

Experiencias Obtenidas en Soluciones de Bajo Costo Creando Instrumentos de Mediciones Eléctricas Usando LabVIEW

Juan Ramírez^a, Edison Novoa^a, Miguel Argoti^b

^a Departamento de Energía Eléctrica/Escuela Politécnica Nacional

^b Departamento de Automatización Industrial/Escuela Politécnica Nacional

Resumen— En este documento se discuten las experiencias obtenidas en el Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional en la utilización de LabVIEW como herramienta de adquisición y tratamiento de datos en la creación de instrumentos de medición de magnitudes eléctricas de muy bajo costo.

Se presentan las ventajas, facilidades y retos que ha constituido la creación de instrumentos de medición eléctrica para diferentes aplicaciones que se han presentado en el Departamento de Energía Eléctrica y que no se podían solucionar por la indisponibilidad de equipos especiales y de un gran valor económico para cada caso.

Se muestra el proceso de creación de tales instrumentos y los resultados generales en aplicaciones como: el diseño de un pequeño sistema SCADA multimáquina de generación de electricidad, medición del factor de pérdidas dieléctricas en aislamientos eléctricos, medición de potencia en paneles solares fotovoltaicos.

Palabras Claves— Ingeniería eléctrica, educación, experiencias de aprendizaje, instrumentación, adquisición de datos.

Abstract— This paper discusses the experiences obtained in the Electric Power Department of the National Polytechnic School in the use of LabVIEW as a tool for data acquisition and processing in the creation of inexpensive instruments of measurement of electrical quantities.

The advantages, facilities and challenges of the creation of electric measuring instruments for different applications presented in the Electric Power Department are presented and that could be hardly solved due to the unavailability of special equipment and a great economic value for each case.

This paper shows the process of creating such instruments and the general results in applications such as: the design of a small multi-machine SCADA system for electricity generation, measurement of the dielectric loss factor in electrical insulation, power measurement in photovoltaic solar panels.

Keywords— Electrical engineering, education, learning experiences, instrumentation, data acquisition.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de estudios en el área de la ingeniería eléctrica requiere frecuentemente del análisis de mediciones eléctricas asociadas al fenómeno de estudio. La medición de diferentes magnitudes eléctricas requiere en cada caso un instrumento adecuado que puede llegar a ser muy costoso, por ejemplo: para la medición del factor de pérdidas dieléctricas en aislamientos eléctricos se requiere de un equipo de pruebas de aislamiento que puede costar alrededor de 50 mil dólares estadounidenses; para realizar mediciones

de potencia y calidad de energía se requiere de analizadores industriales que oscilan entre 5 a 30 mil dólares estadounidenses.

La gran cantidad de variables eléctricas que se pueden analizar para diferentes proyectos e investigaciones representan un problema cuando se requiere de un instrumento especial o muy costoso para medirlas, y, en tales situaciones utilizar un instrumento de medición diseñado para ese fin específico y a un costo accesible se convierte en una poderosa herramienta de ingeniería.

LabVIEW es un programa desarrollado por National Instruments (NI), es una herramienta para la adquisición de datos, instrumentación y control de procesos ampliamente utilizada a nivel industrial. LabVIEW tiene un ambiente de programación gráfico, con mucha flexibilidad de programación y conexión con diversos tipos de hardware que lo han hecho muy popular entre los ingenieros que desarrollan prototipos tecnológicos.

LabVIEW se utiliza también en instituciones de educación superior como herramienta de enseñanza para comprender de manera gráfica teorías complejas y usarlas en aplicaciones que solucionen problemas. LabVIEW se ha utilizado en la educación de ingenieros para comprender tópicos de ingeniería como: las transformadas de Fourier [1], conversión analoga-digital (ADCs) [2], termodinámica [3], codificación y decodificación de telefonía [4], pruebas en materiales [5], ingeniería biomédica [6], procesamiento digital de señales [7], señales y sistemas [8], análisis de circuitos eléctricos [9], dinámica y control de sistemas [10], mecatrónica [11], y control de nivel de líquidos [12], también se ha utilizado esta herramienta para el aprendizaje de programación [13], solución de problemas [14] y lógica digital [15].

En este documento se describe como en respuesta a las necesidades de los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) como de la industria se desarrollaron instrumentos de medición de magnitudes eléctricas para solventar los problemas de: medición del factor de potencia y tangente de pérdidas para aislamientos eléctricos, medición y registro de potencia eléctrica en paneles solares fotovoltaicos y el desarrollo de un sistema SCADA multimáquina de generación de electricidad.

En la sección II de este documento se presentan los problemas que debían resolverse en cada caso y los criterios utilizados para la creación de los instrumentos. En la sección III se presentan los resultados obtenidos al crear los instrumentos y la sección IV muestra las conclusiones y comentarios de éstas experiencias.

