



## Ensayos de pérdidas en vacío y con carga en transformadores mediante la adquisición de datos

### *No-load and load tests on transformer by data acquisition*

Josnier - Ramos Guardarrama  
Orestes Nicolás- Hernández Areu  
José Miguel - Bruzón Hernández

**Recibido :** junio de 2015

**Aprobado:** septiembre de 2015

#### **RESUMEN/ABSTRACT**

En el presente trabajo se muestra los resultados del uso de una herramienta informática para facilitar el diagnóstico de los transformadores en el área de pruebas de una fábrica. El sistema adquiere los datos a través de un puerto serie del equipo de mediciones eléctricas multipropósito. Este método de realización de los ensayos permite agilizar la cantidad de transformadores analizados en el área de pruebas, incrementando la productividad de la fábrica en su conjunto. La creación de un informe final es posible mediante el volcado de la información directamente en la base de datos de la fábrica. Gracias a esto se reduce la necesidad de utilizar registros impresos para llevar la constancia de los ensayos. La base de datos es accedida a través de la red interna presente en las instalaciones de la fábrica. El programa está desarrollado mediante software libre, con una interface gráfica que facilita el trabajo.

**Palabras clave:** Software libre, ensayos de transformadores, herramienta informática.

*The results of the use of an informatic tool to make easy the diagnosis of the transformers in a factory's testing area are shown in the present work. The system acquired data through serial port in the multipurpose electrical measurements equipment. This method of realization of the tests allows expedites the quantity of transformers examined in the testing area, incrementing the productivity of the factory is aggregate. The creation of a final report is possible by means of the dump of the information directly in the database of the factory. Because of this, it is reduces the need of utilize print reports to save all test done. The database is accessed through the internal network in the factory. The program is developed using free software with a graphical interface that makes work easier.*

**Key Words:** database, informatic tool, power transformer test.

#### INTRODUCCIÓN

Debido a la amplia utilización de los transformadores, existe una reducción de las pérdidas eléctrica por el aumento de las tensiones de transmisión y distribución de la energía. Mediante la disminución del diámetro de los cables por el aumento de la tensión eléctrica para iguales niveles de energía transmitidos, se logra un ahorro considerable en materias primas. Es por tales motivos que los transformadores de potencia son elementos claves en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

Los transformadores crean nodos en la red eléctrica para alimentar directamente a los clientes o para transmitir la energía a otro punto del sistema. Si ocurre una falla de este elemento del sistema eléctrico se dejaría sin alimentación a las cargas [1], produciéndose daños económicos considerables por la energía dejada de servir. Su reparación requiere en muchos casos del traslado del transformador hacia fábricas o talleres especializados, lo que aumenta los costos de mantenimiento y reparación.

Existe un departamento en las fábricas de transformadores eléctricos encargado de realizar las pruebas necesarias para garantizar la calidad de estos equipos. La variedad en la realización de las pruebas a los transformadores [2], precisa que se lleve a cabo un registro [3], minucioso de las mismas. Para ello es necesario que cada prueba sea registrada en un documento impreso para luego ser transferido a un sistema informático, como puede ser una base de datos centralizada.

El técnico especializado debe realizar el ensayo usando la metodología, instrumentos y conexiones apropiadas para poder guardar los resultados en el registro impreso [2,4–7]. Una vez concluido el lote de pruebas se almacena la información en la base de datos. Todo este proceso va acompañado de la asignación de los números de serie a cada transformador de potencia y tienen que ser identificadores únicos.

Los errores humanos durante el registro de la información, así como de la asignación de los números de serie de los transformadores por el método manual de los ensayos tienen una alta probabilidad de ocurrir.

Un programa informático que permita realizar las pruebas de los transformadores por conexión con un instrumento de medición multipropósito contribuiría a mejorar la eficiencia en el procesamiento de los transformadores, detección de número de serie duplicados y evitaría el uso de documentos impresos para llenar los resultados con sus consiguientes posibles errores humanos. La gestión de los ensayos por medios de una herramienta informática contribuiría a disminuir las tareas repetitivas en las líneas de ensamblaje de la fábrica.

