rojo corresponde al estado cerrado y el color verde al estado abierto) e indicadores numéricos que totalizan número de actuaciones de cada uno de los interruptores.

Se controla el estado del interruptor que se encuentra aguas arriba del transformador, el que se encuentra aguas abajo y los interruptores asociados a cada una de las dos celdas de media tensión que se muestran en el diagrama unifilar de la Figura 2.

3.2 Facilidades de programación en LabVIEW

LabVIEW es un entorno gráfico, que permite realizar la programación mediante bloques. No es necesario implementar líneas de código como en los lenguajes de programación tradicionales. El programa cuenta con dos pantallas principales, una de ellas llamada panel frontal y la otra diagrama de bloques.

En el panel frontal se construye la interface entre el operador y la computadora. En la misma se pueden presentar indicadores numéricos (para indicar los valores de las mediciones realizadas), gráficas temporales (para mostrar la evolución temporal de una variable), indicadores de alarmas, registro de mediciones históricas, entre otros.

En el diagrama de bloques es donde se realiza la programación. Allí se conforma la aplicación para la captura, procesamiento y almacenamiento de señales para obtener los resultados necesarios.

Para realizar estas funciones LabVIEW cuenta con bloques a partir de los cuales se pueden adquirir o emitir señales analógicas o digitales. Para esto se utiliza el bloque DAQ Assistant con el cual es posible configurar el tipo de señal a adquirir (Analógica o Digital), la frecuencia de muestreo de datos, la cantidad de muestras, etcétera.

Para el procesamiento de señales se utilizan bloques que permiten realizar operaciones matemáticas (multiplicación de la señal por una constante, división, adición, sustracción, integración, derivación) y estadísticas. Para el almacenamiento de señales existen bloques, los cuales generan tablas de datos que permiten crear archivos.

Para ejemplificar lo expuesto, se muestra el diagrama de una aplicación en la Figura 3, en el cual se adquiere una señal proveniente de un sensor de temperatura, se muestra el valor en tiempo real en indicadores numéricos, se grafican los datos procesados en función del tiempo, se almacenan los datos y se crean archivos en excel. También se utilizan bloques de comparación para comparar las mediciones con respecto a una constante (temperatura referencia) y de esta forma poder generar alarmas.

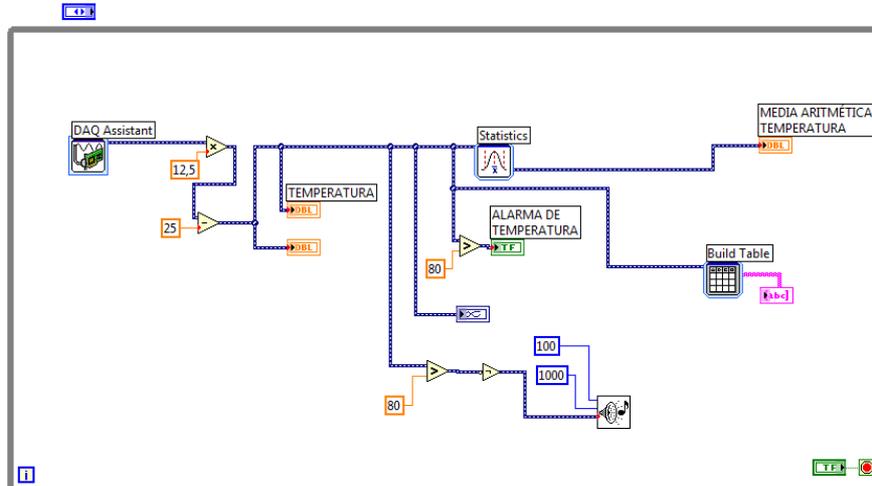


Figura 3. Diagrama de Bloques de la medición de temperatura.

