



## APLICACIONES INDUSTRIALES

LabVIEW aplicado al diagnóstico de estado en tiempo real de transformadores de potencia

*LabVIEW apply to diagnostic that assess the condition in real time of the power transformers*

Eliezer - Fernández Padrón  
Sergio - Fernández García  
Rómulo - Pérez Barrios

Recibido: Octubre del 2011  
Aprobado: Diciembre del 2011

### Resumen/ Abstract

Este trabajo está dirigido al rediseño del Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos de la Estación para el Diagnóstico de Estado en Tiempo Real del Autotransformador de Potencia No. 2 de 100MVA, de la Subestación Barquisimeto de Venezuela, a partir de controladores embebidos en tiempo real de la familia cRIO de National Instruments y las técnicas de programación que ofrece la plataforma NI LabVIEW, con la finalidad de integrar un sistema único (software-hardware) que permita aumentar la calidad en las mediciones, el procesamiento de los datos, la interface hombre-máquina, su capacidad de expansión y reproducibilidad. El mismo puede ser accedido mediante navegadores Web de Internet y transferir datos en tiempo real a través de la red, además es capaz de trabajar autónomo presentando respaldo en comunicación y alimentación de energía eléctrica, logrando un mejor servicio de diagnóstico continuo en dicho autotransformador.

**Palabras clave:** adquisición, procesamiento de datos, tiempo real, diagnóstico, transformadores de potencia.

*This work is focused on the redesign of the Acquisition System and Processing Data of the Station for the Diagnostic that Assess the Condition in Real Time of the 100MVA Power Autotransformer No. 2 of the Substation Barquisimeto from Venezuela with the embedded controllers in real time of the cRIO technology of the National Instruments and the programming techniques supported by the NI LabVIEW platform with the purpose of integrating an unique system (hardware-software) that allows to improve the quality in the measurements, the processing data, the man-machine interface, its expansion capability and reproduction. This system can be obtained by the internet web browser and it can transfer data in real time through the network, it is also able to work autonomous having a back in communicating and electrical energy feeding, getting a better continuous diagnostic service and the autotransformer.*

**Key words:** acquisition, processing data, real time, diagnostic, power transformers.

### INTRODUCCIÓN

Los transformadores de potencia conforman el eje central de los sistemas de transmisión y distribución de la energía eléctrica. La salida de línea inesperada de un transformador implica la interrupción de su servicio. Estos son elementos costosos y difíciles de sustituir, construidos por encargo, retardando su proceso de reemplazo. Sus grandes volúmenes y pesos, hacen que la sustitución del mismo esté vinculada a estructuras viales y medios de transporte, obligando a las grandes empresas a garantizar el conocimiento de su estado funcional de forma

permanente. De ahí la importancia de conocer su condición representada por las variables de estado de diagnóstico [1] que permiten detectar la aparición y localización prematura de fallas. Para lograr estos objetivos en los últimos años se han desarrollado en todo el mundo diferentes sistemas de diagnóstico. Con este fin la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre" (UNEXPO) en unión al Grupo de Diagnóstico Integral del Centro de Investigaciones y Pruebas Eléctricas (CIPEL) introdujeron uno de estos sistemas en el año 2005 en la Empresa Energía Eléctrica de Barquisimeto (ENELBAR) de Venezuela en [2] que implementa el modelo térmico del Massachusetts Institute of Technology (MIT) [3-5] conformado por hardware distribuido y múltiples software de nivel superior que cumplen hasta el momento su objetivo, pero ahora se necesita de un nuevo diseño único y compacto, capaz de mejorar los resultados obtenidos en las mediciones, que permita su reproducción generalizada en Venezuela y Cuba.

Este trabajo propone un nuevo sistema de adquisición y procesamiento de variables eléctricas, térmicas y químicas haciendo uso de los Controladores Embebidos en Tiempo Real NI CompactRIO y NI LabVIEW para mejorar el diagnóstico del estado del autotransformador seleccionado. Se utiliza un Chasis Reconfigurable, siete módulos de entrada y uno de salida para las variables analógicas y digitales del sistema de hardware. Se caracteriza por brindar herramientas para la adquisición, filtraje, cálculos, almacenamiento de datos y visualización de resultados, así como la transferencia de estos a través de la red mediante DataSocket [6]. De igual forma mejora su robustez y su fácil reproducción para ser introducido en ambos países. El mismo está concebido para trabajar remotamente, pues utiliza un puerto Ethernet que prestar servicios WEB mediante navegadores de Internet y doble abastecimiento de energía garantizando largos periodos de operación. En este artículo se presentan resultados correspondientes al diagnóstico en tiempo real de éste autotransformador.

Las pruebas de dicho sistema se han desarrollado en laboratorios y debe ser introducido en la instalación en el próximo mantenimiento de este autotransformador de forma que no se interrumpa el servicio de diagnóstico.

#### CARACTERÍSTICAS DEL AUTOTRANSFORMADOR

Las características más importantes en [2] del Autotransformador seleccionado son: Tensión 230 kV/115kV +/-24kV; Marca SADE. Argentina. Fabricación 28-06-1991. Número de Serie 14074. Tipo ONAN, ONAF, OFAF. Potencia 60/80/100MVA. Trifásico, 60Hz. Banco de Ventiladores 6. Bombas de Aceite 4. En la figura 1, se muestra el autotransformador seleccionado.