El programa desarrollado crea una interface de control y visualización del instrumento multipropósito mediante la comunicación serie a través de la computadora. Entre sus funciones se encuentra la de informar de los posibles fallos detectados durante las pruebas. El enlace de la computadora del área de pruebas con la base de datos de la fábrica permite transferir de forma directa la información recopilada.

El lenguaje de programación escogido para realizar la herramienta informática es Python [8-9]. Tiene las características de ser un lenguaje interpretado multiparadigma y ser de propósito general. Es multiplataforma, lo cual permite encontrarlo en sistemas operativos desarrollados por la compañía de software Microsoft y en las distribuciones basadas en GNU/Linux. La versión utilizada es la 2.6.4, siendo de código abierto. Python fue creado por Guido van Rossum en "Stichting Mathematisch Centrum" (CWI) en los primeros años de 1990. Es un lenguaje de gran potencia y versatilidad, que en unión con bibliotecas para el desarrollo de aplicaciones en entornos gráficos brinda una alternativa viable a los programas presentes en el mercado con licencias restrictivas y de alto costo monetario.

### **Sistema de medición de los ensayos**

Este sistema realiza las mediciones de impedancia y pérdidas de cortocircuito, así como de corriente y pérdidas de vacío. La mesa de control se encarga de llevar a cabo los ensayos mediante el ajuste del nivel de tensión de salida de un autotransformador trifásico. Los instrumentos de la mesa de control visualizan las magnitudes de tensión y corriente eléctrica, indicadores del estado de las protecciones presentes en el sistema y otros indicadores/controles. El sistema está diseñado para mantener un estricto control con la seguridad en primera prioridad.

El sistema de pruebas genérico se compone de una alimentación trifásica, cuchilla con portafusible y un contactor magnético para el control de la energización desde la mesa del técnico. Otro elemento del sistema es la presencia del autotransformador trifásico. Su nivel de tensión eléctrica en su secundario es ajustado mediante un sistema mecánico movido por un motor eléctrico. Gracias a una lógica de control simple, se gobierna el motor eléctrico del autotransformador desde una de las botoneras de la mesa de control. Los dos últimos elementos del sistema son los transformadores de instrumentación y el propio transformador de potencia bajo ensayo. Todos los elementos mencionados se pueden observar en la figura 1.

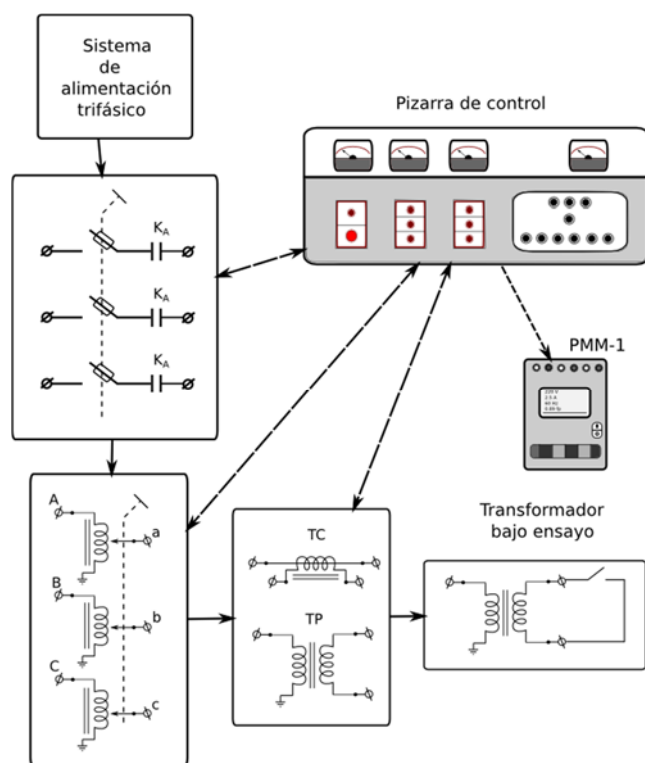


Fig. 1. Diagrama del sistema de medición utilizado en los ensayos de los transformadores de potencia

