



Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness
*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

LA FORMACIÓN DE INGENIEROS ÉTICOS Y COMPETENTES A PARTIR DE PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ENSAYOS ACREDITADOS

Clara Rojo Ceballos, Esteban Jiménez

Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Resumen

Existen muchas estrategias metodológicas propuestas en la literatura para la educación y conceptualización de los fenómenos físicos dentro de la formación de estudiantes de ingeniería eléctrica. La mayoría de dichas estrategias están basadas en la conjunción de las herramientas de modelado teórico con la experimentación de los fenómenos bajo estudio, siendo este último la ratificación de los postulados iniciales. Los procesos de experimentación en laboratorios, sin embargo no solo requieren de una buena preparación y comprensión de los fundamentos teóricos, sino también de la concientización profunda del procedimiento que se ha seguido para la obtención de los resultados y en función de esto poder establecer las conclusiones científicamente más acertadas.

El presente artículo describe el desarrollo de un novedoso Sistema de Gestión de Ensayos del Laboratorio de Alto Voltaje (SGELAV), para la ejecución de pruebas en el laboratorio de alto voltaje de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con el fin de asegurar la calidad de cada uno de los ensayos y el desarrollo de la cultura de calidad en los estudiantes de ingeniería eléctrica. Finalmente, se presenta una discusión de como la implementación de procedimientos acreditados bajo estándares internacionales de calidad y bajo el uso de las tecnologías de la información, contribuyen a la formación de ingenieros no solo desde el punto de vista académico-técnico, sino desde la formación ético-profesional.

Palabras clave: acreditación de calidad; sistemas de gestión y adquisición de datos; formación de la ética profesional

Abstract

There are many methodologies reported in the literature for physical phenomena conceptualization and educational purposes on electrical engineering, where the fundamentals and nature of these phenomena must be spread understood to avoid misconception and invalid conclusions. Most of those methodologies

are based on theoretical modeling and experimental setups where the experimental data sets are use in the model validation. The experimentation processes in laboratories not only require a good preparation and comprehension of the theoretical fundamentals but also the commitment to make the procedure aware in order to achieve more accurate scientific results. In this process the verification and quality of the procedures are essential on any practice or learning strategy.

This paper relates the development of a Management Test System for the High Voltage (SGELAV) laboratory at Universidad Nacional de Colombia, Medellín Campus, in order to ensure the quality for the testing process and to motivate a quality culture into the electrical engineering student's community. Finally, a discussion of how a management quality system implementation contributes on the electrical engineers training is presented.

Keywords: *quality accreditation; management and data acquisition systems; ethics and professionalism*

1. Introducción

El proceso de acreditación de pruebas bajo normas internacionales, constituye en general una ventaja competitiva para los laboratorios de alto voltaje dentro del sector eléctrico Colombiano. Ante este hecho los laboratorios de las instituciones universitarias que prestan también servicios de extensión, han visto la necesidad de demostrar la calidad de no solo de sus procedimientos técnicos y su infraestructura física, sino también de las capacidades técnicas y éticas del talento humano, entendiéndose este no solo los profesores investigadores, sino el personal estudiantil y los ejecutores de los ensayos.

Este artículo presenta las experiencias adquiridas por parte del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), dentro del proceso de acreditación bajo estándares de los Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) definidos por la norma NTC/ISO17025 y cómo se ven influenciadas no solo la prestación de servicios de pruebas en alta tensión sino también las actividades misionales fundamentales de la universidad: docencia e investigación, viéndose este proceso como un catalizador positivo para la formación de estudiantes de pregrado y posgrado en las distintas actividades de la ingeniería eléctrica desde el punto de vista ético-profesional y para el desarrollo académico-técnico.