II. MÉTODOS EMPLEADOS

En los tres proyectos realizados que se presentan en este documento se necesitaba de instrumentos que pudiesen medir señales de corriente y voltaje para ser procesadas matemáticamente. El Departamento de Energía Eléctrica (DEE) de la EPN posee tarjetas de adquisición de datos (DAQ) NI USB 6008 de National Instruments, cuyas principales características se muestran en la Tabla I.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI USB 6008 [16].

Característica	Valores
Resolución	12 bits en modo diferencial, 11 bits en modo simple
Máxima tasa de muestreo en canal simple	10 kS/s
Configuración de entradas/salidas digitales	Colector abierto
Entradas analógicas	4 en modo diferencial, 8 en modo simple
Salidas Analógicas	2
Voltaje de entradas analógicas máximo	$\pm 10 V$ con una precisión de 14.7 mV a 25°C.
Voltaje de salidas analógicas	0 a +5V con 12 bits de resolución
Entradas y salidas digitales	P.0 (0..7) 8 líneas P.1 (0..3) 4 líneas Compatibles con TTL, LVTTL, CMOS

En cada caso que se presentará como la solución de cada problema se podía realizar adaptando las señales de voltaje y corriente a los niveles de voltaje que maneja la tarjeta de adquisición de datos y luego por medio de LabVIEW procesar la información de esas señales para obtener las mediciones y datos necesarios. En las secciones II-A, II- B y II-C se muestran cada una de estas experiencias.

A. Medición de la Tangente de Pérdidas en Aislamientos Eléctricos

La tangente de pérdidas también llamada tangente de delta es un valor característico de los aislamientos eléctricos que nos permite conocer su calidad. El ángulo delta es aquel que existe entre la componente capacitiva de la corriente en el aislamiento y la corriente total que se inyecta al mismo, como se puede ver en la Fig. 1, por lo que al medir la corriente en el aislamiento existe la posibilidad de medir dicho ángulo delta δ .

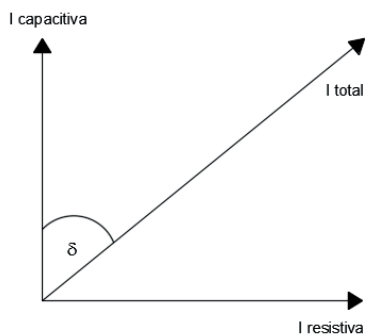


Fig. 1. Ángulo delta en el aislamiento eléctrico.

En la EPN se realizó el estudio de la contaminación de aisladores eléctricos mediante la ceniza volcánica de Cotopaxi y Tungurahua, mediante la utilización del Laboratorio de Alto Voltaje de esta universidad. El problema existente fue no contar con un equipo que permita medir el ángulo delta para caracterizar los aislamientos debido a su elevado costo. En tal situación, se decidió utilizar una tarjeta de adquisición de datos y LabVIEW para medir dicho ángulo y de paso corrientes y voltajes en el aislador. Para la medición se utilizó un método sencillo dado en [17] que utiliza un capacitor estándar para comparar las corrientes entre dicho capacitor y el aislador, como se aprecia en la Fig. 2, una vez que se mide el desfase de tiempo entre estas dos corrientes se puede obtener el ángulo delta.

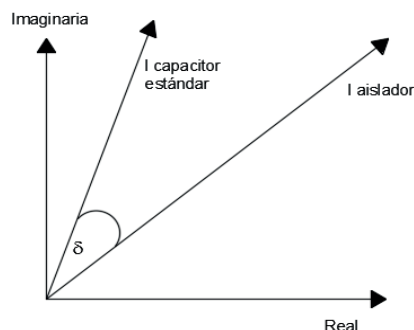


Fig. 2. Medición del ángulo delta mediante resta de ángulos de corrientes con un capacitor estándar.

Para diseñar el instrumento se utilizaron los siguientes criterios:

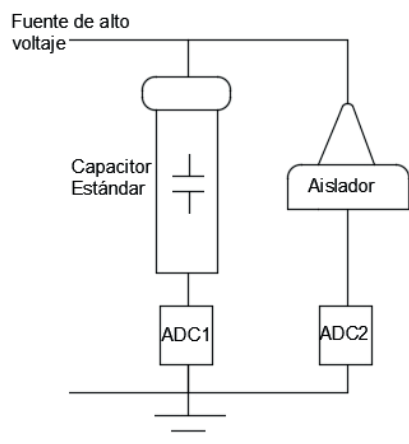
1. Debido a que la conexión tanto del capacitor estándar como del aislador estaban hechas en alto voltaje se debía tener cuidado de posibles voltajes inducidos que saliesen de la jaula de Faraday por medio de cables, por lo que se utilizó un viejo puente de Schering que tiene protecciones contra sobrevoltajes del tipo *arresters*.
2. La medición de corriente se haría conectando resistencias muy pequeñas en serie con el capacitor estándar y con el aislador para evitar que la caída de voltaje en ellas supere los 10 V que manejan las entradas digitales de la tarjeta de adquisición. Se utilizaron las resistencias del mismo puente de Schering ya que son de precisión y además permiten tener valores variables muy bajos.
3. Las entradas digitales se protegieron con dos diodos zener en contraposición de 9,1 V para evitar que se superen los 10 V.
4. Las señales se adquieren por dos entradas analógicas en modo simple de la DAQ y luego se modifica su valor por programa dado que la relación voltaje y corriente es sencilla al tratarse de resistencias de valor conocido.
5. Hay que tener en cuenta la frecuencia de muestreo que debe ser superior en unas 10 veces a la frecuencia de la señal que se mide, en este caso 60 Hz, para evitar el efecto *aliasing* al muestrear la señal.
6. La cantidad de muestras por segundo puede configurarse teniendo en cuenta que la DAQ y el programa que se ejecute en LabVIEW no realizará otra acción hasta que tome el tiempo necesario para muestrear la señal, dicho tiempo viene dado en (1) por [16]:

$$t = \frac{N_s}{f_s}, \quad (1)$$

Donde N_s es el número de muestras por segundo que se toman y f_s es la frecuencia de muestreo de la entrada analógica. De (1) se puede ver que mientras más muestras se tomen más tiempo tardará la DAQ en adquirir la señal para luego ser procesada. Se utilizó una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y 500 muestras por segundo para tener un tiempo de adquisición de 0,5 segundos; el procesamiento posterior de señales es muy rápido, por lo que se programaron ciclos de adquisición y proceso de información mediante un temporizador de 1000 ms en LabVIEW, es decir, el instrumento iba a mostrar datos que se actualizaban cada segundo.

7. La señal de voltaje adquirida se modifica por un factor igual al inverso del valor resistivo utilizado, y luego de ella se obtuvo su fasor por medio de un *Toolkit* de LabVIEW que realiza dicho proceso a cualquier señal, con los fasores de cada corriente se calcula la diferencia angular entre las dos señales y se tiene el ángulo delta deseado.

En la Fig.3 y la Fig. 4 se muestran los diagramas circuitales usados. En la Sección III-A se muestran los resultados obtenidos para este problema.



los ADC envían la señal de voltaje adaptada a las entradas analógicas de la DAQ

Fig. 3. Método de medición del ángulo delta

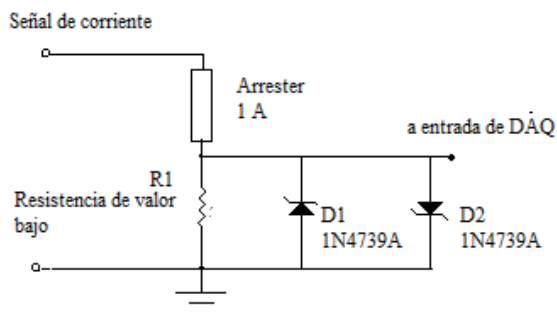


Fig. 4. Esquema de los ADC usados para medir el ángulo delta

B. Medición de Potencia en Paneles Solares Fotovoltaicos

En la Central Fotovoltaica Salinas que se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, se instalaron paneles solares de 250 Wp y 32 voltios, esta central tiene 3 años de normal funcionamiento. Actualmente se está realizando el estudio sobre el posible deterioro de los paneles solares en términos de potencia entregada, para lo cual se compararon paneles antiguos con otros nuevos con las mismas características, con el objetivo de medir potencia en ambos paneles y analizar si los paneles antiguos han perdido en cierta medida su capacidad de generación.

El problema que existía en este proyecto es que no se contaba con los instrumentos necesarios para la medición y registro de potencia en corriente directa que entregan los paneles solares, por lo que se optó por utilizar el software LabVIEW y las DAQ existentes para encontrar una solución a la medición de potencia.

En la medición de potencia intervienen 2 variables que son el voltaje y la corriente; se muestrearon estas dos señales y se procesaron en el software LabVIEW a través de la DAQ como se esquematiza en la Fig. 5.

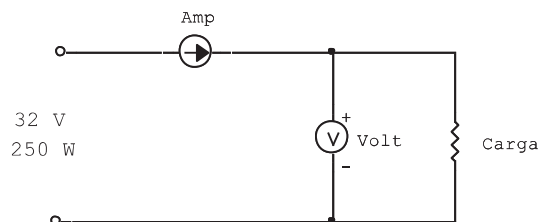


Fig. 5. Variables necesarias para la medición de potencia.

Para diseñar el instrumento se utilizaron los siguientes criterios:

1. Primero se hizo un instrumento para la medición del voltaje, para lo cual se utilizó un divisor de voltaje resistivo tomando en cuenta que el voltaje que entregan los paneles es de 32 V y el voltaje máximo que aceptan las entradas de la DAQ es de 10 V, la Fig. 6 presenta un gráfico del divisor de voltaje utilizado.

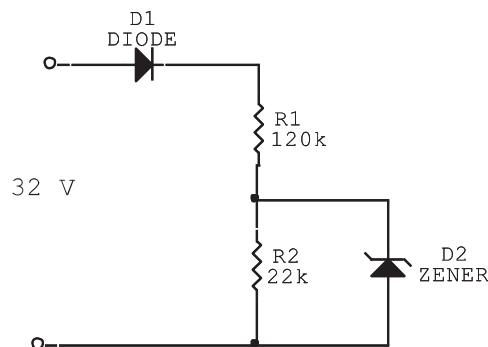


Fig. 6. Divisor resistivo para medición del voltaje del panel solar.