**Fig. 1. Autotransformador No.2 de la Subestación Barquisimeto, Venezuela.**

#### DISEÑO DE HARDWARE

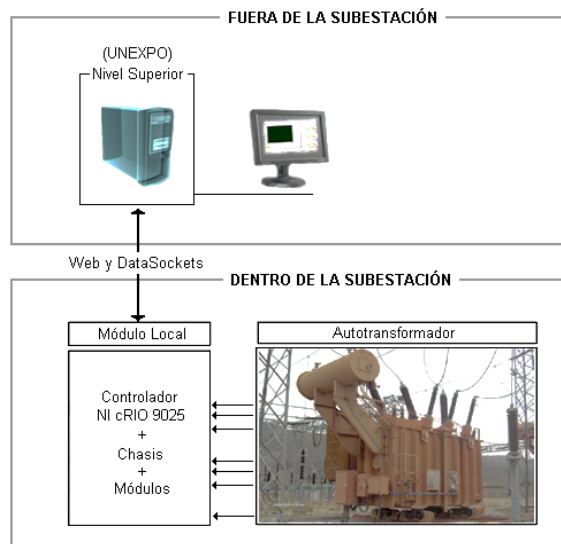
Los elementos de hardware que conforman el sistema de diagnóstico son: transductores y acondicionadores de señal, módulos de adquisición de datos y actuadores, chasis reconfigurable, controlador embebido en tiempo real, alarma externa sonora y visual, fuente de alimentación, banco de baterías y cableado de la instalación. A continuación se presenta una síntesis ordenada de los mismos.

#### TRANSDUCTORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL INSTALADOS

Los transductores y acondicionadores de señal a utilizar por el sistema de adquisición de datos [2], [7-8] pertenecen a los existentes en la instalación actual, los mismos se describen a continuación:

- Tres tomas conectadas a los acondicionadores de voltaje (TP):
  - ✓ Una con rango de 0-115V referida al voltaje secundario de fase A (66,395kV).
  - ✓ Una con rango de 0-115V referida al voltaje secundario de fase B (66,395kV).
  - ✓ Una con rango de 0-115V referida al voltaje secundario de fase C (66,395kV).
  
- Tres tomas conectadas a los acondicionadores de corriente (TC):
  - ✓ Una con rango de 0-5A referida a la corriente primaria de fase A (500A).
  - ✓ Una con rango de 0-5A referida a la corriente primaria de fase B (500A).
  - ✓ Una con rango de 0-5A referida a la corriente primaria de fase C (500A).
  
- Once transductores de corriente con salida 4-20mA, los mismos son:
  - ✓ 6 para los ventiladores de enfriamiento con 5A de corriente nominal.
  - ✓ 4 para las bombas de aceite con 10A de corriente nominal.
  - ✓ 1 para el cambia derivaciones con 20A de corriente nominal.
  
- Veintiséis transductores digitales de estado, esto son:
  - ✓ 16 para las protecciones propias con 24V DC.
  - ✓ 6 para los ventiladores de enfriamiento con 24V DC.
  - ✓ 4 para las bombas de aceite con 24V DC.
  
- Doce transductores de temperatura tipo platino RTD Pt100 y Pt1000, de estos:
  - ✓ 3 tipos Pt100 para la temperatura ambiente tipo.
  - ✓ 1 tipo Pt100 para la temperatura del arrollado.
  - ✓ 1 tipo Pt100 para la temperatura superior del aceite.
  - ✓ 1 tipo Pt100 para la temperatura inferior del aceite.
  - ✓ 3 tipos Pt1000 para la temperatura externa superior de los radiadores.
  - ✓ 3 tipos Pt1000 para la temperatura externa inferior de los radiadores.

En total existen 29 variables analógicas y 26 digitales de entrada, y 1 digital de salida, las cuales son distribuidas en siete módulos de adquisición y un actuador de datos. Los mismos son ubicados en el Chasis Reconfigurable cRIO 9118 y conectado al Controlador Embebido en Tiempo Real cRIO 9025. El sistema de hardware seleccionado se muestra de forma esquemática en la figura 2.



**Fig. 2. Diagrama esquemático de hardware propuesto.**

La obtención de estas variables garantiza el diagnóstico del estado o condición de este autotransformador, además permite la aplicabilidad del modelo de la temperatura del aceite superior del MIT en línea y la de otros posibles modelos concebidos en forma convencional y con ayuda de la inteligencia artificial. Las variables empleadas en el modelo térmico son: la corriente de carga, la temperatura ambiente y la temperatura del aceite superior, las cuales son registradas por los módulos de adquisición de datos. El valor máximo de medición de las mismas son: De hasta

40°C para la temperatura ambiente, hasta 150°C para la temperatura del aceite superior y de 500A para la corriente de carga.

El tiempo seleccionado para la recolección y exposición de los datos de las variables adquiridas es 300ms y el de procesamiento estadístico 5 minutos debido a la naturaleza de las fallas de estos equipos (en general fallas de lento desarrollo), así como la frecuencia de muestreo para las señales referidas a voltajes y corrientes de fase es igual a 50kHz con aproximadamente 277 muestras en tres periodos de cada señal permitiendo analizar la calidad de las mismas.

CONEXIÓN ENTRE VARIABLES Y MÓDULOS

• **Voltajes de Fase**

Como los 3 voltajes de fase a medir en el autotransformador son tan elevados en el orden de los miles de voltios (66,395kV), es necesario tomar señal del transformador de voltaje con tensión nominal igual a 110V. Este valor reducido es compatible con el módulo seleccionado NI 9225 que soporta hasta 300Vrms AC. Una vez obtenidas las mediciones son referidas a los voltajes de fase del autotransformador. El esquema de conexión se muestra en la figura 3.