### Instrumento de medición multipropósito

Un equipo adicional que forma parte del sistema de ensayos a transformadores de potencia es el instrumento de medición multipropósito *PMM-1* [10]. Su fabricante es *Megger* y brinda los siguientes datos sobre el instrumento:

- Capacidad de funcionar sin alimentación directa de la red eléctrica mediante su batería interna.
- Tres canales de tensión y corriente independientes.
- Muestra simultáneamente tensiones, corrientes, ángulo de fase, potencia, potencia reactiva, factor de potencia y frecuencia.
- Trabaja en sistemas unifásicos o trifásicos.
- Amplios intervalos de medición.
- Medida precisa de ángulos de fase a bajos niveles de corriente eléctrica.
- Puerto de comunicación RS-232C para exportación de datos.
- Medición de armónicos hasta la componente 49 de la tensión o corriente seleccionada.

El instrumento *PMM-1* cuenta con una precisión del  $\pm 0,05\%$  de la medida entre 3 y 650V de corriente alterna. La precisión para la corriente es  $\pm 0,05\%$  entre 0,1 y 10 A. La resolución de los ángulos de fase es de  $\pm 0,01^\circ$ . Estos valores de precisión del *PMM-1* garantizan una adecuada realización de los ensayos a transformadores por cumplir con la clase de precisión de los instrumentos de medición requeridos.

La conexión por puerto serie con el ordenador tiene que estar configurada a 19 200 bit/s, un bit de arranque, 8 bit de datos, un bit de parada y sin paridad. Se debe tener en cuenta a la hora de configurar el puerto de la computadora que la comunicación sea sin control de flujo.

En la figura 2, se muestra el *PMM-1*. Para más información del instrumento ver [10].

Un instrumento multipropósito de medición con las características que se mencionan disminuye la cantidad de instrumentos a utilizar, como serían los amperímetros, voltímetros y wattímetros, por ejemplo. Un factor a tener en cuenta es que se pueden realizar las pruebas de transformadores de potencia mencionadas con anterioridad, con el mismo dispositivo de medición por su amplio rango de medición y precisión.



Fig. 2. Instrumento de medición multipropósito PMM-1

### Autotransformador trifásico

El autotransformador cuenta con la capacidad de 10 kVA, con una tensión de alimentación de 230 V y un rango de regulación de 0 a 500 V. El motor del regulador de tensión es de corriente alterna, controlado por un circuito basado en contactores magnéticos para su control. La inversión de giro del motor permite aumentar o disminuir la tensión de salida del autotransformador. El motor de inducción cuenta con una potencia de 300 W y una tensión nominal de 230 V.

### Desarrollo de la herramienta

El programa creado como herramienta informática para gestionar las pruebas de transformadores tiene el nombre de *ETD*, en su versión 1.1. Se cuenta con una interface gráfica desarrollada con la biblioteca *Gtk* versión 2.28.3 [11]. El acceso al puerto serie de la computadora para la comunicación con el PMM-1 es a través de módulo *pyserial* versión 2.7 [12]. Existen otros módulos utilizados en la aplicación, como por ejemplo, el módulo *datatime*, *io* y *logging*. La base de datos de la fábrica de transformadores está funcionando bajo *Microsoft Access*.

Para la comunicación bidireccional con el instrumento digital multifuncional PMM-1, se creó una clase llamada "instrumento". Las funciones de dicha clases son:

- Configuración del puerto serie a 19 200 bits por segundo, 8 bits de datos, sin paridad, con 1 bit de parada y sin control de flujo.
- Diagnóstico del estado de la conexión por puerto serie RS-232. Se encarga de evitar errores y caídas del sistema, por ejemplo, durante una desconexión del cable serie durante el proceso de adquisición de datos por error.
- Conversión de los datos recibidos del instrumento en una estructura de datos adecuada para el trabajo en Python.
- Separación entre comandos de configuración del instrumento y comandos de adquisición.
- Escalar o normalizar los datos recibidos.