2. El diodo D1 fue colocado por protección, para que no exista ninguna señal que retorne al panel y pueda causarle algún daño.
3. El divisor de voltaje se diseñó para obtener un voltaje de

salida de 5V y el valor de las resistencias se calculó con (2):

$$V_{R2} = V_s \frac{R1}{R1+R2}, \quad (2)$$

Donde, VR2 es el voltaje deseado de 5 V y Vs es el voltaje de salida del panel. Se asume un valor de R2 muy grande para que el medidor de voltaje no representa una carga para el panel solar.

- De (2) se halla que la resistencia R2 es de 120 kΩ y la resistencia R1 es de 22 kΩ con lo que se obtiene un voltaje de salida de 4.96 V que sería nuestro valor máximo de voltaje.
- El diodo zener utilizado tiene un voltaje máximo de 5.1 V y se lo utiliza para asegurar que el voltaje de R2 no sea mayor al voltaje del zener y así proteger las entradas de la DAQ.
- Para el instrumento de medición de corriente se calcula la corriente máxima que entrega el panel la cual es de 7.82 A.
- Una forma de medir corriente directa de manera sencilla es colocar una resistencia de muy bajo valor en serie a la carga y medir el voltaje de dicha resistencia, luego mediante la ley de ohm podemos calcular fácilmente la corriente que pasa por la resistencia.
- La resistencia que se coloca en serie a la carga es de muy bajo valor para que no exista una caída de voltaje significativa en ella y no influya en el voltaje que llega a la carga.
- La potencia P que disipa esta resistencia se la puede calcular con (3):

$$P = I^2 * R, \quad (3)$$

Donde, I es la corriente que circula por el elemento y R su valor resistivo.

- Para conseguir una resistencia muy baja se hizo un arreglo de 20 resistencias de 4.7 Ω y 5 W en paralelo consiguiendo así una resistencia equivalente de 0.235 Ω; por cada resistencia va a circular 1/20 de la corriente nominal, es decir 0.39A. Aplicando (3) se puede calcular que la potencia para cada resistencia es de 0.72 W por lo que las resistencias colocadas no tendrán ningún problema en disipar esa potencia.
- El circuito de la Fig.7 muestra el diseño que se utilizó para medir la potencia DC en los paneles solares, donde R_L es una carga resistiva que consume la potencia entregada por dichos paneles. R_{eq} es el arreglo de 20 resistencias en paralelo que hace la función de amperímetro. Este circuito se construyó dos veces para comparar un panel nuevo con uno antiguo.

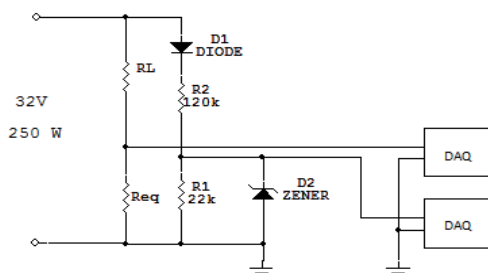


Fig. 7. Circuito utilizado para la medición de potencia DC.

C. Emulación de un Sistema SCADA Aplicado a un Sistema Multimáquina de Laboratorio

Un sistema eléctrico de potencia formado por generadores de electricidad, transformadores, líneas de transmisión y cargas eléctricas se implementa con la finalidad de abastecer el servicio de energía eléctrica a los consumidores finales.

La operación instantánea de un sistema eléctrico, inmerso en un mercado de transacciones de compra y venta de energía, es posible únicamente si se conocen los valores instantáneos de voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia y otras variables eléctricas del sistema. En este sentido, para solventar la complejidad de la operación de un sistema eléctrico, surge el sistema SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition, como una solución integral que afronta las etapas de medición y adquisición de datos para la supervisión y control de los equipos del sistema.

A continuación, la Fig.8 muestra un ejemplo del visualizador de un sistema SCADA real, en el cual se observan los equipos que conforman a un sistema eléctrico y sus valores de voltajes y potencia.

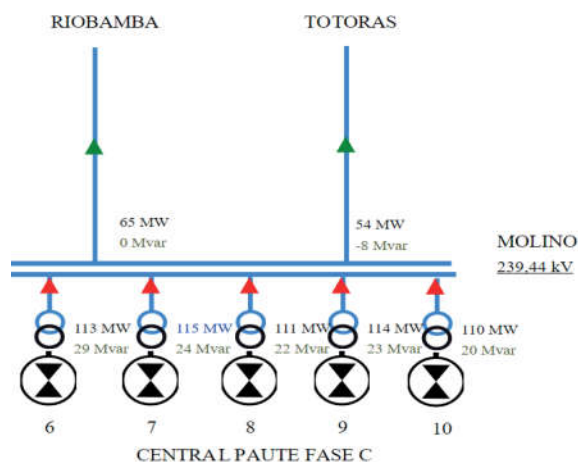


Fig. 8. Ejemplo de visualizador de un sistema SCADA real.

