

## **Experiencias en el Trabajo De Postgrado Conjunto entre Universidad Venezolana y Cubana.**

**Rómulo Pérez**

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Barquisimeto, Venezuela,  
rperez@unexpo.edu.ve

**Sergio Fernández**

Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas CIPEL-CUJAE, La Habana, Cuba,  
sfg@electrica.cujae.edu.cu

### **RESUMEN**

En el siguiente artículo se presenta la importancia del desarrollo de planes conjuntos de investigación entre diferentes países y su influencia en la esfera científico-técnica y social a partir de las experiencias de más de 20 años de trabajos conjuntos entre la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” (UNEXPO) de Venezuela y el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) perteneciente al Centro Universitario “José Antonio Echeverría” (CUJAE), entre las que se encuentran el desarrollo de: laboratorios para el soporte de la educación de pregrado y postgrado, entrenamientos, maestrías; así como la defensa exitosa de tres doctorados en Ciencias Técnicas en Cuba y su repercusión en la formación de recursos humanos de nivel superior en la rama de la ingeniería eléctrica para ambas instituciones.

Seguidamente, se presenta los resultados obtenidos de dicha colaboración en el diseño, desarrollo e introducción de la primera instalación para el diagnóstico integral de transformadores de potencia en tiempo real introducida en la Empresa ENELBAR de Venezuela con tecnología Cubana-Venezolana, lo cual significa un logro de la ciencia y la técnica para países en vías de desarrollo cuyo impacto en la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de estos equipos corroboran la importancia de esta colaboración.

**Palabras claves:** Integración, formación de especialistas, cooperación, desarrollo de tecnología propia, impacto económico-social.

### **ABSTRACT**

The following article presents the importance of developing joint plans of research between different countries and their influence on scientific-technical sphere and social from the experiences of more than 20 years of joint work between the National University Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre "(UNEXPO) of Venezuela and Central Electric Test and Research (CIPEL) belonging to the Centro Universitario"José Antonio Echeverría"(CUJAE), among which are the development of: laboratories to support education undergraduate and postgraduate training, master's, and the successful defense of three doctorates in technical sciences in Cuba and its impact on human resources training level in the field of electrical engineering for both institutions. Subsequently, it is presented results of such collaboration in the design, development and introduction of the first facility for comprehensive diagnosis of power transformers in real time in the Company introduced ENELBAR of Venezuela with Cuban-Venezuelan technology, which means an achievement of science and technology for developing countries whose impact on the availability, reliability and safety of equipment's confirm the importance of this collaboration.

**Keywords:** Integration, training specialists, cooperation, development of proprietary technology, economic and social impact.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las funciones fundamentales de la universidad es propiciar la creación de nuevos conocimientos a través de la investigación científica, tecnológica, humanística y social. Esta función se ha convertido en el centro de la evaluación de las universidades en muchos países del mundo y en Venezuela (Mayz y Pérez, 2002).

De todos es conocido el papel que juegan las universidades en el desarrollo profesional, económico y social de un país, cuya pertinencia e importancia dependerá de la calidad y nivel de actualización de los profesionales que la componen, de las instalaciones que posean y fundamentalmente de la interrelación con el territorio en la cual esté enclavada; es decir, la influencia que las universidades tengan en el desarrollo científico-técnico y social de un país.

En el caso de las ciencias técnicas, esta autoridad se gana, a través del impacto de sus investigaciones básicas o aplicadas encaminadas a dar solución a problemas importantes de orden nacional o internacional, sin las cuales se hace casi imposible llevar a cabo su misión fundamental en la formación de profesionales de alta calificación.

En el caso de los países subdesarrollados y algunos en vías de desarrollo esta situación, junto con la falta de recursos materiales y humanos capacitados, se vuelve insoportable para el continuo perfeccionamiento del personal docente de las universidades, no quedando otro camino que utilizar la colaboración internacional como una vía de solución a este tipo de problema.

Para países como Cuba y Venezuela, mantener una posición de avanzada significa “la internacionalización de la educación superior” sin la cual se hace imposible el constante intercambio de las mejores experiencias y resultados que permiten mantener actualizados a los profesionales que las conforman y que trae consigo como valor agregado, la integración de diferentes culturas, la cual repercute de forma directa en la conciencia social de los países que intervienen en este intercambio.