3.3. Técnica de prueba de la herramienta diseñada.

Para poner a prueba el sistema de monitorización se llevan a cabo las siguientes tareas:

En primer lugar se comprobó el correcto funcionamiento del software de adquisición de datos, empleando señales simuladas utilizando el bloque Simulate Signal, disponible en el entorno de desarrollo LabVIEW.

Luego se realizaron pruebas en laboratorio donde se conectaron todos los elementos intervinientes del sistema de monitoreo (sensores, acondicionadores, relevadores, DAQ y PC) con el fin de comprobar el correcto desempeño del hardware. Por último se organizó el montaje, puesta en funcionamiento y

ajuste del sistema de monitorización en la estación N° 3 de la Cooperativa Eléctrica de la ciudad de Concordia.

5. RESULTADOS

A partir de la adquisición de las señales se representan gráficos de las variables en el tiempo y se dispone de archivos de datos históricos que posibilitan al operario realizar un control del transformador. En la Figura 4 se observa un gráfico que muestra los valores de temperatura del transformador en el tiempo.

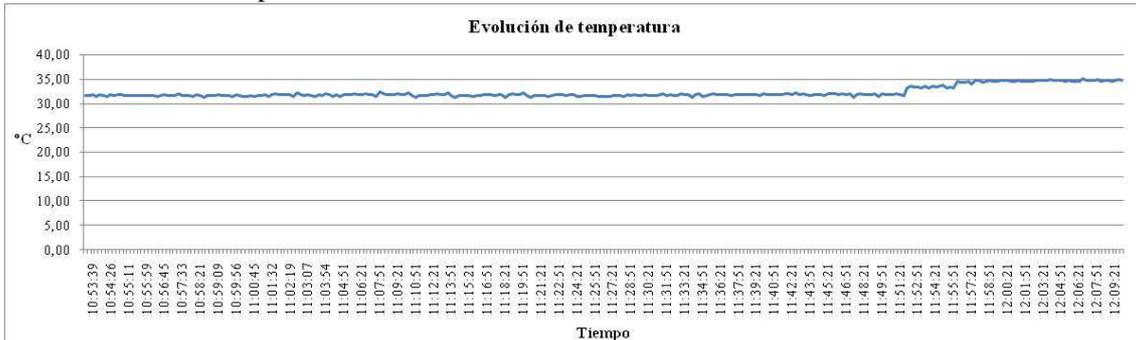


Figura 4. Gráfico temporal de temperatura.

De igual manera en la Figura 5 se presenta la variación de corriente en el tiempo.

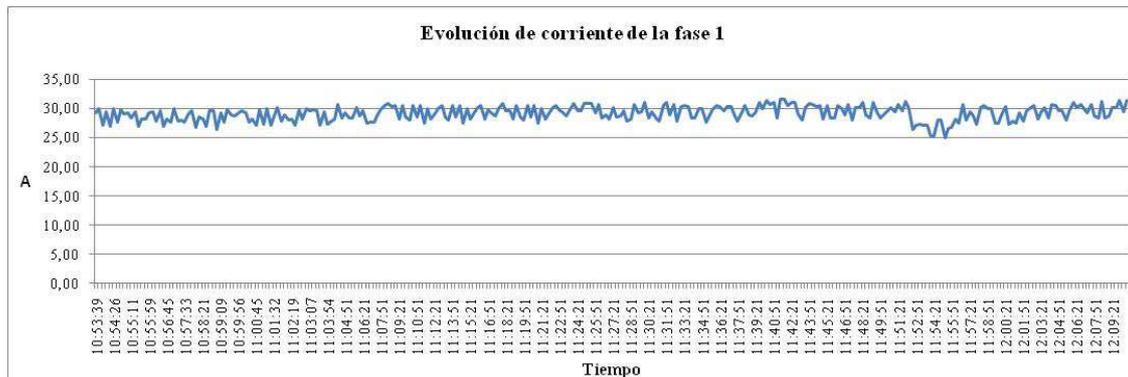


Figura 5. Gráfico de la evolución de la corriente en una fase.