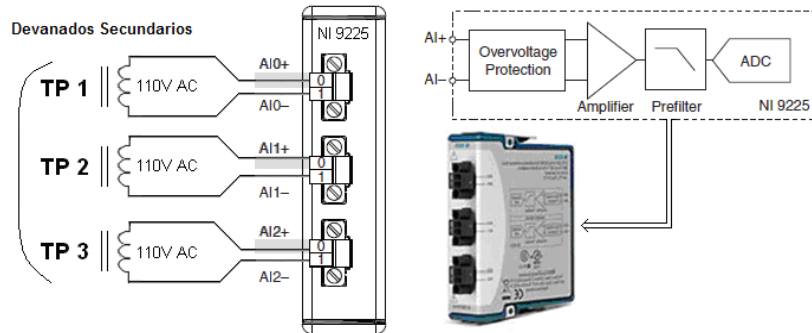


Fig. 3. Diagrama de conexión eléctrica entre los TP y módulo NI 9225.

• **Corrientes de Fase**

Como las 3 corrientes de fase a medir en el autotransformador son tan elevadas en el orden de los cientos de amperes (500A), es necesario tomar señal del transformador de corriente, cuyo valor nominal es 5A. Estos valores reducidos son compatibles con el módulo seleccionado NI 9227 que soporta hasta 14A pico y presenta aislamiento entre canales de 250V efectivo. Una vez obtenidas las mediciones son referidas a las corrientes de carga del autotransformador. El esquema de conexión se muestra en la figura 4.

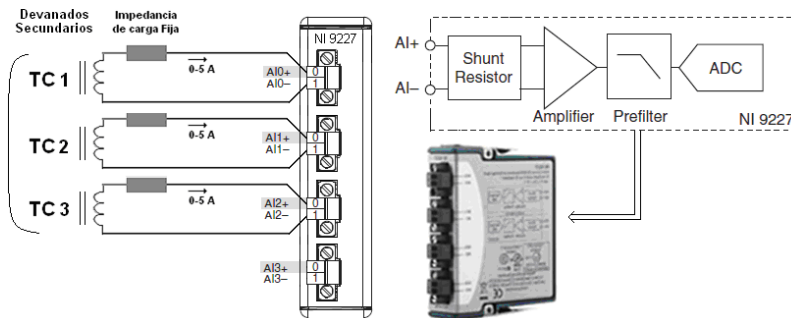


Fig. 4. Diagrama de conexión eléctrica entre los TC y módulo NI 9227.

• **Temperaturas**

Para la obtención de las temperaturas se cuenta con seis transductores tipo RTD Pt100 y seis RTD Pt1000 de cuatro cables todos, los cuales son conectados directamente a las entradas/salidas de los 3 módulos NI 9225 seleccionados. Las variables implícitas pertenecen a la temperatura del: enrollado, aceite superior, aceite inferior, aceite entrante a los radiadores 1, 2 y 3, aceite saliente de los radiadores 1, 2 y 3, ambiente 1, 2 y 3. El esquema de conexión se muestra en la figura 5.

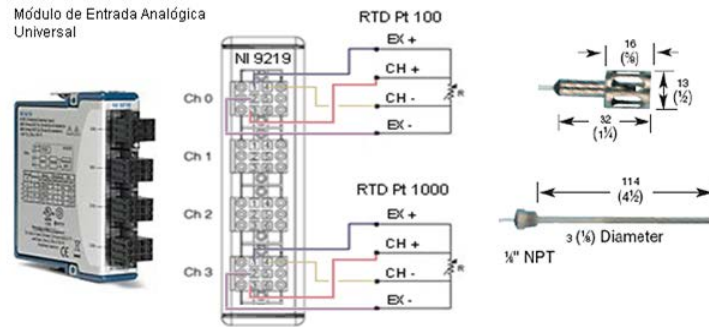


Fig. 5. Diagrama de conexión eléctrica entre dos RTD y un módulo NI 9219.

• **Gases, Corrientes en bombas, ventiladores y cambia TAPS**

Para la obtención de las corrientes consumidas por las bombas de aceite, ventiladores de enfriamiento y cambia taps de derivaciones, se tienen los transductores de tipo i-Snail con salida 4-20mA, los que son soportados por el módulo NI 9208. Estos transductores trabajan con tecnología por inducción.

Para la obtención de la concentración de hidrógeno disuelto en el aceite de refrigeración del autotransformador y el por ciento de humedad en el mismo, se tiene instalado el Calisto, un instrumento de medición que introduce dos transductores en el transformador brindando dos salida 4-20mA equivalentes a dichas mediciones. Este rango de corriente es soportado por dicho módulo. El primero presenta tecnología de capilares huecos de teflón y el otro, para la detección de humedad, presenta tecnología resistiva. El esquema de conexión se muestra en la figura 6.

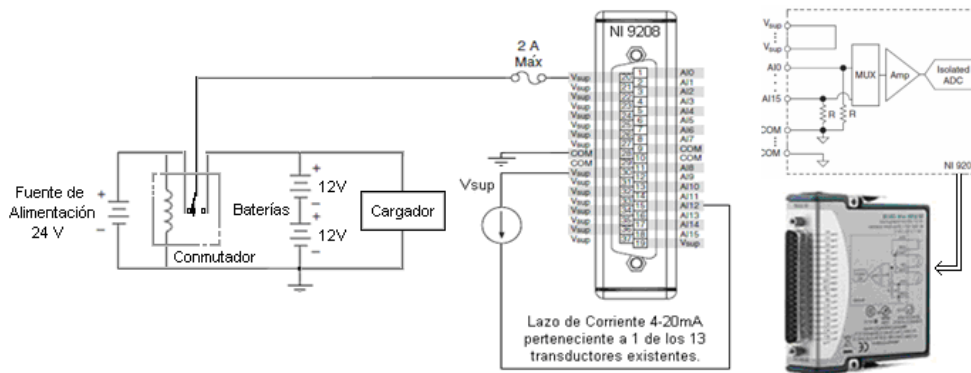


Fig. 6. Diagrama de conexión eléctrica entre un transductor con salida 4-20mA y el módulo NI 9208.