Durante más de veinte años se ha mantenido una estrecha colaboración entre Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” (UNEXPO) del Vicerectorado Barquisimeto, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Venezuela, y el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL) del Centro Universitario “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Esta relación se basa en el intercambio de profesionales de ambas instituciones con vista al incremento de actividades ligadas a la creación o modernización de instalaciones, formación de profesionales de nivel superior, intercambio de tecnología, y la formación de tres doctores en ciencias técnicas, las cuales han dado un saldo positivo para ambas entidades.

Esta relación se ha incrementado en los últimos años lo cual ha permitido la participación de profesionales y estudiantes venezolanos en congresos cubanos, el dictado de maestrías por parte del CIPEL para diferentes instituciones de educación superior venezolanas y el desarrollo de doctorados en ciencias técnicas de este convenio, entre otros. En este trabajo se presenta el fructífero resultado obtenido de esta colaboración por ambas entidades universitarias, sin pretender dar una disertación filosófica ni metodológica de la forma en que el mismo se desarrolla y el impacto de su resultado en la sociedad, tampoco quieren dar un discurso técnico de la actividad emprendida, sino demostrar que algunos países pueden llevar adelante trabajos de alto nivel científico, solamente abierto a países desarrollados, a partir de la colaboración entre entidades de países que tengan la voluntad y el deseo de realizarlo. No se puede olvidar que, en el mundo actual, el verdadero ejercicio de la libertad y la soberanía esta en el conocimiento. El desvanecimiento de una ciencia y una tecnología propia, contribuiría a un empobrecimiento social con consecuencias insospechadas y a una mayor dependencia de los países desarrollados. En el futuro, las sociedades avanzarán sobre la base del acceso al conocimiento y la cooperación (Pérez, 1999).

## 2. DE LA COOPERACIÓN.

En febrero del año de 1993, el Departamento de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, UNEXPO Vicerectorado de Barquisimeto establece un convenio de cooperación con el Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas CIPEL, ente adscrito al Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” que contempla la contratación de profesores para el dictado de algunas asignaturas en las Maestrías de Ingeniería Industrial e Ingeniería Eléctrica, además del dictado de estas asignaturas, estos profesores asesoraron a un grupo de estudiantes para consolidar su tema de tesis y a su vez dictaron conferencias magistrales a los estudiantes de pregrado de la Universidad.

En el año de 1994 se logro bajo la asesoría del CIPEL y de la Universidad de Los Andes (ULA-Venezuela) la instalación de un Laboratorio de Alta Tensión en el departamento de ingeniería eléctrica de la UNEXPO y su puesta en marcha comenzó en Julio de 1995.

Desde el punto de vista científico-técnicos, todos estos trabajos demostraron que era posible y beneficioso el intercambio entre ambas instituciones cuyos primeros resultados influyeron directamente en el área de pregrado y de postgrado en un nivel intermedio, pero que además trajeron aparejado un intercambio humano y cultural entre profesionales de dos países que permitieron establecer las bases de un trabajo futuro en la formación de recursos humanos a un nivel superior y la optimización de recursos materiales.

En el año 1998 se comienzan dos doctorados en ciencias técnicas en el CIPEL-ISPJAE que culminaron en el año 2002. Las tesis involucraron trabajos de investigación en el área de coordinación de aislamiento y contaminación atmosférica en líneas de transmisión y distribución respectivamente, aplicados ambos en la Empresa Energía Eléctrica de Barquisimeto (ENELBAR). A partir de estas experiencias se comienza el desarrollo de otro doctorado en ciencias técnicas en el área de diagnóstico de transformadores de potencia en tiempo real y como objetivo secundario la introducción de “La primera instalación en tiempo real para el diagnóstico de un transformador de potencia” en la empresa Energía Eléctrica de Barquisimeto ENELBAR, Venezuela, cuyos resultados parciales los autores exponen a continuación.

### **3. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL DEL TRABAJO DOCTORAL.**

Los transformadores de potencia son la columna vertebral de los Sistemas Electroenergéticos Territoriales y Nacionales de todos los países. Sin ellos sería imposible la generación, transmisión y distribución de energía desde las centrales eléctricas hasta las empresas y los usuarios residenciales. Una falla en los mismos puede provocar grandes pérdidas económicas y humanas para las empresas generadoras y transmisoras no sólo por lo costoso de estos equipos sino por la energía dejada de servir y facturar, de ahí que la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los mismo se ha convertido en los últimos años en un tema estratégico de este tipo de empresas.