Puesto que implementar un sistema SCADA real tiene un costo del orden de los millones de dólares, a nivel de estudios e investigación usualmente se utiliza laboratorios técnicos especializados que disponen de generadores, transformadores, líneas de transmisión y cargas eléctricas de pequeña capacidad con los cuales se puede simular el funcionamiento de sistemas eléctricos multimáquina de pequeña escala a los cuales se les puede añadir un sistema SCADA que refleje el comportamiento real de un sistema eléctrico de potencia.

Para solventar el problema del elevado costo de implementación de un sistema SCADA real, para el caso del Ecuador, se ha utilizado el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la EPN que cuenta con máquinas sincrónicas, bancos de resistencias, inductores y capacitores, los cuales permiten estructurar un sistema multimáquina para el análisis de la operación de un sistema eléctrico interconectado; algunos de los equipos utilizados para este aplicativo se observan en la Fig.9.



Fig.9. Equipos que forman el sistema multimáquina de análisis [18].

Para emular un sistema SCADA en la operación de un sistema multimáquina de laboratorio es necesario implementar toda la infraestructura de adquisición de datos que permita la supervisión de las máquinas y que a su vez permita definir su estado operativo mediante un control remoto centralizado en un interfaz humano-máquina.

A continuación la Fig.10 y Fig.11, permiten observar el hardware utilizado, como: transformadores, resistencias, contactores, DAQ's, circuitos electrónicos, entre otros, y el software LabVIEW requerido para la emulación completa del sistema SCADA a nivel de laboratorio.

La programación desarrollada en LabVIEW se ha utilizado para procesar los datos, tomados de puertos de entradas analógicas de las DAQ's donde se miden instantáneamente los valores de voltaje y corriente en módulo y ángulo de algún equipo del sistema; y que luego, mediante *Toolkits* propios del software, permiten calcular potencias activa, reactiva y aparente, frecuencias, entre otras variables para que finalmente el operador que visualice los datos en un interfaz hombre-máquina pueda inferir la operación de los equipos del sistema mediante señales emitidas por las salidas digitales de las DAQ's.



Fig.10. Hardware utilizado para emular un sistema SCADA de laboratorio.

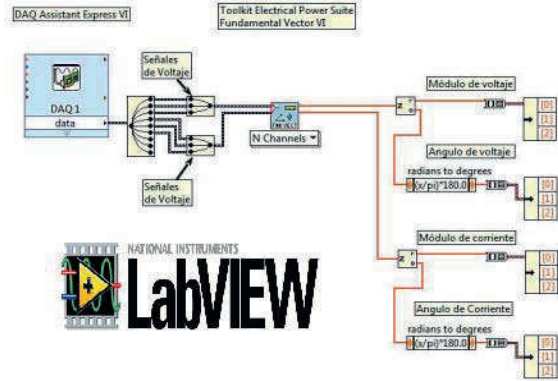


Fig.11. Software y programación desarrollada para emular un sistema SCADA de laboratorio [18].

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados mostrados en esta sección son de tipo cualitativo y muestran para cada caso planteado en la sección II una descripción de lo que se logró con el instrumento implementado.

A. Medición de la Tangente de Pérdidas en Aislamientos Eléctricos

El instrumento implementado permitió medir la tangente de pérdidas, factor de potencia, corriente aparente, resistiva y capacitiva del aislador, así como el voltaje de disrupción en el mismo; con toda esta información se está ejecutando un estudio de la afección de la ceniza volcánica en los aisladores de torres de transmisión de energía a nivel de 230 kV y se puede ampliar al nivel de 500 kV.

El instrumento de medición es en extremo sencillo y su costo más elevado es la tarjeta DAQ que en nuestro mercado ronda los 270 dólares estadounidenses, que para los resultados obtenidos resulta un valor de inversión ínfimo.

En la Fig.12, Fig. 13 y Fig. 14 se muestran las mediciones realizadas con el instrumento diseñado.