• **Estado (ENCENDIDO/APAGADO) de bombas, ventiladores y protecciones propias**

Para la detección del estado de: bombas, ventiladores y protecciones propias del Autotransformador se tiene un relé por cada elemento. A las entradas de cada contacto normalmente abierto de los relés se aplicó voltaje igual a +24V DC proveniente del conmutador que intercambia la alimentación de éste entre la fuente de alimentación y el banco de baterías.

Cuando cada relé es activado por el Autotransformador, la señal de voltaje del transductor digital pasa al pin correspondiente en el módulo seleccionado NI 9425. En total son 26 variables digitales y en la figura 7 se representa el diagrama de conexión eléctrica entre un transductor y el módulo, siendo así para los otros 25 transductores restantes.

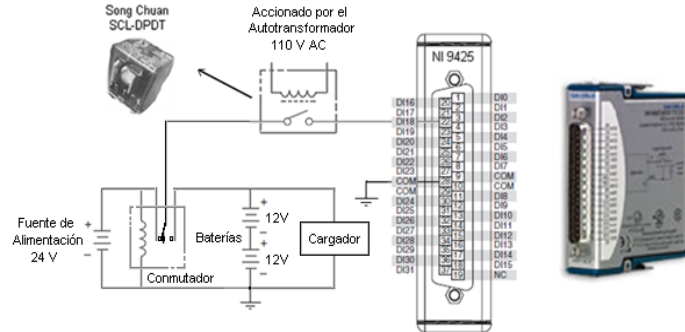


Fig. 7. Diagrama de conexión eléctrica entre un relé y un canal del módulo NI 9425.

• **Activación de alarma sonora y visual externa**

Para llevar a cabo el manejo de la alarma sonora y visual externa conformada por un timbre electrónico y una lámpara Light Emitting Diode (LED) respectivamente con voltajes de alimentación igual a 24V DC y 0,41A de corriente total demandada, se utiliza un solo pin del módulo NI 9474, pues este logra manejar hasta 1A, valor superior al necesitado. Para proteger este módulo ante cortocircuito en las alarmas, se intercaló un fusible de 1A. En la figura 8 se muestra el diagrama de conexión eléctrica.

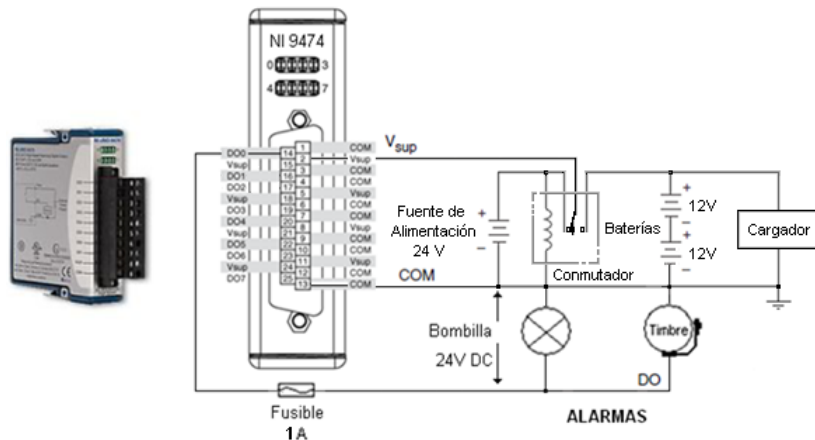


Fig. 8. Diagrama de conexión eléctrica entre alarma externa y módulo NI 9474.

CHASIS RECONFIGURABLE

El Chasis Reconfigurable NI cRIO 9118 seleccionado para trabajar con el Controlador NI cRIO-9025 contiene un Field Program Gate Array (FPGA), de la familia Xilinx Virtex-5 LX110 proporciona alta potencia de procesamiento. El núcleo RIO de NI cRIO 9118 puede pasar señales directamente de un módulo a otro y está conectado al controlador de CompactRIO a través de un bus local Peripheral Component Interconnect (PCI) para máxima velocidad. En la figura 9 se muestra el chasis mencionado.



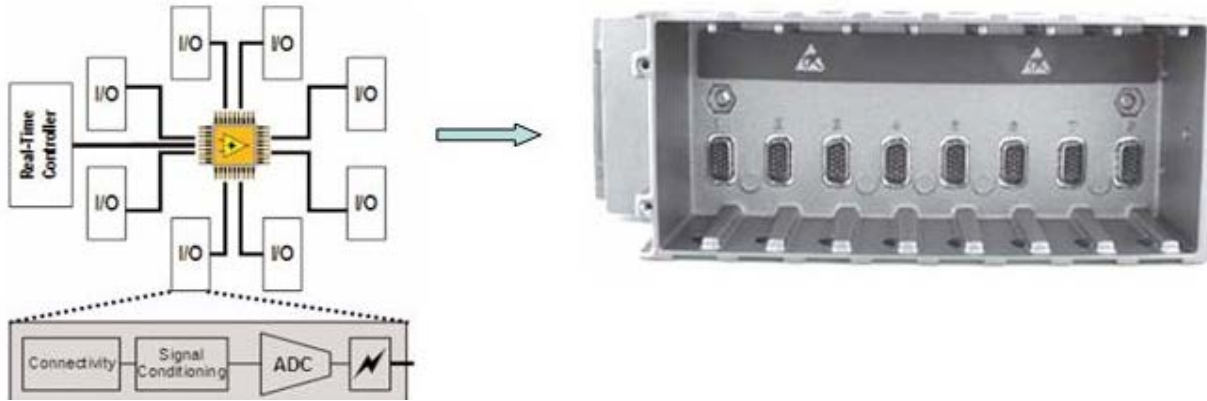


Fig. 9. Imagen del Chasis Reconfigurable NI cRIO 9118.