Desde el punto de vista social la inesperada salida de los transformadores de potencia provoca los incómodos “apagones” que conllevan la paralización parcial de la vida normal ya que se detienen los ascensores, las redes semafóricas, espectáculos públicos, las industrias, entre otros. Dependiendo de la importancia del transformador las mismas pueden provocar la paralización parcial de toda una región o de un país completo (Pérez, 2009). De ahí la importancia de poder detectar a tiempo las fallas en evolución que pueden provocar su salida inesperada del sistema electroenergético nacional y lo que es aún peor, su destrucción total o parcial con la pérdida de vidas humanas.

Ahora bien, a pesar de ser equipos muy confiables, ellos comienzan a perder su funcionalidad con el transcurso del tiempo (pérdida de su vida útil) o por la aparición de fallas oculta o en evolución, ambos casos deben ser debidamente controlados a partir de un sistema de diagnóstico y mantenimiento que permita el monitoreo de su condición o estado de forma de poder detectar alteraciones de las variables de estado de diagnóstico que posibiliten detectar la aparición de este tipo de “falla lo antes posible” y poder planificar un mantenimiento correctivo planificado que reduzca los altos costos de su mantenimiento.

De acuerdo al nivel de desarrollo del país la salida inesperadas de estos equipos pueden llegar a ser millonarias y acarrear accidentes catastróficos (Pérez, 2009), de ahí que los países más desarrollados han introducido equipos de diagnóstico de muy alta tecnología y de muy alto costo en tiempo real para evitar este tipo de fallas. Ahora bien, estos equipos y sistemas de diagnóstico deben ser manejados por un personal altamente capacitado que permitan analizar sus resultados. Todo este avance tecnológico y profesional en muchos casos está limitado en los países subdesarrollados y en muchos casos los que están en vía de desarrollo; de ahí la importancia del resultado obtenido en este proyecto de colaboración conjunta entre la UNEXPO y el CIPEL.

En el caso de países como Cuba y Venezuela, donde las empresas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica son estatales estos efectos tienen un costo eminentemente social ya que repercuten doblemente en la población a partir de las incomodidades de los “corte de energía eléctrica” y a través de las pérdidas en la economía que influyen directamente en la calidad de vida de la población.

#### 4. OBJETIVOS DE LA INSTALACIÓN

Desarrollar la infraestructura necesaria que permita determinar el comportamiento del transformador de potencia en tiempo real a partir del chequeo continuo de sus variables de estado de diagnóstico y modelos térmicos. Pero conocer el estado o condición de un equipo depende fundamentalmente de la medición y comparación de forma periódica de las variables de estado de diagnóstico que lo representa, es decir en su estado normal estas variables fluctúan entre rangos determinados por los parámetros constructivos y severidad, los cuales son inviolables. Ahora bien, estas varían en el tiempo de acuerdo a la vida útil del autotransformador y la táctica de detección de una falla en evolución reside entonces en poder diferenciar estos cambios normales de los provocados por aparición de una falla. En la figura 1 se puede apreciar este comportamiento

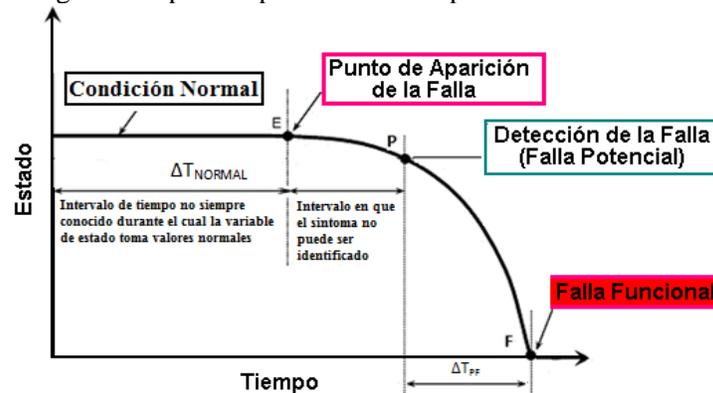


Figura 1. Estado o Condición del transformador en el tiempo

En esta figura aparece la condición normal de trabajo y se sitúa el punto del fallo funcional al final, aunque en general este punto se alcanza cuando el autotransformador ha superado determinados parámetros fijados por sus constructores o por las normas establecidas.

Es de notar que estos puntos son multivariados y su detección depende de la calidad de los equipamientos de prueba, del número de variables de estado de diagnóstico que se utilicen y del periodo de muestreo de las mismas (Fernández, 1996). Cuando el grado de deterioro de la variable alcanza cierto valor, se dice que existe una Falla Sintomática (Falla potencial incipiente e identificable).