Inicialmente se describen los requerimientos fundamentales de un proceso de acreditación de calidad y el desarrollo de un sistema de gestión de ensayos (SGELAV) basado en tecnologías de la información, que contempla el uso de plataformas de adquisición, gestión y transmisión de datos, para realizar el seguimiento riguroso de la normativa internacional o nacional al ejecutar los diferentes ensayos. Finalmente, se presenta una discusión de como la ejecución bajo las mejores prácticas de dichos ensayos pueden llegar a reforzar los procesos de formación de estudiantes de ingeniería eléctrica, no solo desde el punto de vista técnico sino también desde la pro activación de un comportamiento profesionalmente ético.

2. El Proceso de Acreditación en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Nacional, Sede Medellín

Tal como lo enuncia el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC, 2010), “*La acreditación es un servicio de atestación y declaración de tercera parte sobre la competencia técnica y la imparcialidad que evalúan la conformidad de productos y procesos con normas técnicas de mercado o requisitos técnicos de exigencia*

legal", estas características tienen como resultado el aseguramiento de que el laboratorio pueda producir resultados confiables, trazables y reproducibles, con el fin de ofrecer indicadores para la toma de decisiones con relación a las propiedades electromagnéticas de un material, funcionamiento de un equipo o simplemente la validación de un prototipo.

La función de los laboratorios es producir evidencias objetivas de conformidad en un servicio, productos (terminados o semielaborados) o simplemente en las materias primas, respecto de las características y especificaciones indicadas en normas que los rigen. Esto se logra únicamente mediante la realización de ensayos orientados a la certificación de productos de acuerdo al cumplimiento de las exigencias técnicas, que en su mayoría pueden estar dirigidas a la protección de personas, animales y/o del medio ambiente. Lo que implica que la ejecución de este tipo de pruebas no solo consiste en la determinación de un valor experimental, sino también en la corresponsabilidad directa de posteriores actividades que puedan comprometer la salud, la vida y el medio ambiente.

La condición de acreditado exige la ejecución de ensayos siguiendo los requerimientos establecidos por las normas respectivas y bajo las mejores prácticas soportadas en el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) propio de cada laboratorio, el cual especifica los requisitos no solo de la competencia técnica (infraestructura física, instrumentos de medida, confirmación de los métodos utilizados, la estimación de la incertidumbre asociada), sino también poder demostrar responsabilidad social del personal adscrito al mismo.

Para realizar esta función se necesita implementar un SGC propio del laboratorio, el cual es formado por la estructura organizativa, los procedimientos los procesos y recursos necesarios para poner en práctica la gestión de calidad (ISO/ IEC 07025). El SGC del laboratorio contempla los siguientes procesos e interacciones, los cuales confluyen a la satisfacción del cliente (interno y Externo). Los beneficios de un SGC son los siguientes:

- Mayor desarrollo del personal al diseñar, documentar e implantar la mejor forma de hacer las cosas.
- Mayor énfasis en la prevención de problemas que en la corrección de problemas.
- Confianza en la veracidad de las mediciones e inspecciones que se realicen.
- Personal mejor calificado al identificar sus necesidades de capacitación.
- Establecimiento, alineación y cumplimiento de objetivos.
- Establecimiento de una plataforma que permita la implementación exitosa de estrategias.

El SGC del laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Nacional Sede Medellín (Figura 1) combinado con un sistema de gestión de ensayos (SGELAV), se desarrolló en base a la caracterización de proceso, los cuales son un conjunto de actividades y recursos interrelacionados dentro de un mapa de procesos, transforman elementos de entrada en elementos de salida aportando valor agregado para el solicitante. Los procesos considerados son: estratégicos, misionales y de apoyo. Los estratégicos son establecidos por la alta dirección y define cómo se crea valor para el cliente / usuario y para la organización. Los misionales los constituyen la secuencia de valor agregado del servicio, siendo su objetivo final la satisfacción del cliente /usuario. Los procesos de apoyo son determinantes para obtener los objetivos de los procesos estratégicos y misionales.