CONTROLADOR EMBEBIDO EN TIEMPO REAL

Este dispositivo electrónico NI cRIO-9025 es parte de la plataforma del Controlador de Automatización Programable (PAC) de alto rendimiento CompactRIO. Tiene un controlador embebido que ejecuta LabVIEW Real-Time para control, análisis y registros de datos. El mismo se muestra en la figura 10.

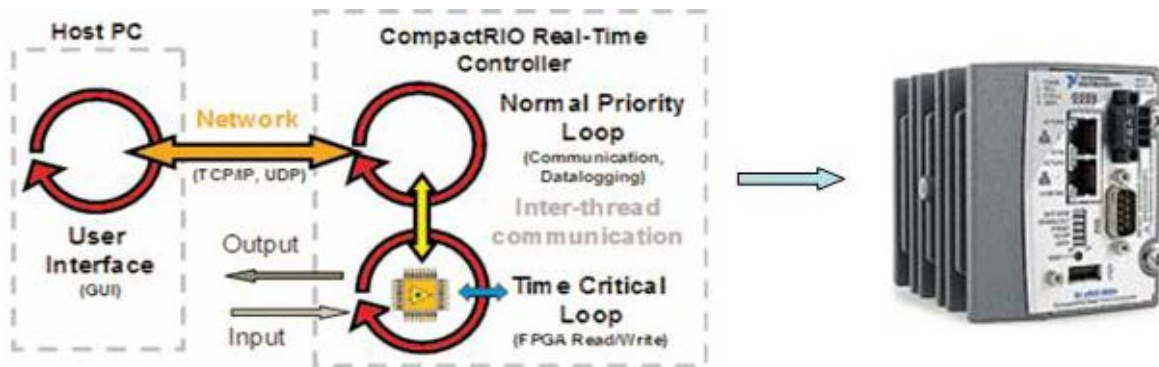


Fig.10. Controlador Embebido en Tiempo Real NI cRIO-9025.

Este controlador presenta un procesador industrial en tiempo real Freescale MPC8377 de 800MHz para aplicaciones en tiempo real determinante y fiable, contiene 512MB de RAM DDR2 y 4GB de almacenamiento no volátil para conservar programas y registro de datos, puerto dual Ethernet, serie RS-232 y Universal Serial Bus (USB). El mismo, robusto y fiable, está calificado con los certificados industriales extremos lo cual hacen este dispositivo ideal para el nuevo sistema de adquisición y procesamiento de datos propuesto, diseñado para bajo consumo de potencia con doble entradas de suministro de energía de 9 a 35V CD que proporcionan potencia aislada al chasis/módulos CompactRIO y un rango de temperatura de operación de -20 a 70 °C.

DISEÑO DE SOFTWARE

El software está basado en programación gráfica LabVIEW versión 10 con el módulo de tiempo real adicionado y brinda la posibilidad de contar con un solo programa para lograr la adquisición, procesamiento, cálculos, visualización, almacenamiento de datos medidos y otros mediante Database. El mismo utiliza los recursos DataSocket Server para el envío de información en tiempo real a través de la red. Dicho software permite controlar el sistema completo a través de navegadores de Internet mediante WEB Server. Database, Datasocket y WEB Server, son componentes que brinda ésta plataforma de programación.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SOFTWARE

El mismo está alojado en el Controlador Embebido en Tiempo Real NI cRIO-9025 y realiza la adquisición de 55 variables analógicas y digitales de los diferentes transductores y acondicionadores de señal existentes en la

instalación cada 300ms, además controla mediante un módulo actuador el estado de activo o desactivo de la alarma sonora y visual externa.

La señales analógicas son procesadas en software con la implementación de una etapa de filtraje Finite Impulse Response (FIR) tipo pasa bajo aplicada a las variables de voltajes y corrientes referidas a las de fase en el AT con frecuencia de corte igual a 80Hz y otra etapa de filtraje Infinite Impulse Response (IIR) tipo pasa bajo para las variables de gases y corrientes consumidas por los motores de bombas, ventiladores y cambia derivaciones del AT con frecuencia de corte igual a 40Hz.

Existe otra etapa de filtraje para las variables digitales pertenecientes a los estados de las protecciones propias del AT, las bombas y los ventiladores, que consiste en la implementación de un temporizador con desbordamiento igual a 1s que activa alarmas visuales y sonora en software y y hardware si el parámetro anormal se mantiene durante ese tiempo.