Cuanto antes pueda detectarse las variaciones indebidas de estas variables o los síntomas relacionados con las fallas que las generan (punto P), mayor será el espacio de tiempo entre éste y la falla funcional (Punto F), de forma de poder planear un mantenimiento correctivo capaz de devolver al autotransformador sus funciones estándar originales.

De ahí la importancia de contar con instalaciones en tiempo real con periodo de muestreos adecuados a la evolución de las fallas más críticas que el mismo presente y que permiten combinar y relacionar las variables de estado de diagnóstico óptimas mediante mediciones sucesivas y predecir el comportamiento del autotransformador. Ahora bien la predicción del estado del autotransformador no sólo surge del seguimiento en el tiempo de estas variables sino de la aplicación de modelos físicos-matemáticos convencionales o aquellos desarrollados a partir del uso de la inteligencia artificial (Redes Neuronales Artificiales (RNA), Algoritmo Genético (AG), fuzzy, minería de datos, otros), métodos estadísticos, probabilísticos tales como la Cadena de Markov (Tont y George, 2008), entre otros; que permitan establecer la relación entre estas variables de forma adicional. De ahí la importancia que tiene la estación desarrollada por los autores que introduce la modelación térmica en tiempo real con este objetivo adicional

#### 5. DESARROLLO DE LA INSTALACIÓN DE DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES.

Como resultado de esta colaboración en el año 2002 comienza el diseño, desarrollo e introducción de la Primera Estación Experimental para el Diagnóstico de Transformadores de Potencia en Tiempo Real con tecnología

Cubano-Venezolana (Pérez et al, 2006). Esta instalación es introducida finalmente en el año 2005 en un Autotransformador de 100 MVA de la Subestación Barquisimeto de la Empresa ENELBAR de Venezuela. En la figura 2 se presenta el Autotransformador seleccionado y en la figuras 3 y 4 se presenta una vista de la estación experimental para diagnóstico en tiempo real.



**Figura. 2. Autotransformador seleccionado para la instalación de la estación experimental**



**Figura 3. Vista de algunos componentes de la estación experimental**



**Figura 4. Vista de la estación experimental para el diagnóstico de transformadores**

Es de destacar que esta instalación está colocada en un Autotransformador muy importante del sistema de potencia de ENELBAR, el cual alimenta a un grupo significativo de industrias, empresas y consumidores residenciales de la ciudad de Barquisimeto, garantizando su disponibilidad y su trabajo confiable, lo que a su vez conlleva un aporte social de dicha instalación. Además abre el camino para la generalización de este tipo de instalaciones, con tecnología propia, en Venezuela y en Cuba, lo que demuestra las ventajas de este tipo de colaboración.

El Hardware y Software requerido para la instalación experimental fue diseñado, desarrollado y construido totalmente en Venezuela. El Hardware del sistema de adquisición de datos denominado SIMTRA, está configurado por 2 módulos principales, cuyas características más importantes son:

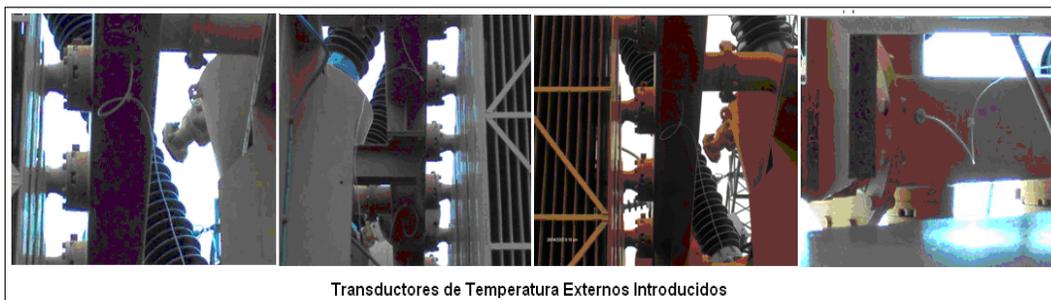
- a) Módulo Central; el cual a su vez se divide en:
  - Módulo Entradas Analógicas
  - Módulo Entradas Digitales
  - Módulo de Control
  - Módulo Salidas Relés
  - Módulo de Alimentación
- b) Módulo Remoto, consta de los siguientes submódulos:
  - Módulo de Temperatura RTD
  - Módulo Control/ Alimentación

De igual manera se hizo necesario el diseño y construcción de los transductores de temperatura externos cuyo finalidad fue la de medir de forma indirecta la medición de la temperatura del aceite superior ya que esta no estaba disponible para su medición directa. De igual manera la medición reportada por estos transductores son usados para desarrollar modelos empleando las técnicas de RNA. En la tabla 1 se muestran las características principales de los transductores introducidos.