Los laboratorios universitarios acreditados ofrecen ventajas significativas no solo desde el punto de vista de los servicios de extensión, sino también en el cumplimiento de deberes misionales de docencia e investigación. Se podrían listar por ejemplo:

- Generación de cultura de calidad y buenas prácticas de laboratorio.
- Aseguramiento de la confidencialidad de los resultados en los ensayos realizados.
- Imparcialidad en el trabajo y reporte de resultados sin conflictos de intereses.
- Los resultados netamente académicos de los trabajos desarrollados en estos laboratorios pueden ser divulgados permitiendo la transmisión del conocimiento.
- Trazabilidad en las medidas para la comparación con patrones nacionales e internacionales.
- Desarrollo de experiencias profesionales en área específicas y la contribución en el mejoramiento continuado de productos nacionales.

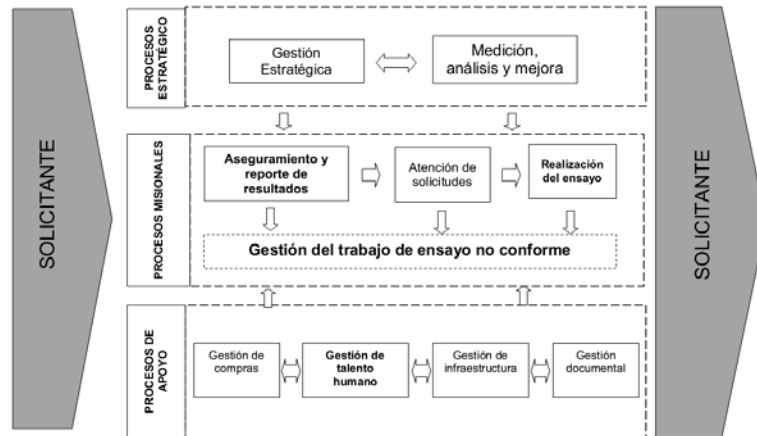


Figura 1. Mapas de procesos del Laboratorio de Alto Voltaje de Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

En concordancia con los lineamientos establecidos en el SGC se desarrolló el Sistema de Gestión de Ensayos (SGELAV), el cual apoya la ejecución de las pruebas y consta de cuatro bloques que se presentan de manera esquemática en la Figura 2.

- Información respecto del Solicitante del ensayo: Está disponible para uso restringido de la dirección del laboratorio y coordinador de calidad.
- Tipo de muestra y definición del protocolo de ensayo: Recoge los pasos de ejecución de la prueba a la que se somete la muestra.
- Ejecución del protocolo de Ensayo: realización de la adquisición y registro de datos.
- Gestión de la base de datos y análisis estadístico de resultados.