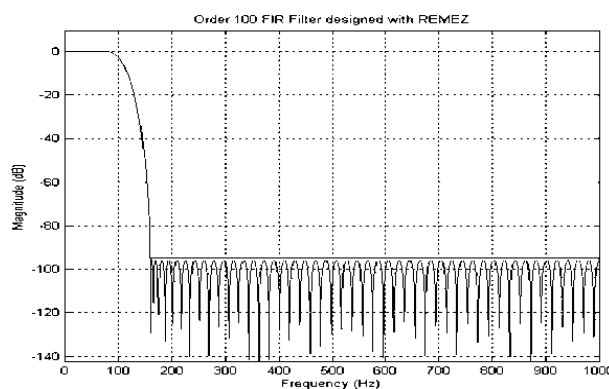
El software está diseñado para realizar cálculos estadísticos a las variables analógicas cada 5 minutos con la inserción de los mismos en la base de datos que éste crea con extensión Microsoft Data Base (mdb). Además puede implementar la modelación convencional de la temperatura del aceite superior del MIT y mostrar en gráficas y tablas toda la información del sistema de adquisición y procesamiento de datos, de igual forma permite utilizar inteligencia artificial en el desarrollo de otros tipos de modelo. Para la seguridad del sistema de diagnóstico el programa presenta tres tipos de usuarios, cada uno con diferentes privilegios.

## FILTRAJE POR SOFTWARE

Los filtros utilizados son FIR e IIR tipos pasa bajos. En el primero, con la implementación del método por ventaneo se ajustaron los siguientes parámetros:

- Topología del filtro: Pasa bajo.
- Frecuencia de muestreo: 50kHz.
- Ripple de la banda de paso: 0.1dB.
- Tope de atenuación de la banda de eliminación: 95dB.
- Frecuencia de Corte: 80Hz.
- Frecuencia de la banda de atenuación: 160Hz.
- Número de Taps: 100.

En la figura 11 se muestra la gráfica de la magnitud (dB) en función de la frecuencia (Hz) del filtro propuesto mediante la plataforma de programación de MATLAB.



**Fig. 11. Respuesta del filtro FIR de magnitud (dB) en función de la frecuencia (Hz).**

En el segundo, para la etapa de filtraje IIR se utiliza la función Elíptica y se ajustan sus parámetros según se muestran a continuación.

- Topología del filtro: Pasa bajo.
- Frecuencia de muestreo: 50kHz.
- Ripple de la banda de paso: 0.1dB.
- Tope de atenuación de la banda de eliminación: 95dB.
- Frecuencia de Corte: 40Hz.
- Frecuencia de la banda de atenuación: 60Hz.
- Orden del Filtro: 9.



En la figura 12 se muestra la gráfica de la magnitud (dB) en función de la frecuencia (Hz) del filtro propuesto mediante la plataforma de programación de MATLAB.

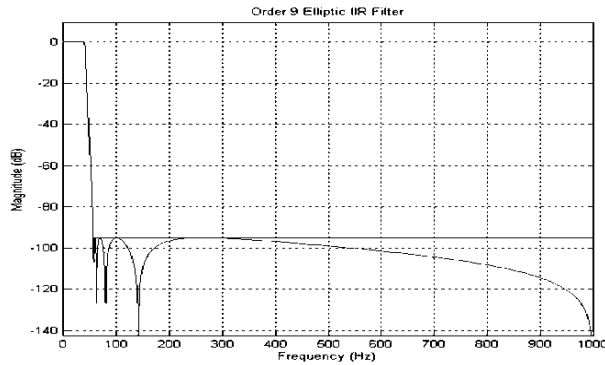


Fig. 12. Respuesta de magnitud (dB) en función de la frecuencia (Hz) del filtro Elliptic IIR.

Para determinar si el sistema es estable con el filtro de tipo IIR se utilizó la herramienta Filter de MATLAB, demostrándose mediante un pequeño software que el mismo era estable. Esto se comprobó al obtener el diagrama de polos y ceros en el plano Z de la circunferencia de radio unitario, quedando todos sus polos de la función de transferencia dentro de misma.

DETECCIÓN DE ALARMAS EN VARIABLES ANALÓGICAS

La misma consiste en un filtro por temporización con desbordamiento de 1s para variables pertenecientes a: voltaje y corriente de fase; frecuencia; factor de potencia; temperatura; concentración de gases disueltos, corrientes de bombas y ventiladores. La misma detecta fallas cuando el valor de la señal correspondiente a cada variable se va fuera del rango ajustado por un tiempo mantenido igual al de desbordamiento. Para las dos últimas variables el detector de esta alarma espera 3s teniendo en cuenta el arranque de los motores y determina si estos están o no con la orden de funcionamiento.

DETECCIÓN DE ALARMAS EN VARIABLES DIGITALES

Esta función consiste en descartar efectos no deseados en las mediciones de variables pertenecientes al estado de las bombas, ventiladores y protecciones propias. El tiempo que demora en reportar la alarma es de aproximadamente 1s y además reconoce cuales y cuantos ventiladores y bombas deben de estar en funcionamiento según la temperatura comprendida entre el aceite superior e inferior. En la tabla 1 se muestra la relación entre temperaturas, bombas y ventiladores.

Tabla 1. Relación de temperaturas, bombas y ventiladores.		
RELACIÓN DE TEMPERATURA CON BOMBA Y VENTILADORES		
Temperatura del aceite superior e inferior	Bombas activas	Ventiladores activos
0-35 °C	Ninguna	Ninguno
35-44,17°C	B1	V1, V2
44,17-53,34 °C	B1, B2	V1, V2, V3
53,34-62,51 °C	B1, B2, B3	V1, V2, V3, V4
62,51-71,68 °C	B1, B2, B3, B4	V1, V2, V3, V4, V5
71,68 °C -	B1, B2, B3, B4	V1, V2, V3, V4, V5, V6

CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

El sistema realiza funciones estadísticas para el seguimiento y comportamiento de las variables de diagnóstico. Estas son: valores máximo, mínimo, mediana, varianza, desviación estándar, media, moda y momento los cuales son aplicados a 46 cadenas numéricas que se forman por el diseño de software perteneciente a las mediciones realizadas y cálculos de potencia. Estas funciones estadísticas se realizan cada periodo de 5 minutos.