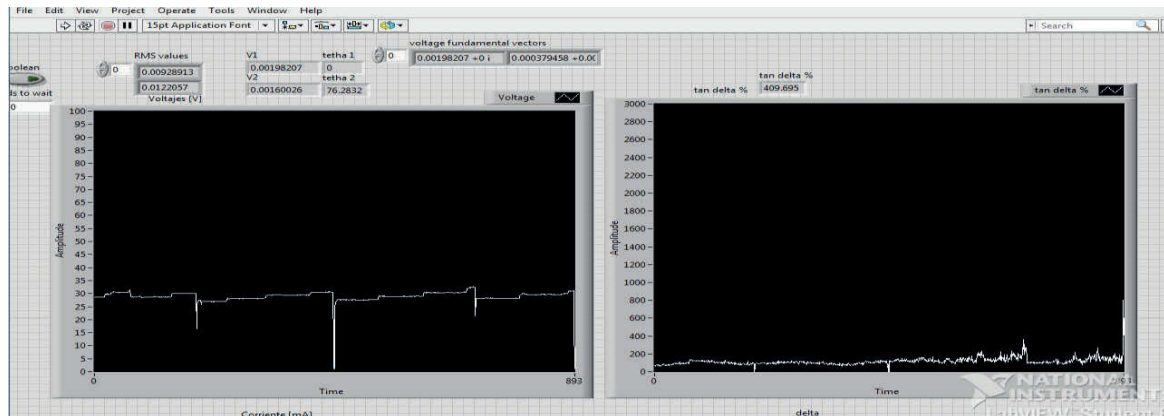


Fig. 12. Resultados de medición de voltaje de disrupción y tangente de delta en un aislador eléctrico.

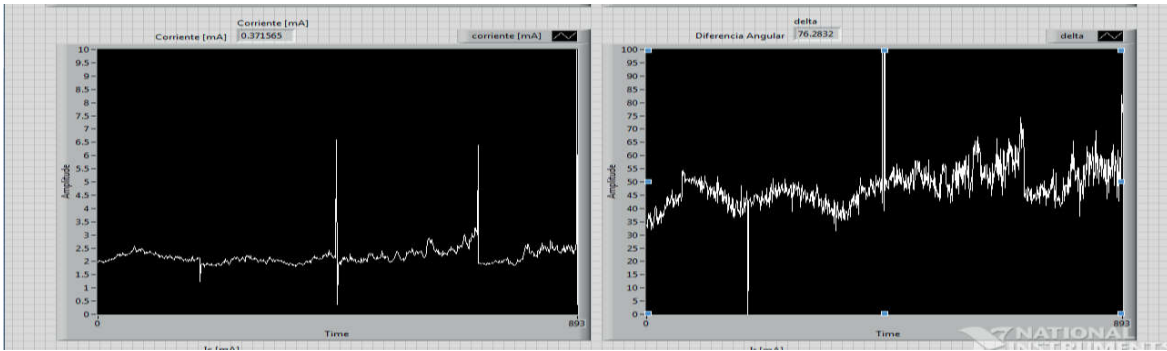


Fig. 13. Resultados de medición de corriente total y ángulo delta en un aislador eléctrico.

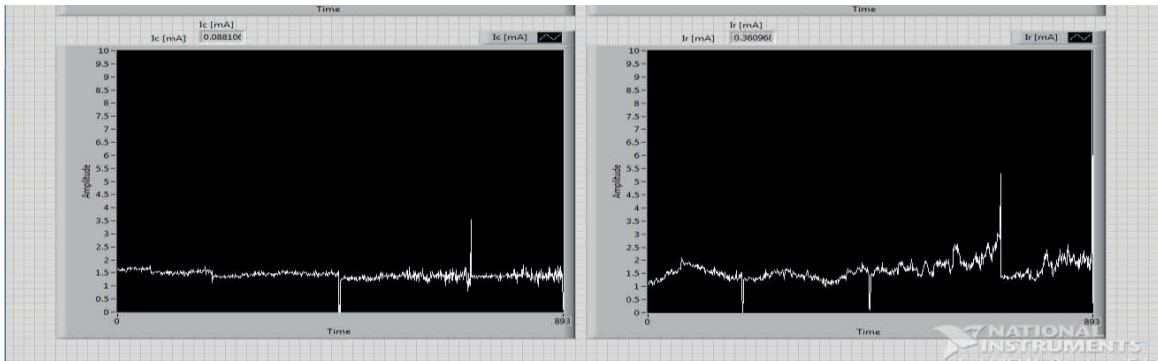


Fig.14. Resultado de medición de corriente capacitiva y corriente resistiva en un aislador eléctrico.

B. Medición de Potencia en Paneles Solares Fotovoltaicos

El instrumento implementado permitió medir la potencia suministrada por los paneles solares; con la información que se está obteniendo se podrá realizar un estudio para saber si los paneles que se instalaron en un inicio siguen suministrando la potencia deseada o han sufrido un deterioro. Una de las ventajas de las herramientas de LabVIEW es que puede generar archivos con registros de las mediciones realizadas, en este caso, se generó un archivo

plano en formato *.txt* que llevaba información de voltaje, corriente y potencia cada 5 segundos para luego usar esta información para el posterior análisis. La Fig. 15 muestra el instrumento virtual elaborado. Este instrumento requirió de una DAQ, 40 resistencias de 5W y pocos componentes entre diodos y resistencias para medir voltaje, siendo su costo inferior a 300 dólares estadounidenses.