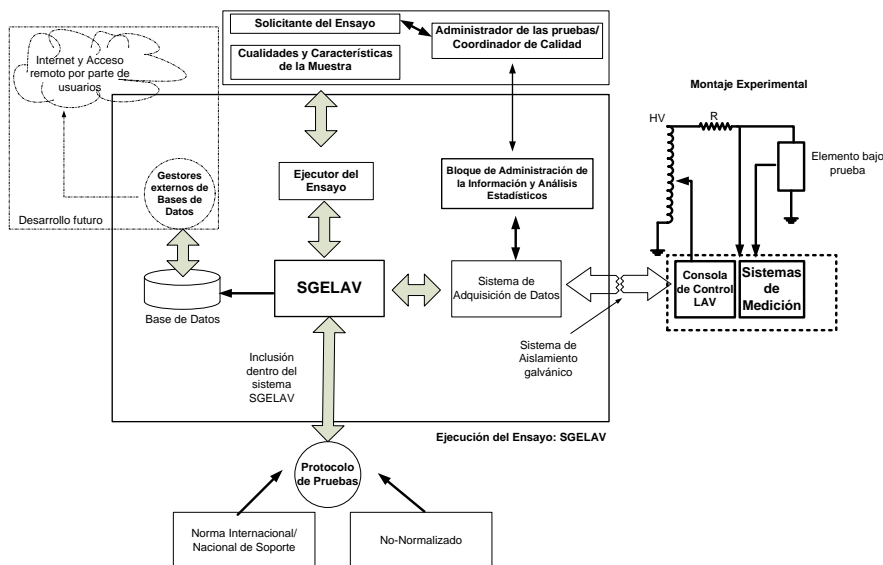


Figura 2. Representación Esquemática del Sistema de Gestión de Ensayos SGELAV

El sistema fue desarrollado bajo la integración de principalmente dos plataformas informáticas: los sistemas de adquisición e interfaz hombre-máquina (LabView) y los sistemas de gestión de bases de datos (MySQL). La conexión entre los mismos se desarrolló mediante conectores ODBC bajo el sistema operativo Windows. Las interfaces con los sistemas de alta tensión y elementos de medición fueron realizadas a través de sistemas aislados galvánicamente ópticos y analógicos con el fin de no poner en riesgo ni el personal ejecutor de la prueba ni los sistemas de adquisición de datos. El control de la información se protegió mediante un esquema de control de acceso jerárquico a la base de datos. Para cada ensayo se registran los ejecutores, los tipos de ensayos y las características de la muestra, las fechas correspondientes y los resultados de las variables medidas. Esto último con el fin de evitar la manipulación de los resultados y veredictos del ensayo; El apoyo en la docencia de este tipo de sistemas ha sido ampliamente conocido en la literatura y en los procesos de formación puesto que permiten la explotación de diferentes plataformas de comunicación y acceso remoto.

3. Caso de Estudio: Ensayo ASTM D120-09 para guantes dieléctricos mediante el SGELAV y el aprovechamiento de las Políticas de Calidad como Herramienta de Formación en Estudiantes de Ingeniería

Se ha demostrado en otro tipo de actividades y ramas de la ingeniería que la participación de estudiantes dentro de procesos reales, el aprendizaje basado en problemas y la toma de responsabilidad sobre los resultados, no solo presenta una alta adquisición de conocimientos académicos sino también un desarrollo interpersonal favorable como se reporta en Ritchie (2002). Aunque en Ritchie (2002) las situaciones se sesgan a la resolución de un problema técnico, es también favorable para pro-activar el comportamiento ético la inmersión de los estudiantes en actividades de alto impacto social lo cual presenta una mayor efectividad para la generación de una conciencia ética-profesional, tal como se describe en (Holsapple, *et al*, 2009).

Actualmente y en especial en las instituciones educativas en Colombia la adquisición de prácticas académicas por parte de los estudiantes no garantiza la ejecución rigurosa de las actividades de ingeniería

con la convicción natural de la responsabilidad profesional, resultando muchas veces en efectos negativos dentro del desarrollo de los estudiantes. Entonces la inclusión dentro de la formación del pregrado de la ejecución de pruebas de alta tensión a elementos típicamente utilizados por personas, no solo logra la concientización de la realización de la prueba a la luz de los protocolos de calidad sino que la promueve el desarrollo de la práctica de la ingeniería con responsabilidad. Adicionalmente, permiten acercar a los estudiantes a las necesidades del sector productivo, la independencia de sectores económicos en la ejecución de pruebas, los materiales disponibles, los requerimientos, las limitaciones técnicas y quizá lo más importante las implicaciones que existen en la pronunciación de veredictos respecto de una prueba (Speltini, *et al.*, 2006).

En esta sección se presenta el uso del SGELAV como apoyo a la docencia e investigación a la luz del cumplimiento del SGC presentado en la sección anterior. Adicionalmente, se considera como caso de estudio el cumplimiento del protocolo y variaciones al mismo, del descrito en la norma internacional ASTM D120, con el fin de verificar los parámetros sensibles para una condición de flameo.