## MODELO MATEMÁTICO

El modelo para el cálculo de la temperatura del aceite superior dado por la IEEE Std. C57.91 en su cláusula 7 [3], es fundamental para la predicción de la temperatura del aceite superior. Sin embargo, tiene la limitación de que no es el más ideal, para ser aplicado en sistemas de monitoreo en línea (on-line). Buscando corregir esta deficiencia el grupo de investigación del MIT liderado por Lesieutre [4], propuso en el año 1997 el modelo modificado de la temperatura del aceite superior que es una mejora a la indicada en la referencia [3], así ellos proponen:

$$T_0 * \frac{d\theta_0}{dt} = -\theta_0 + \theta_a + \Delta\theta_{0u} \quad (1)$$

Que de forma discreta se expresa:

$$\theta^0 [k] = k^1 * \theta^0 [k-1] + (1-k^1) * \theta_a [k] + \left[ (K^2)(K[k])^2 + k^2 \right]^n \quad (2)$$

El autor de [2] considera para su simplificación “n”=1 para el modo de enfriamiento, donde se reduce a la expresión del modelo lineal:

$$\theta_0 [k] = k^1 * \theta^0 [k-1] + (1-k^1) * \theta_a [k] + K^2 * (K[k])^2 + k^2 \quad (3)$$

A continuación se procede a la estimación de esta secuencia numérica de valores de temperatura por el método de los mínimos cuadrados.

## ALGORITMO DE SOLUCIÓN POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

En su forma más simple, intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la función y los correspondientes en los datos. El VI utilizado para estimar los valores de la temperatura del aceite superior es el de nombre General Polynomial Fit y realiza el siguiente algoritmo:

$$y[i] = \sum_{j=0}^m a_j (x[i])^j \quad (4)$$

Donde (y) representa la secuencia de salida de la temperatura del aceite superior, (x) la secuencia de entrada de ésta, (a) los coeficiente del polinomio, y (m) el orden del mismo.

## USUARIOS DEL SISTEMA

Después de la ventana de “Bienvenida” aparece la de “Seguridad” con tres tipos de usuarios, entre los que se encuentra: “Especialista”, “Administrador” y “Director”, cada una con diferentes privilegios. El usuario “Especialista” es aquel que puede configurar y visualizar la parte de tiempo real con acceso al sistema de adquisición y procesamiento de datos mediante un navegador cualquiera de Internet. El usuario “Administrador” puede insertar o borrar Datos de Chapa y Pruebas realizadas off-line del propio autotransformador en diagnóstico. El usuario “Director” es el de menor peso ya que solo puede ver el estado del autotransformador.

## MEDICIONES OBTENIDAS

Se presentan cuatro figuras (13-16), la primera pertenece a “voltajes de fase”, la segunda a “tiempo real”, la tercera a las “bombas, ventiladores y cambia derivaciones”, y la cuarta pertenece al “cálculo de la temperatura del aceite

superior” mediante el modelo del MIT descrito por la ecuación (3) cuyos datos se encuentran en la base de datos alojada en el controlador.

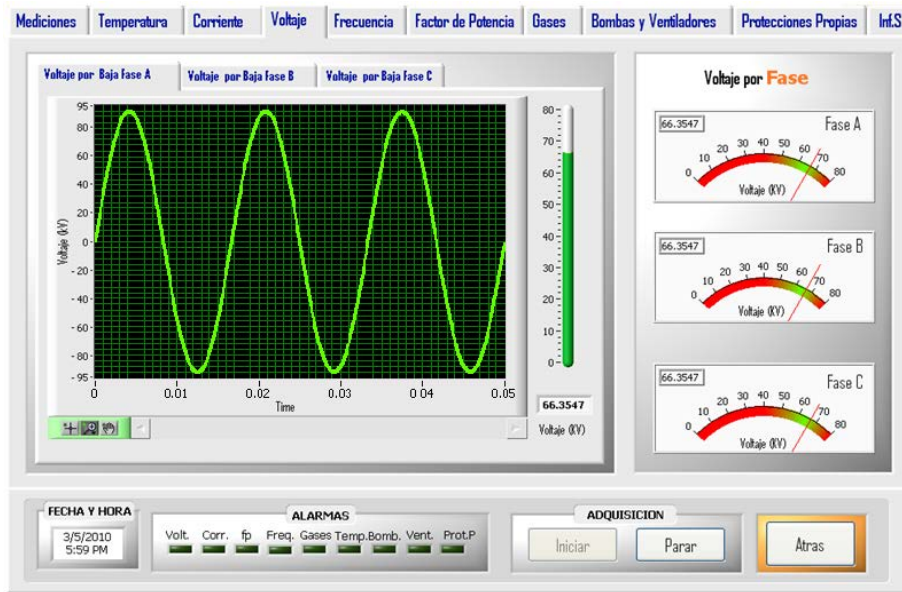


Fig. 13. Ventana visualizando voltajes de fase del AT.