**Tabla 1. Características de los transductores de temperatura externos.**

Característica de los Transductores de Temperatura Externos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: RTD pt 100 o 1000.</li> <li>• Base de instalación: Fijamiento Magnético.</li> <li>• Rango de Medición Garantizado: 0 – 200 °C</li> <li>• Diámetro de fijación magnética: 8 cm.</li> <li>• Diámetro de sensor directo: 1 cm.</li> <li>• Cable mínimo de salida del transductor: 2 metros.</li> <li>• Disposición de la RTD: 3 conductores.</li> <li>• Sellaje garantizado a la humedad.</li> <li>• no están disponibles directamente en las casas comercializadoras.</li> </ul>

Su construcción fue realizada por una empresa especializada en el área de medición e instrumentación Venezolana, la cual garantizó la fabricación bajo las condiciones de diseño anteriormente expuestas en cuanto a su seguridad, fijación y exactitud. Las pruebas de recepción (temperatura externa, prueba de fijación y prueba de hermeticidad) fueron corroboradas en el laboratorio de instrumentación y control de la UNEXPO, por parte de profesores especialistas en esa área. En la figura 5, se muestran los transductores de temperatura externos de fijación magnética introducidos en los radiadores del transformador.



**Figura 5. Transductores de temperatura externos introducidos**

**Software:**

Las características principales del software desarrollado son.

- Captura las señales (12 Temperaturas, 8 Analógicas y 14 Digitales), las muestra permanentemente en pantalla y refresca los valores una vez actualiza los datos.
- Almacena las variables en una base de datos dinámica (microsoft access).
- Crea históricos.
- Capacidad para cambiar el escalamiento de las variables.
- Convierte la base de datos a hoja de datos en MATLAB-SIMULINK
- Opción para cambiar el tiempo de muestreo de las variables.
- Opción de graficación, impresión y reportes de las variables.
- Permite realizar operaciones lógicas con las entradas digitales y asignar resultados a una salida digital.
- Permite activar y desactivar las salidas digitales a conveniencia.
- Comunicación RS232 (9600 bps).
- Permite descargar los datos de la memoria del Módulo Central a la PC.
- Opción de solicitar datos a conveniencia.
- Opción de autorecepción.

## 6. IMPORTANCIA DE LA MODELACIÓN TÉRMICA PARA FINES DE DIAGNÓSTICO.

Una de las técnicas de diagnóstico en transformadores de potencia más ampliamente utilizadas a escala mundial es el desarrollo de modelos térmicos para su implementación en línea. El modelo más ampliamente utilizado es el modelo de la temperatura del aceite superior desarrollado en la norma IEEE Std. C.57.91 (IEEE, 1995) e IEC-354 (IEC; 1991), el cual fue mejorado por el grupo de investigación del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) (Lesieutre et al., 1997). Con este se busca detectar fallas de rápido desarrollo y emplean la estimación de los parámetros del modelo de funcionamiento en el cual se basan, para de esa forma ajustarse a cada transformador en particular y ser capaces de predecir su mal funcionamiento en base a mediciones obtenidas en tiempo real.

La introducción y aplicabilidad de estos modelos está profundamente ligada a las características de los transformadores y a los transductores que componen los sistemas de diagnóstico en tiempo real (SDTR) introducidos en los mismos. Su desarrollo ha variado con el tiempo y en la actualidad se utilizan varios modelos en tiempo real cuyos resultados dependen casi directamente de los datos obtenidos en dichas instalaciones, de las técnicas empleadas para su tratamiento que permiten garantizar la identificación correcta de los mismos y de la experiencia en la interpretación de sus resultados.