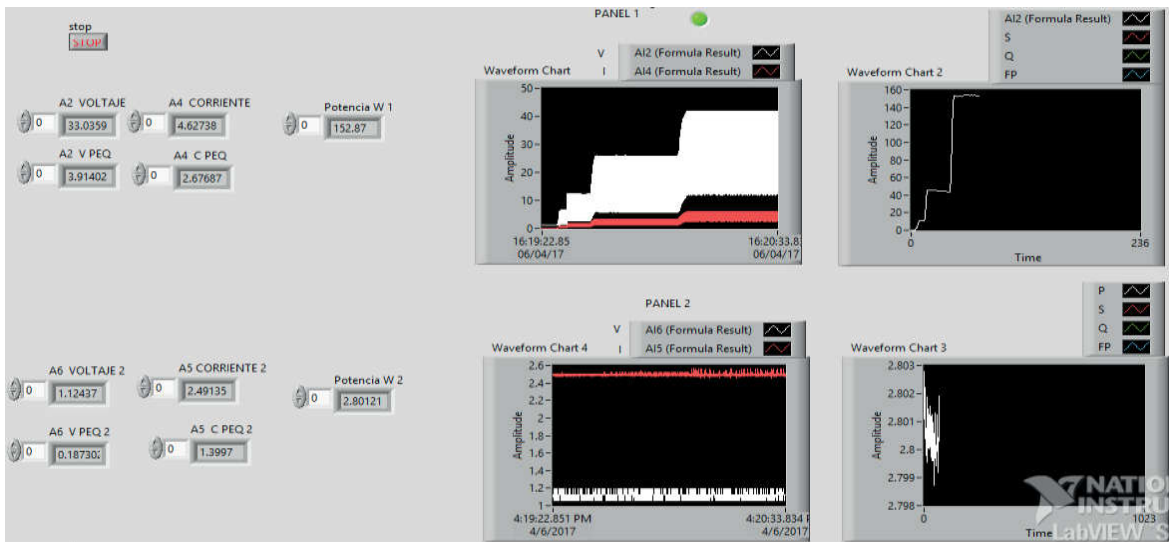


Fig. 15. Instrumento Virtual utilizado para medir potencia en dos paneles solares fotovoltaicos.

C. Emulación de un Sistema SCADA Aplicado a un Sistema Multimáquina de Laboratorio

El resultado de emular un sistema SCADA ha permitido desarrollar un módulo para la adquisición de datos y para control de los equipos que conformen a un sistema multimáquina, dicho módulo se muestra en la Fig.16.

Adicionalmente, como resultado de emular un sistema SCADA utilizando DAQ's y LabVIEW se ha obtenido un potente equipo de medición y visualización de datos enlazados a un interfaz hombre-máquina instalado en un computador, dicho equipo se muestra en la Fig.17.



Fig.16. Módulo de adquisición de datos y control de equipos resultado de la emulación de un sistema SCADA [18].

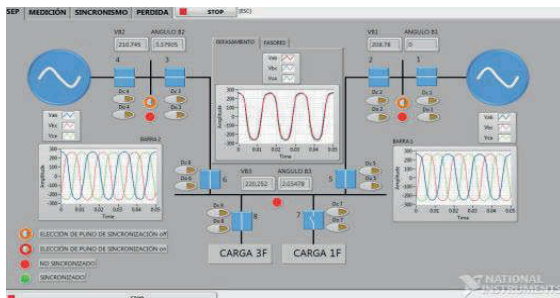


Fig. 17. Módulo de adquisición de datos y control de equipos resultado de la emulación de un sistema SCADA [18].

Es preciso indicar que el sistema SCADA emulado se ha implementado a un costo inferior a los dos mil dólares estadounidenses y ha evitado la adquisición de instrumentos de medición especiales y de elevado costo.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este documento se ha discutido el uso efectivo de tarjetas de adquisición de datos y LabVIEW como una herramienta para crear instrumentos de medición de variables eléctricas de bajo costo, que permiten solucionar el inconveniente de no poseer instrumentos especiales y de un costo muy elevado al momento de realizar un estudio o solución de un problema que requiera de análisis de datos eléctricos como voltaje, corriente, potencia o frecuencia.

Una lección aprendida durante la ejecución de los proyectos mencionados en este trabajo ha sido que siempre deben tomarse en cuenta los tiempos de adquisición de datos, ya que como se mostró en la ecuación (1), estos tiempos dependen de la cantidad de muestras tomadas y de las frecuencias de muestreo; este tiempo muerto en el que no se puede ejecutar ninguna otra actividad en el programa puede afectar los resultados que se desean por ejemplo si se

quiere hacer adquisición y control en tiempos muy pequeños como en un análisis de transitorios; para aplicaciones como por ejemplo un SCADA se puede lograr sin mayor inconveniente tiempos de ciclo de 1 segundo.

Para cada caso siempre se debe considerar el nivel de voltaje de las entradas de las tarjetas de adquisición de datos, y se debe protegerlas ante posibles sobrevoltajes que pudieran dañarlas. Una vez que se ha adquirido la señal, el procesamiento de las mismas dentro de LabVIEW es relativamente sencillo ya que posee muchos *Toolkits* dedicados a medición de potencia y análisis de señales, y la posibilidad de mostrar estos resultados en la pantalla de un computador hace que manejar estos datos sea fácil y de rápido aprendizaje por parte de cualquier estudiante de ingeniería eléctrica y electrónica.