En la Figura 6 se presenta la ventana que muestra los valores de las variables medidas en el tiempo.

Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Temperatura
31,77	30,83	30,86	29,15
31,77	30,76	30,57	29,88
31,80	29,36	28,41	27,05
31,54	28,28	29,11	29,37
31,83	28,85	31,02	26,92
31,70	29,01	31,08	29,95
31,54	28,85	29,55	27,62
31,86	31,31	31,15	29,73
31,67	31,59	28,72	29,06
31,93	30,06	28,28	29,22
31,93	30,64	30,80	28,26

Figura 6. Ventana de registro de mediciones.

Para el monitoreo de las variables mencionadas del transformador de la estación transformadora de la Cooperativa Eléctrica de la ciudad de Concordia, se realiza una comunicación entre una computadora personal que adquiere y procesa las señales y otra, que se ubica en una sala de control, en la que se



**Décimo Quinto Encuentro Regional
Ibero-americano del CIGRÉ
Foz de Iguazú-PR, Brasil
19 al 23 de mayo de 2013**



encuentran los operadores. Así la ventana del programa construido se utiliza como interface entre el operador y una PC.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Uno de los objetivos de este desarrollo consistió en priorizar la utilización de componentes de bajo costo y fácil adquisición en el mercado local, lográndose un monto total de implementación estimado en U\$S 1500.

El trabajo desarrollado se considera de vital importancia en la operación de la distribuidora de electricidad, posibilitando optimizar los gastos de mantenimiento. A la vez que poder contar con los datos de carga y temperatura en tiempo real permite al operador decidir hasta donde se puede exigir un transformador, mejorando la eficiencia de su uso.

En esta etapa de desarrollo se gestionó la comunicación entre las computadoras con el software TeamViewer de libre uso académico, para la implementación final se prevé desarrollar el servidor Web provisto por LabVIEW.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Metwally, I. A. (2011): Failures, monitoring, and new trends of power transformers. IEEE, vol 30, n° 3, pp. 36--43.
- [2] Flores, W. Mombello, E. Rattá, G. Jardini, J. A. (2007): Vida de transformadores de potencia sumergidos en aceite: Situación actual. Parte I. Correlación entre la vida y la temperatura. IEEE Latin America Transactions, vol. 5, n° 1, pp. 591--598.
- [3] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers. IEEE Std C57. 91-1995.
- [4] Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Power Transformers up to and including 100 MVA with 55 °C or 65 °C winding rise. ANSI/IEEE C57.92-1981.
- [5] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers Corrigendum 1. IEEE Std C57. 91TM-1995/Cor 1-2002.
- [6] Nedelcut, D., Sacerdotianu, D. Tanasescu, G. Nicolae, S. Voinescu, L. (2008): On-line and Off-line Monitoring-Diagnosis System (MDS) for Power Transformers. En Proc. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, pp. 949--955.
- [7] Mackenzie, E. A. Crossey, J. De Pablo, A. Ferguson, W. (2010): La monitorización en línea y el diagnóstico de transformadores de potencia. 2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (ISEI), pp. 1--5.
- [8] Rösner, Michael. Weenen, Jens. Hao, Xu. (2007): Benefits of Comprehensive and Interactive online Monitoring and Expert Systems for Power Transformers. Proc. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. IEEE, pp 1--5.
- [9] Helfrick, Albert D. Cooper, Willian D. (2002): Modern Electronic Instrumentation and measurement Techniques. Edit. Prentice Hall Inc.
- [10] Emami, A. Yazdi, H.T. (2009): Designing and constructing transformer test system with aid of Labview. In Proc. 2nd International Conference on Adaptive Science & Technology, pp. 169--174.
- [11] Lin Shuzhong, G.-Y. Mingmei, S. (2011): Real-time Monitoring System of PLC for Production Line of Coin Cell Battery Based on LabVIEW. In Proc. Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation. IEEE Computer Society, pp. 881--884.