Se han realizado diferentes estudios sobre las posibles fuentes de error de estos modelos debido a los métodos utilizados en la estimación de los parámetros y en lo relativo a la naturaleza, obtención y procesamiento de los datos (Morris, 1999) y (Tylavsky et al., 2006), con los cuales los autores han tenido que lidiar diariamente durante años con resultados satisfactorios (Perez et al, 2009 b)

Por estas razones los autores seleccionaron entre otros, el modelo para el cálculo de la temperatura del aceite superior del MIT en su solución lineal, sobre el cual se han aplicado los métodos de estimación de parámetros por mínimos cuadrados, de Redes Neuronales Artificiales (RNA) y de Algoritmo Genético (AG) con excelentes resultados (Pérez, 2009).

Durante años los autores han experimentado con técnicas relacionadas con la calidad de la data, como es el caso del tratamiento estadístico y el uso de filtros a partir de la transformada de Wavelet (Vetterli, 1992) con la finalidad de mejorar la identificación del modelo lineal, teniendo como premisa fundamental la disminución del error en los resultados (Pérez et al, 2011).

Sin embargo en busca de encontrar mayor exactitud en el modelo, optaron por experimentar la estimación de parámetros del modelo en su solución no lineal, que permitiría un ajuste más adecuado al transformador seleccionado para las condiciones de carga variable al que está sometido y se emprendió el camino de identificar el modelo a partir de data real con la aplicación de AG. Los resultados fueron muy satisfactorios ya que se logró mejorar la exactitud y se logró por primera vez identificar el término “n” de la ecuación del modelo que relaciona el sistema de enfriamiento del autotransformador con la carga (Pérez et al, 2009). Seguidamente en busca de alternativas para estimar la temperatura del aceite superior a partir de medición de temperatura en radiadores y

otros puntos del autotransformador, así como también con la carga del transformador, se desarrollaron modelos a partir de RNA; para ello fue necesario hacer un diseño de experimento para obtener la mejor configuración de la topología de la red neuronal que se debería experimentar para encontrar los mejores modelos que incrementarían aún más el desempeño de la estación experimental y obteniendo resultados muy sobresalientes en esta área.

Desde el punto de vista del diagnóstico de transformadores, la implementación en línea de la modelación de la temperatura del aceite superior es una herramienta valiosa, ya que se pueden identificar variaciones significativas de funcionamiento térmico (p. ej. un incremento en la temperatura del aceite superior) que podrían dar los primeros indicios de la aparición de fallas ocultas de lento o rápido desarrollo, que hasta ahora sin esta técnica sería muy difícil de detectar a tiempo. Esta técnica permite encontrar los patrones de comportamiento que admiten relacionar los diferentes valores de esta temperatura en el tiempo. Al hacer un seguimiento de esta variación significativa, donde además de los modelos, se toman en cuenta otras variables de estado de diagnóstico que identifican el punto de trabajo del transformador (Condición del Transformador), se puede evaluar si dicha variación es producto de: el envejecimiento natural del aislamiento en la cual los cambios son mínimos, los cambios en la carga en valores nominales o sobrecarga, problemas en el sistema de enfriamiento, incremento de la temperatura ambiente, relaciones entre estos fenómenos mencionados de manera simultáneas, o efectivamente es una falla incipiente en el aislamiento principal, para lo cual se hace necesario realizar una serie de pruebas y ensayos adicionales. Finalmente, conociendo de antemano los patrones de comportamiento del transformador, además de registrar otras variables de estado de diagnóstico como el análisis de gases disueltos en el aceite en tiempo real, se podría dar un diagnóstico más amplio y detectar fallas de forma anticipada con el propósito de tomar medidas correctivas económicamente factibles y evitar la pérdida abrupta o súbita de un transformador de potencia (Pérez y Fernández, 2012).

Con el desarrollo, instalación y explotación de este prototipo se han logrado reducir los costos en aproximadamente un 50 % del costo total que tienen instalaciones similares de diagnóstico suministradas por empresas transnacionales a nivel mundial, además de poseer el Know-how lo que garantiza la sustentabilidad de la instalación experimental así como también permite incrementar la vida útil de los transformadores bajo estudio.