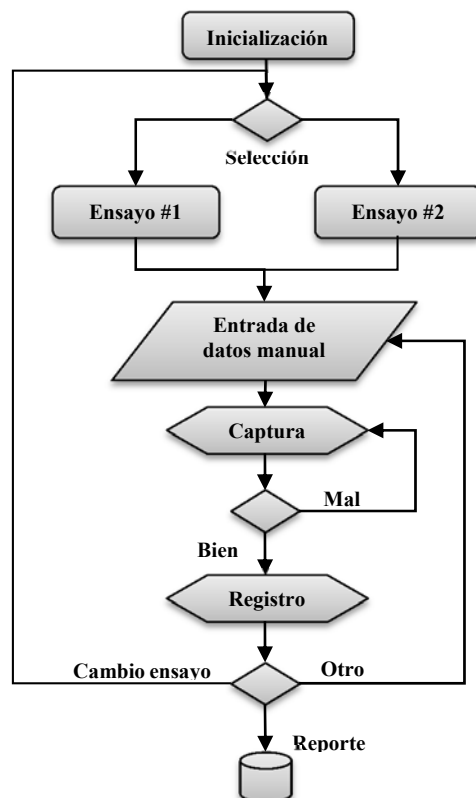
En el caso de la manipulación de la base de datos, no fue necesaria crear una clase de Python para trabajar con Access. Con la elaboración de funciones dentro del cuerpo del programa principal fue suficiente para actualizar, agregar, borrar y visualizar la información de la base de datos.

Las funciones más importantes incorporadas al programa para manipular la base de datos son:

- `on_config_base_datos`: Se encarga de realizar la configuración necesaria para acceder a la base de datos.

- BD\_actualizar: Actualiza la información presente en la herramienta de software a partir de la tabla de entrada de datos en la base de datos remota.
- on\_borrar\_fila\_BD\_botton: Borra todos los datos almacenados de un transformador específico.
- on\_base\_datos\_guardar\_button: Almacena toda la información recopilada durante los ensayos en la base de datos remota.

La interface visual fue creada mediante la clase PyApp. En la figura 3, se detalla el funcionamiento de la herramienta desde la visión del operador (usuario). Cuando se ejecuta la aplicación, la primera tarea es la carga de las bibliotecas necesarias, inicialización de las estructuras de datos y presentación del entorno gráfico listo para comenzar a trabajar. La inicialización incluye la verificación de la conexión por puerto serie con el instrumento digital y el establecimiento de consultas a la base de datos (no es obligatorio trabajar con la base de datos). El próximo paso es la selección de uno de los dos posibles ensayos. Por defecto la aplicación brinda seleccionado la medición de corriente y pérdidas de vacío. Por motivos operativos, se le facilita al operador la posibilidad de comenzar por el otro ensayo de ser necesario.



**Fig. 3. Algoritmo de trabajo de la herramienta informática para realizar el reporte de medición de los ensayos de vacío y con carga en transformadores**

Una vez definido el ensayo, el resto del proceso es similar para las dos pruebas, se realiza una entrada manual de datos de chapa del transformador, incluyendo su respectivo código de identificación asignado por la fábrica. De existir las mediciones de resistencia eléctrica de los devanados del transformador, se insertan sus valores, incluida la temperatura ambiente a la que se está trabajando.

La magnitud requerida se fija en dependencia del tipo de ensayo, la cual es visualizada en la computadora mediante el botón de muestreo. Cuando se obtienen las mediciones, se adquieren con un botón de la aplicación los valores medidos por el instrumento digital. Esto almacena temporalmente en memoria todos los datos introducidos manual y a través del instrumento digital en una misma fila. Existen campos relacionados con el otro ensayo no activo, en espera de ser actualizados. Lo explicado anteriormente está reflejado en la figura 2, entre la etapa de captura y registro.