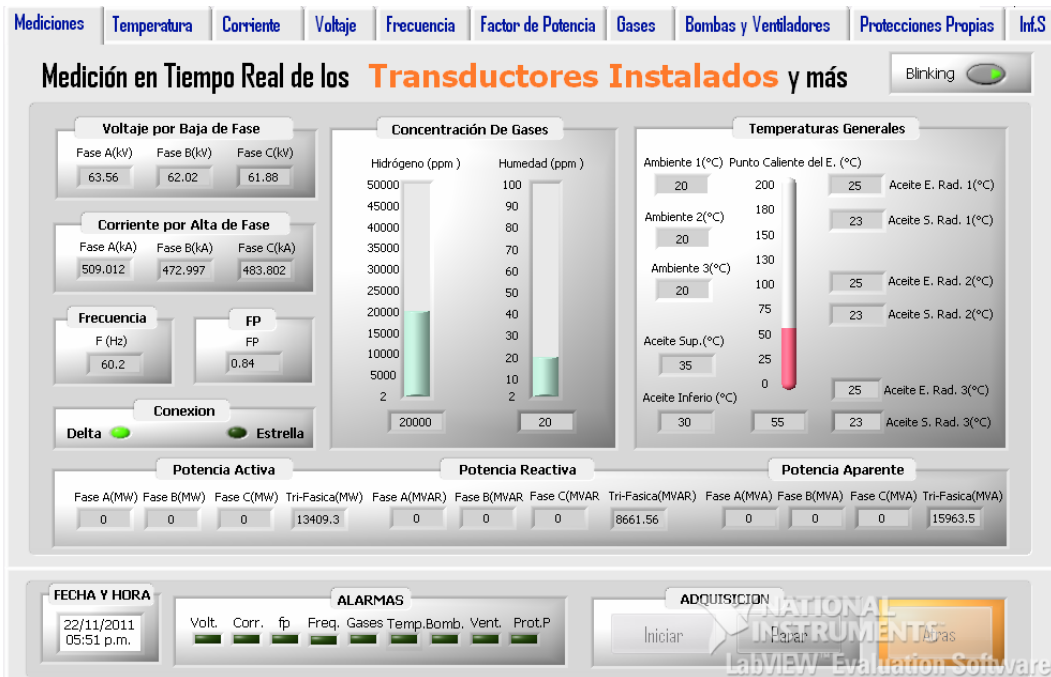


Fig. 14. Ventana visualizando las principales mediciones en el AT.



Fig. 15. Ventana visualizando es estado y la corriente de consumo de las bombas, los ventiladores y el cambia derivaciones del AT.



Fig. 16. Ventana visualizando la temperatura del aceite superior mediante el cálculo del MIT.

## CONCLUSIONES

Con el nuevo diseño de hardware y software para el Sistema de Adquisición y Procesamiento de Datos de la Estación de Diagnóstico de Estado del Autotransformador No.2 de Barquisimeto se obtiene:

- Resultados más exactos en las mediciones actuales, ya que los módulos de adquisición de datos presentan etapa de filtraje, mayor resolución y frecuencia de muestreo.
- Posibilidad de introducir otros transductores al sistema de diagnóstico actual producto a la conectividad del controlador seleccionado con chasis de expansión.

- Mayor robustez con certificados industriales extremos y reproducibilidad del sistema con costos reducido.
- Unificación del sistema de software conteniendo todas las funciones de la estación en un mismo programa.
- El envío de datos en tiempo real a través de la red mediante DataSocket.
- Una mejor interface hombre-máquina.

## REFERENCIAS

- [1]. "Diagnóstico Integral". Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba, [consulta: 20 de enero del 2009], Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/uct/v10n41-Especial/art04.pdf>
- [2]. PÉREZ, R., "Modelación Térmica para el Diagnóstico del Aislamiento Principal en Transformadores de Potencia". [Tesis de Doctor en Ciencias Técnicas], Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Cuba, 2009.
- [3]. IEEE/ANSI. "An American National Standard IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Power Transformers". Estándar C57.91-1995, IEEE Power Engineering Society. Clausula 7, USA, 1995.
- [4]. LESIEUTRE, B. H.; KIRTLEY, J., "An Improved Transformer Top Oil Temperature Model for Use in An On-Line Monitoring and Diagnostic System". IEEE Transactions on Power Delivery. 1997, vol.12, n.1, p. 249-256, ISSN 0885-8977.
- [5]. JAUREGUI-RIVERA, L. M.; X. TYLAVSKY, D., "Improving Reliability Assessment of Transformer Thermal Top-Oil Model Parameters Estimated From Measured Data". IEEE Transactions on Power Delivery. 2009, vol.24, n.1, p 169-176, ISSN 0885-8977.
- [6]. National Instruments. "DataSocket". Tutorial [en línea]. [consulta: 18 de marzo del 2011], Disponible en: <http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/lang/en/pg/1/ap/tech/sn/catnav:tu,ssnav:dzn>
- [7]. PÉREZ, R.; *et al.*, "Sistema de Adquisición, Monitoreo y Manejo de Datos para el Diagnóstico de Grandes Transformadores de Potencia". En: Memorias del Evento LIV Convención Anual de la AsoVac-5to Congreso de Investigación de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela, noviembre 2004.
- [8]. PÉREZ, RÓMULO; *et al.*, "Sistema de Diagnostico de Transformadores de Potencia a Distancia". Revista Universidad Ciencia y Tecnología. Diciembre 2006, vol.10, n.41, p. 269-275, ISSN 1316-4821, Disponible en: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_issuetoc&pid=1316-482120060005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1316-482120060005&lng=es&nrm=iso)

## AUTORES

### **Eliezer Fernández Padrón**

Ingeniero en Electricidad. Profesor de la Escuela Nacional de la Unión Eléctrica. Cuba

### **Sergio Fernández García**

Doctor en Ciencias Técnica, Profesor del Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cujae, La Habana, Cuba.

e-mail: [sfg@electrica.cujae.edu.cu](mailto:sfg@electrica.cujae.edu.cu)

### **Rómulo Pérez Barrios**

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Agregado de la UNEXPO, Venezuela.

e-mail: [rperez@unexpo.edu.ve](mailto:rperez@unexpo.edu.ve)