El proceso se inicia con análisis detallado del procedimiento normalizado, con el fin de comprender los criterios que bajo la norma definen los esquemas de montajes, el tipo de alimentación, la corriente de fuga permisible en función de la longitud del guante, las condiciones ambientales y las consideraciones principales para la aplicación de los postulados y relaciones implícitas en el fenómeno físico. Posteriormente, se hace uso de la interfaz SGELAV (Figura 3) para la descripción del elemento bajo prueba: descripción del estado inicial del guante frente a rayones, hendiduras, protuberancias o defectos de fábrica, luego las características eléctricas relacionadas con la longitud del guante, el tipo y clase de aislamiento que definirán los niveles de tensión, las ratas de crecimiento para la excitación y la corriente máxima de fuga. (Figura 3(a)).

Dentro del seguimiento paso a paso se describe cual debe de ser el montaje físico con las restricciones dimensionales y condiciones de ejecución de la prueba respecto a distancias mínimas, nivel de agua, disposición física de electrodos, limpieza del tanque que contiene la prueba, espacio libre de objetos, entre otros. Todo lo anterior con el fin de acondicionar correctamente la prueba. Para el caso de estudio se presenta en la Figura 3(d) el montaje experimental que se realizó verificación experimental del comportamiento dieléctrico del guante.

Una vez se ha determinado cada uno de los protocolos se procede a la verificación experimental del comportamiento dieléctrico del elemento apoyado en el módulo de adquisición de datos. Con el fin de identificar algunos de los parámetros importantes en la ejecución de los ensayos y compararlos respecto a la norma, se propusieron dos variaciones al procedimiento: el crecimiento escalonado de la tensión hasta llegar al valor final dispuesto para la clase y tipo de aislamiento (Figura 4(a)) y el cambio de la rata de crecimiento (Figura 4(b)).