Cada vez que se termine de introducir una medición, es posible realizar otra, basado en el mismo tipo de ensayo para otro transformador, cambiar el ensayo que se está realizando, o finalizar las pruebas volcando toda la información recopilada en la base de datos (generar el reporte de la batería de transformadores probados).

Se le ha incorporado la capacidad de mantener un registro al programa, de las operaciones y mediciones realizadas. Este mecanismo permite llevar una traza para en caso de un colapso del sistema (computadora averiada), llegar a deducir el reporte a entregar a la base de datos. Si se presentan problemas de conexión con la base de datos remota, pues se cuenta con el volcado de la información en un fichero de texto como alternativa.

En la figura 4, se muestra la herramienta cargada y lista para comenzar a trabajar. La interface visual está dividida en tres partes bien diferenciadas. La número uno se encarga de visualizar las mediciones de tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, desfasaje entre tensión y corriente, y la frecuencia de la red. Se permite seleccionar distintas ganancias en los transformadores de potencial y corriente. La parte número dos dispone de los controles para introducir los datos de chapa. El ID (código de identificación único del transformador), potencia, tensión nominal, corriente nominal, porcentaje de regulación, polaridad, son ejemplos de los datos introducidos manualmente y que forman parte del reporte de ensayo.

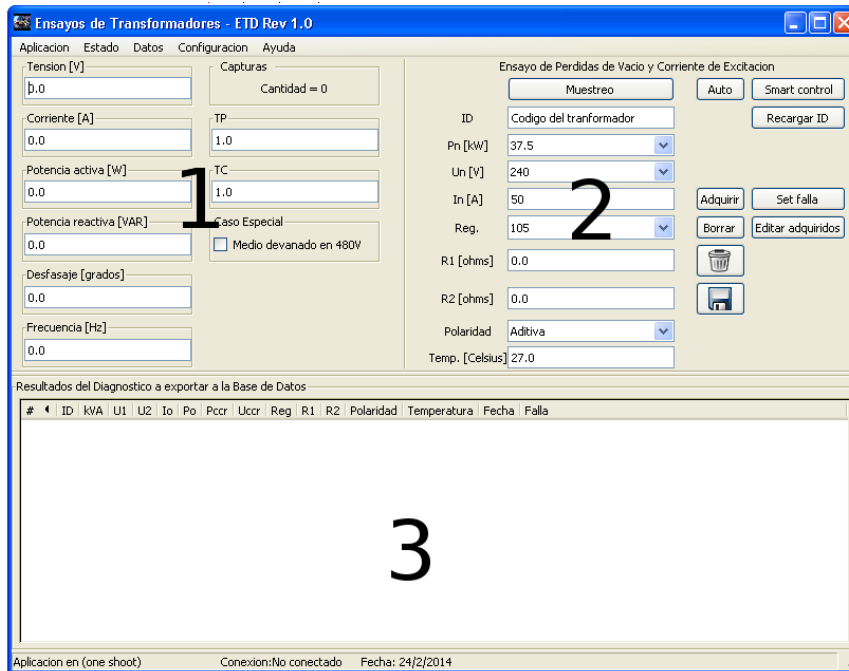


Fig. 4. Herramienta de gestión de los ensayos a transformadores de potencia a través del PMM-1.

Los botones presentes en esta parte del programa se encargan de todo el registro del diagnóstico de los transformadores. Cada botón se encarga de:

- Muestreo: Actualización de las magnitudes eléctricas medidas por el instrumento digital.
- Auto: Idéntico que el botón anterior, pero de forma automática a intervalos de 2 segundos.
- Smart control: No implementado en esta versión del programa.
- Recargar ID: Se encarga de obtener y reescribir en los datos de chapa, la etiqueta ID a partir de una fila seleccionada en la parte número 3 (registro).
- Adquirir: Transfiere al registro temporal los datos introducidos manualmente en conjunto con las mediciones del PMM-1.
- Borrar: Se encarga de borrar una fila en el registro temporal (parte tres de la aplicación).
- Set falla: Si se detecta una falla durante las pruebas, se informa en el reporte mediante un menú contextual activado por este botón.
- Editar adquiridos: Permite modificar manual las entradas en el registro. Facilita la corrección de errores (ejemplo, un código de transformador mal introducido).
- Los otros dos botones: Como sus iconos gráficos representan, borrado de todo el registro temporal y almacenamiento del reporte en la base de datos remota respectivamente.