En la Escuela Politécnica Nacional se han utilizado tarjetas de National Instruments debido a su bajo costo y altísima precisión y se siguen utilizando para el desarrollo de proyectos de titulación en los casos en los que se debe medir potencias para caracterizar demandas y cargas eléctricas, oscilaciones de potencia en los generadores eléctricos, calidad de los aislamientos eléctricos y calidad de la energía; este aprendizaje obtenido permite seguir abriendo campos de estudio que antes se veían limitados debido a la falta de instrumentos de medición específicos en los laboratorios de esta universidad.

V. REFERENCIAS

- [1] P. Avitabile, J. Hodgkins, and T. Van Zandt, "Innovative teaching of Fourier series using Labview," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2006.
- [2] B. E. Franklin, C. M. Akujuobi, and W. Ali, "ADC automated testing using LabView software," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2004.
- [3] J.W. Hines, R. Oro, and Y. Sharara, "Development of an inexpensive LabView-based refrigeration cycle laboratory," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2003.
- [4] D. R. Loker, "DTMF encoder and decoder using LabVIEW," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2002.
- [5] I. Orabi, "Application of LabVIEW for undergraduate lab experiment on materials testing," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2002.
- [6] S. Sharad, "A biomedical engineering startup kit for Labview," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2008.
- [7] M. Tanyel, "Putting bells & whistles on DSP toolkit of LabVIEW," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2011.
- [8] J. J. Thiagarajan, K. Tsakalis, A. Spanias, and H. Thornburg, "On the use of Labview in signals and systems," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2009.
- [9] S. Avramov-Zamurovic, K. Liu, B. Waltrip, and A. Koffman, "A student project: Developing LabVIEW drivers for a measurement bridge," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2007.
- [10] C. Salzmann, D. Gillet, and P. Huguenin, "Introduction to real-time control using LabVIEW with an application to distance learning," Int. J. Eng. Educ., vol. 16, pp. 255-272, 2000.
- [11] J. M. Gómez-de-Gabriel, A. Mandow, J. Fernández-Lozano, and A. J. García-Cerezo, "Using LEGO NXT mobile robots with LabVIEW for undergraduate courses on mechatronics," IEEE Trans. Educ., vol. 54, no. 1, pp. 41-47, Feb. 2011.
- [12] J. D. Wagoner and N. F. Macia, "Automatic liquid level controller using a Labview based PC," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2004.
- [13] C. Neuman, D. Lieberman, D. Engelberg, A. Flamholz, P. Marchese, G. Tremberger, and T. Cheung, "Labview graphical programming in an introductory engineering physics course," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2006.
- [14] J. Hrynuk, M. Pennington, D. Illig, and J. P. Dempsey, "Freshman engineering: An introductory computer course teaching Matlab and Labview," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2008.
- [15] T. Perales, J. A. Morgan, and J. R. Porter, "A Labview FPGA toolkit to teach digital logic design," in Proc. ASEE Annu. Conf., 2009.
- [16] National Instruments Manuals, *Device Specifications NI USB-6008*, National Instruments, 2016. [Online] Available: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375295b.pdf>

- [17] S. Kornhuber, S. Markalous, and M. Muhr, "Comparison of Methods for the dissipation factor measurement at practical examples," 16th International Symposium on High Voltage Engineering, 2009.
- [18] M. Alajo y F. Hurtado, "Módulo de sistema SCADA para emular la operación de un sistema eléctrico de potencia básico de laboratorio," Escuela Politécnica Nacional, 2016.

VI. BIOGRAFÍAS



Juan Ramírez, nació en Quito-Ecuador en 1988. Se graduó como Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 2015. Actualmente está realizando sus estudios de posgrado en Administración de Empresas de los Sectores Estratégicos en la Escuela Politécnica Nacional.

Se ha desempeñado como especialista técnico en la construcción de líneas de transmisión de electricidad en CELEC EP TRANSELECTRIC y en la actualidad trabaja como Profesor

Ocasional en el Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés incluyen: teorías de sistemas y control aplicadas al sistema eléctrico de potencia, modelación y simulación de sistemas eléctricos, ingeniería de alto voltaje, y operaciones comerciales del sector eléctrico.



Edison Novoa, nació en Quito, Ecuador, en 1992. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior "Sucre" obteniendo el título de Bachiller Técnico Industrial con especialización en Electricidad, 2009. Se graduó de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en junio de 2015. Actualmente trabaja como Personal técnico ocasional II de la EPN. Sus áreas de interés son el Diseño, Operación, Control y Planificación de Sistemas Eléctricos de Distribución.



Miguel Argoti, nació en Tulcán – Ecuador el 25 de septiembre de 1989. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la especialización de Electrónica y Control (2014). Se ha desempeñado en mantenimiento e instalación de UPS's en la Empresa CELCO.CIA. En el año 2014 se desempeñó como Técnico Docente Politécnico y en el año 2015 hasta la fecha como Profesor Ocasional 2 para el

Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Sus áreas de interés son la Instrumentación Industrial y la Mecatrónica.