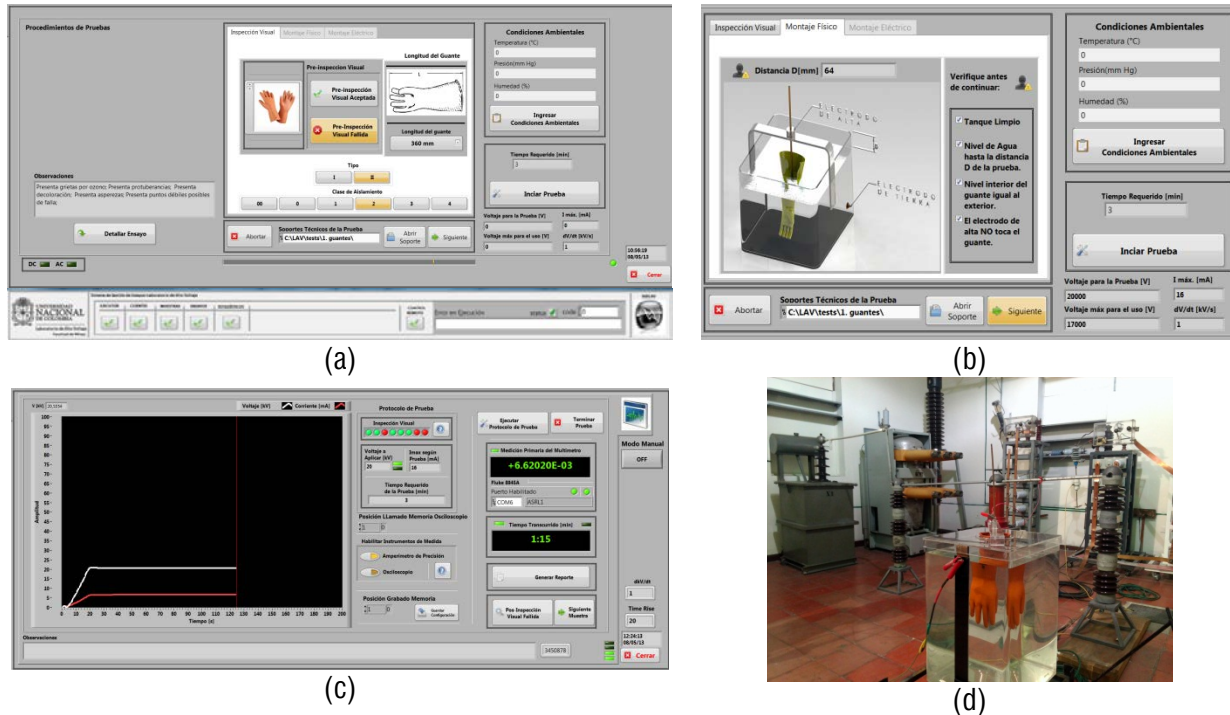


Figura 3. Sistema de Gestión de Ensayos (a) Protocolo de Pruebas a Guantes Dieléctricos. (b) Descripción del Montaje Físico en el SGELAV. (c) Interfaz de Ejecución de Pruebas. (d) Montaje Físico Experimental

Para el crecimiento escalonado de tensión con la tasa de crecimiento indicada por la normatividad, los resultados en la corriente máxima en el voltaje máximo de excitación coinciden respecto de los aplicados en el protocolo de la norma. Sin embargo, la aplicación de la excitación escalonada puede conducir a sobre impulsos propios de la operación de la fuente, que podrían someter el guante a variaciones más rápidas de las deseadas. Los efectos de los cambios en las tasas de crecimiento fueron objeto también de verificación, la Figura 4(b), demuestra como el aumento de la rata de crecimiento puede llevar el elemento bajo prueba a condiciones de flameo. Se realizó la prueba para el mismo tipo y clase de aislamiento presentándose flameo del elemento en el ascenso.

Este tipo de análisis generan en el estudiante una actitud propositiva y argumentativa que puede ser contrastada con los aspectos normativos y que concluyen en diferentes percepciones de la misma. Estableciéndose desde actividades simples criterios fuertes en el análisis de resultados y observaciones experimentales.

Finalmente, se realiza un análisis del lugar geométrico de la relación tensión-corriente con el objetivo de identificar y contrastar patrones teóricos y experimentales a partir de los resultados de las diferentes pruebas. Este tipo de análisis permite la clusterización de zonas de falla o envejecimiento peligroso, lo cual provee al estudiante y al solicitante del ensayo criterios cuantitativos para la toma de decisiones. La Figura 4(c) presenta los resultados obtenidos para todas las pruebas. El comportamiento tensión-corriente para los guantes nuevos se presenta fuertemente correlacionado bajo la misma tendencia, alcanzando valores de corriente por debajo del 15% del máximo permitido en operación normal lo que garantiza una operación completamente segura del guante. Para guantes que visualmente presentan signos de desgaste y envejecimiento, aunque alcanzaron los requerimientos de la norma presentaron tendencias no lineales respecto del aumento del voltaje de excitación. Las zonas de flameo son claramente identificables aunque no

necesariamente definitivas para establecer el veredicto, tal como se presentó con una de las muestras, donde se satisfizo la relación tensión-corriente de un guante bueno pero finalmente condujo a una condición de flameo.