La parte número tres es donde se almacena los registros de cada uno de los transformadores de distribución sometidos a ensayos. Cada fila presente corresponde a un transformador identificado por la ID. Además de los datos mencionados anteriormente, se incorpora automáticamente la fecha de realización de las pruebas.

### Control del instrumento PMM-1

La comunicación con el PMM-1 se realiza mediante un puerto serie RS-232C y una computadora. Para cumplir este objetivo, se requiere del uso del módulo *pyserial* de *Python*. Dicho módulo presenta una gran capacidad de configuración y nos permite trabajar de forma semejante a si estuviéramos frente a un terminal serie para depuración, por ejemplo.

El algoritmo para el control del PMM-1 se desarrolló independiente del código fuente principal de la aplicación. Esto ayuda a depurar errores de comunicación y a realizar actualizaciones del programa sin necesidad de afectar el resto de la herramienta. Si el fabricante desplaza el instrumento de medición actual por una versión mejorada del mismo, con nuevas prestaciones y con cambios en el protocolo de comunicación; entonces se puede ajustar el código de la aplicación de forma transparente al resto de la misma, delimitando posibles bug del sistema.

El instrumento de medición agrupa todos los comandos en grupos por sus funciones, las cuales son:

- Comandos de modo.
- Comandos de configuración.
- Comando de pedido.
- Comandos de calibración.

La secuencia de trabajo del instrumento es la de realizar una verificación de ser necesaria antes de realizar cualquiera de las demás tareas. Luego se reconfigura para la aplicación donde se requiera usar el instrumento. Una vez que todo lo anterior esté listo se procede a realizar solicitudes de medición mediante el comando de pedido. Cada vez que se realiza una petición, se transfiere por puerto serie un lote de datos ordenados con las magnitudes adquiridas al momento de realizar la orden.

### Resultados y Discusiones

Se realizaron pruebas a transformadores de potencia de 10kVA, 37,5kVA y 75kVA monofásicos. Los resultados muestran que se logra agilizar el proceso de entrada de datos de los transformadores al sistema de la fábrica, aprovechando los intervalos de tiempo entre la preparación de las pruebas entre transformadores en la estera transportadora. La forma tradicional implica que al final del ciclo de realización de las pruebas, era necesario pasar todos los registros a la base de datos, consumiendo un tiempo importante al final del turno de trabajo.

Al entrar datos entre pruebas de transformadores, ya no es necesario disponer del tiempo al finalizar todas las pruebas. La información transferida a la computadora es mostrada simultáneamente en la pantalla de instrumento de medición, lo que permite la inspección simple de las mediciones y su transferencia. Se facilita al técnico operador de la herramienta la capacidad de introducir en el momento de detectar la falla de un transformador de potencia, el seleccionar el tipo de falla probable y de almacenar inmediatamente en el registro.

### CONCLUSIONES

La herramienta informática presentada gestiona la adquisición y procesado de los datos durante los ensayos de pérdidas en vacío y con carga de los transformadores de la fábrica. Se cuenta con un aumento de la cantidad de equipos analizados por día y una mayor confianza en las mediciones. Al ser desarrollada la aplicación mediante software libre, no hay necesidad de pagar licencias. Una aplicación semejante privativa tiene un alto costo de inversión para la fábrica.

Las posibilidades para continuar automatizando el área de diagnóstico abiertas por este programa, permite continuar aumentando el grado de eficiencia y disminución de los tiempos de ensayo. Las pruebas realizadas durante un ciclo de producción demostraron resultados satisfactorios de la utilización de esta herramienta.