## **7. DESARROLLO ACTUAL DEL TRABAJO CONJUNTO**

Este grupo mixto ha continuado trabajando con los objetivos de:

1. Mejorar la instalación de la subestación Barquisimeto que ya tiene 7 años de explotación en:
  - ✓ Incrementar la calidad de las mediciones a partir de la mejora en la exactitud de los transductores existentes (Fernández, 2011).
  - ✓ Mayor concentración de hardware y robustez (Fernández, 2011).
  - ✓ Concentrar el sistema de software de nivel superior capaz de: adquirir y procesar los datos, y utilizar modelos predictivos.
  - ✓ Continuar el desarrollo de los Patrones de Comportamiento a partir de los resultados de los modelos actuales y de las mediciones de las variables en tiempo real (Pérez y Fernández, 2012).
  - ✓ Introducir en un futuro próximo modelos de cargabilidad en tiempo real, lo cual es una necesidad de los grandes sistemas electroenergéticos nacionales (Arce, 2012).
  - ✓ Mantener costos sostenibles en el desarrollo de este tipo de instalaciones para países como Cuba y Venezuela.
2. Posible generalización de esta experiencia en otras subestaciones en Venezuela.
3. Introducción este año de este tipo de instalación en Cuba en una central termoeléctrica.

## **8. LAS VENTAJAS DE LA COOPERACIÓN Y LA INTEGRACIÓN.**

Muchos han sido los resultados alcanzados a partir de la introducción de este tipo de instalación, entre los que se pueden recalcar:

- El contar con la tecnología necesaria para el diseño de este tipo de instalación, limitada por su costo y nivel técnico sólo a países desarrollados y que permite asegurar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de este tipo de transformador.

- El poder continuar con este tipo de investigaciones de primer nivel mundial.
- El integrar un colectivo de profesionales de ambos países en el desarrollo de un objetivo común, lo cual demuestra la importancia de la colaboración internacional entre universidades de diferentes países.
- Formación de profesionales de alto nivel en la esfera del diagnóstico en tiempo real de transformadores de potencia, capaces de diseñar e introducir este tipo de tecnología, teniendo en cuenta que generar el capital humano-intelectual necesario, a la larga se convertirá en capital financiero (Fernández, 2009).

De igual manera muchas han sido las dificultades a vencer por el colectivo de profesionales de ambas instituciones, como son las limitaciones de tipo económicas para la construcción de dicha instalación, las incomprendiones por parte de algunas autoridades de las ventajas de esta colaboración, la lejanía y el poco tiempo que representa las estancias de los aspirantes a doctores y los tutores en ambos países, entre otras.

Pero muchos son los resultados y ventajas que hacen olvidar dichas dificultades y demuestran que la colaboración internacional entre países amigos permite el desarrollo mutuo y acerca a los profesionales en el terreno social, lo cual en algunas ocasiones es más importante que los resultados técnicos.

En la actualidad existen grandes problemas económicos que aquejan al mundo entero y en especial a los países subdesarrollados y los que están en vías de lograrlo; sin embargo, una vía muy factible es aprovechar los convenios de colaboración mutua, como el existente entre Cuba y Venezuela, para lograr la sostenibilidad del desarrollo mantenido de universidades y centros de investigaciones, a partir del intercambio de profesionales y proyectos, entre otros; de ahí la importancia de la integración de sus Universidades.

Es propicio resaltar que esta experiencia exitosa se puedan repetir y multiplicar este tipo de colaboración que permite enlazar universidades latinoamericanas para trabajar en forma conjunta en la consolidación de grupos de cooperación multidisciplinarios que lleven en un futuro cercano a resolver importantes desafíos y generar una tecnología propia, además de permitir el intercambio de culturas que seguramente enriquecerán y fortalecerán la continuidad de la existencia de naciones tecnológicamente independientes y con un capital humano desarrollado.

## 9. CONCLUSIONES.

- Es factible con este tipo de alianzas llevar a cabo proyectos de investigación multidisciplinarios de alto riesgo y nivel científico-técnico que permitan impulsar en forma directa el desarrollo en diversas áreas de países como Venezuela y Cuba que hasta ahora solo son posibles para naciones del mundo desarrollado.
- Que esta colaboración no sólo ha permitido el desarrollo científico técnico de las entidades que en el han colaborado, sino que ha contribuido de forma directa a la formación y perfeccionamiento del capital humano-intelectual necesario para el desarrollo y manejo de este tipo de instalación en Cuba y Venezuela asegurando su competitividad y efectividad científica de forma de preservar el conocimiento y la confiabilidad humana como el activo principal en ambas instituciones universitarias.
- Se debe destacar que hoy en día se está introduciendo en una central eléctrica cubana una instalación de este tipo a partir de las experiencias de los resultados obtenidos en el marco de esta alianza.
- Se ha evidenciado que la colaboración y cooperación entre dos instituciones de educación superior de diferentes países se puede lograr solo a partir de la voluntad y el deseo de realizarlo.
- Finalmente, es el deseo de los autores poner a disposición de quien lo necesite, las experiencias obtenidas en este tipo de intercambios con la finalidad de lograr la formación integral e intensiva del capital humano que se requieren en este ámbito del conocimiento.