### RECONOCIMIENTOS

El agradecimiento a todos los técnicos y especialistas de la fábrica de transformadores Latino, La Habana, Cuba, que brindaron su tiempo y experiencia en la realización de una herramienta para la gestión de las pruebas a transformadores, en especial a los trabajadores del área de pruebas.

## REFERENCIAS

- [1]. Cipriani G, et al. Electrical distribution substation remote diagnosis and control system. Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), 2014 16th International: 2014. p. 1300-1305.
- [2]. IEEE Xplore. IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. IEEE Std C571200-2010 (Revision of IEEE Std C571200-2006). 2010 Sept 2010.1-70. DOI [10.1109/IEEESTD.2010.5575268](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5575268).
- [3]. IEEE Xplore. IEEE Standard for the Electronic Reporting of Transformer Test Data. IEEE Std 1388-2000. 2001 2001.i-12. DOI [10.1109/IEEESTD.2001.92334](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2001.92334).
- [4]. IEEE Xplore. IEEE Standard Requirements for Liquid-Immersed Power Transformers. IEEE Std C571210-2010 (Revision of ANSI C571210-1997). 2011 Janeiro 2011.1-58. DOI [10.1109/IEEESTD.2011.5685836](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.5685836).
- [5]. IEEE Xplore. IEEE Standard Requirements for Liquid-Immersed Power Transformers - Redline. IEEE Std C571210-2010 (Revision of ANSI C571210-1997) - Redline. 2011 Janeiro 2011.1-139.
- [6]. Zhang H, et al. Study on high precision data acquisition system for transformer test. En: Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, 2005 ICEMS 2005. p. 1731-1735 Vol. 1733. DOI [10.1109/ICEMS.2005.202855](https://doi.org/10.1109/ICEMS.2005.202855).
- [7]. Silva IN, et al. Using intelligent systems in experimental signal analysis for power transformer diagnosis. En: Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2014 IEEE International. p. 1240-1244. DOI [10.1109/I2MTC.2014.6860942](https://doi.org/10.1109/I2MTC.2014.6860942).
- [8]. Serna MA, et al. A visual programming framework for wireless sensor networks in smart home applications. En: 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP). p. 1-6. DOI [10.1109/ISSNIP.2015.7106946](https://doi.org/10.1109/ISSNIP.2015.7106946).
- [9]. Nguyen HQ, et al. Low cost real-time system monitoring using Raspberry Pi. En: 2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN). p. 857-859. DOI [10.1109/ICUFN.2015.7182665](https://doi.org/10.1109/ICUFN.2015.7182665).
- [10]. megger.com. Megger - PMM-1. [Citado 2015-06-09]. Disponible en: [www.megger.com](http://www.megger.com).
- [11]. gtk.org. The GTK+ Project. [Citado 2015-06-09]. Disponible en: [www.gtk.org.html](http://www.gtk.org.html).
- [12]. pyserial.sourceforge.net. Welcome to pySerial's documentation — pySerial 2.7 documentation. [Citado 2015-06-09]. Disponible en: <http://pyserial.sourceforge.net/>.

## AUTORES

### **Josnier Ramos Guardarrama**

Ingeniero eléctrico, Master en Ingeniería Eléctrica, Profesor Asistente, Centro de Investigaciones y pruebas electroenergéticas, CIPEL, Facultad de Electrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae. La Habana, Cuba  
e-mail: [josnier@electrica.cujae.edu.cu](mailto:josnier@electrica.cujae.edu.cu)

### **Orestes Nicolás Hernández Areu**

Ingeniero eléctrico, Investigador Titular, Doctor en Ciencia. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Facultad de Ingeniería Electrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae. La Habana, Cuba  
e-mail: [orestesh@electrica.cujae.edu.cu](mailto:orestesh@electrica.cujae.edu.cu)

### **José Miguel Bruzón Hernández**

Ingeniero eléctrico, Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Asistente adjunto al Centro de Investigaciones y Pruebas Electronergéticos (CIPEL, Facultad de Ingeniería Electrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae. La Habana, Cuba.  
e-mail: [bruzon@latino.epem.une.cu](mailto:bruzon@latino.epem.une.cu)