## 10. REFERENCIAS

- Arce, D. (2012). “Modelación térmica para el diagnóstico de transformadores de potencia”. Tesis presentada en opción al título de Especialista de Postgrado en Diagnóstico. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” Facultad de Ingeniería Eléctrica. CIPEL- CUJAE, Cuba.
- Fernández, E. (2011). “Sistema de adquisición y procesamiento de datos para una estación de diagnóstico de estado en tiempo real de transformadores de potencia”. Tesis presentada en opción al título de Magister en

- Ciencias. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” CUJAE, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Centro de Investigaciones en Micro Electrónica, La Habana, Cuba.
- Fernández, S. (1996). Diagnóstico Integral, Curso de la Especialidad de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas. Primera Edición CIPEL, 1996. Segunda Edición CIPEL 2002. Tercera Edición 2006. La Habana, Cuba.
- Fernández, S. (2009). Mantenimiento Basado en la Condición. Primera Edición. Curso de la Especialidad de Diagnóstico Integral de Centrales y Subestaciones Eléctricas. CIPEL- CUJAE, Cuba.
- IEC (1991). Loading Guide for Oil Immersed Power Transformers. IEC-354.1991.
- IEEE (1995). Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers. Standard C57.91-1995.
- Lesieutre, B. C., Hagman, W y Kirtley, J.L. (1997) "An improved transformer top oil temperature model for use in an on-line monitoring and diagnostic system". *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, N° 1, pp. 249-256, Jan 1997.
- Mayz, J. (1997). “La investigación y la calidad de las universidades”. *Revista Saber*, Volumen 9, pp. 107-108.
- Morris, A. T. (1999). "Comparing parameter estimation techniques for an electrical power transformer oil temperature prediction model". Langley Research Center. NASA, Tech Rep. TM-1999-208974.
- Pérez, J.E. (1999). “La investigación científica en Latinoamérica”. *Revista Interciencia*, Volumen 23, pp. 316.
- Pérez R., Ramírez O., Fernández S., (2006) "Sistema de diagnostico de transformadores de potencia a distancia". *Revista Universidad Ciencia y Tecnología*. Volumen 10, N° 41, pp. 269-275.
- Pérez, R. (2009). “Modelación térmica para el diagnostico del aislamiento principal en transformadores de potencia”. Tesis de Doctorado. CIPEL-CUJAE, Cuba.
- Pérez, R., Matos, E., Fernández S. (2009) “Identification of the nonlinear model proposed by the mit for power transformers by applying genetic algorithms”. *IEEE Latin America Transactions*. Vol. 7, N° 6, Oct. 2009.
- Pérez, R., Matos, E., Fernández S. (2009b). “Estimación de parámetros y validación del modelo de la temperatura del aceite superior en transformadores de potencia aplicando algoritmos genéticos”. *Revista Técnica de la Universidad del Zulia*, Vol. 32, N° 3, pp. 266-275.
- Pérez, R., Matos, E., Fernández S., (2011). “Procesamiento de datos mediante wavelet para la modelación térmica de transformadores de potencia”. Memorias del X Congreso Latinoamericano y VI Iberoamericano en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico. 26 al 29 sept 2011, la Habana, Cuba.
- Pérez, R. y Fernández, S. (2012) “Experiencias en la estimación de parametros del modelo de la temperatura del aceite superior para el diagnostico de transformadores de potencia”. III Congreso Venezolano de Redes y Energia Electrica CIGRE 2012. Caracas, Venezuela, 7 al 9 de marzo de 2012. ISBN 978-980-7490-00-9. Sesión A2-18.
- Tont, G. y George, D. (2008). “Availability assessment for multivalent and multifunctional systems”, 9th WSEAS International Conference on Automation and Information (ICAI'08), Bucharest, Romania, June 24-26, ISBN: 978-960-6766-77-0 260, pp. 260-265.
- Tylavsky, D., Mao X. y McCulla, G. (2006). "Transformer thermal modeling: improving reliability using data quality control". *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, N° 3, pp. 1357-1366.
- Vetterli, M. y Herley, C. (1992). "Wavelets and filters banks: theory and design". *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol 40, núm. 9, pp. 2207-2232.

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.*

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*