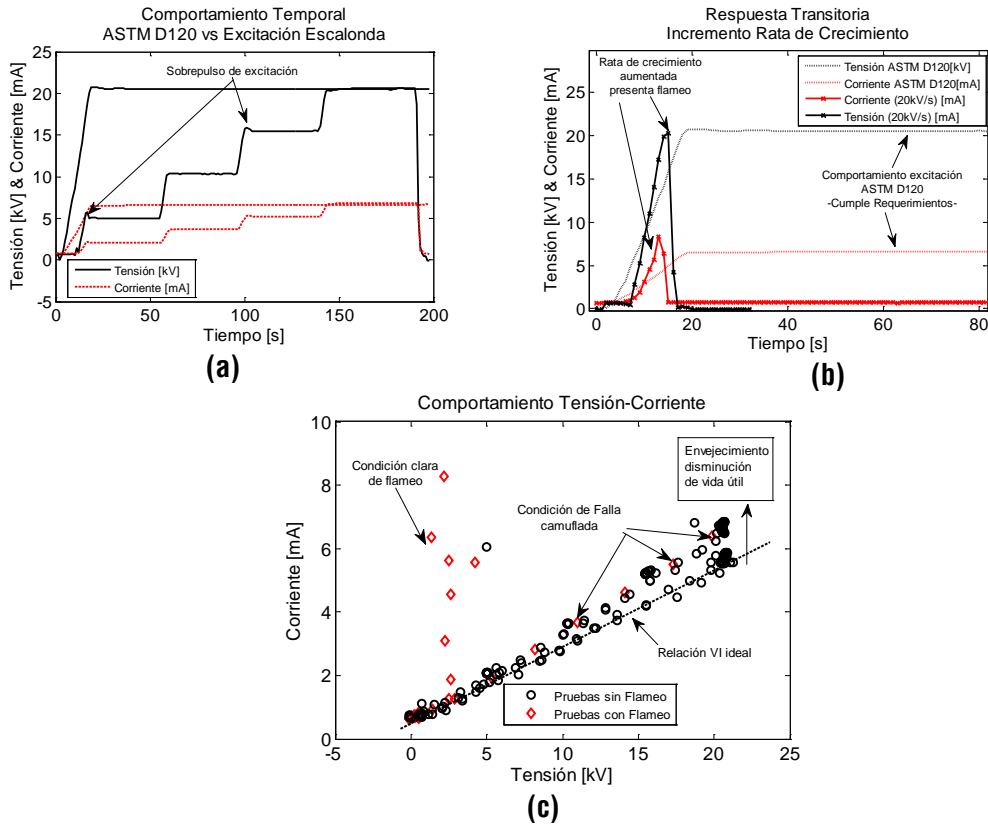


Figura 4. Resultados Experimentales con el uso del SGELAV (a) Comparación Normativa ASTM D120-09 vs Proposición de Excitación escalonada. (b) Respuesta Transitoria según rata de crecimiento. (c) Proceso de clusterización e identificación de regiones geométricas especiales

El desarrollo y manipulación de este tipo de herramientas permiten a los estudiantes de ingeniería eléctrica no sólo relacionarse con las nuevas tecnologías y herramientas de la información, sino que se orienta el trabajo realizado con ellas a satisfacer las necesidades de la sociedad, a proponer protocolos de ensayo y a promocionar el desarrollo sostenible de la localidad. Como se afirma en (Contreras, *et al.* 2012) “el progreso consiste en el perfeccionamiento del mundo humano, no sólo en el ámbito técnico, sino desde una visión que considera la calidad de vida de las personas”, este tipo de desarrollos conllevan a una evolución integral de los ingenieros en formación.

4. Conclusiones

En este artículo se describe como la acreditación de un laboratorio universitario a la luz de un sistema de gestión de calidad SGC permite la transformación del mismo no solo en un verificador y cuantificador de características de un producto, sino también en un actor con corresponsabilidad social, convirtiendo así las labores de docencia e investigación en actividades proactivas de la formación ética. Bajo este esquema el laboratorio es enfocado como una actividad natural en el proceso de ingeniería, los estudiantes se ven

enfrentados desde el punto de vista académico al análisis de datos, el establecimiento de modelos, la verificación de métodos normalizados y no normalizados, la selección correcta de equipos, la realización de montajes experimentales bajo protocolos claros, el conocimiento previo de la incertidumbre asociada a los instrumentos de medición y finalmente a la responsabilidad de la elaboración de informes de ensayos que implican la sustentación teórico-práctica para elementos que en su uso pueden comprometer personas, animales o medio ambiente.

Adicionalmente, desde el punto de vista investigativo la ejecución de pruebas no-normalizadas para el análisis de otro tipo de fenómenos que pueden estar ocurriendo en la relación entre el sistema de excitación y el elemento bajo ensayo, puede ser realizada aprovechando el cumplimiento de los demás elementos relacionados en los protocolos de calidad y la flexibilidad del sistema de adquisición de datos en el ancho de banda del sistema de medición.

5. Referencias

- Contreras, S; García F.; Cárcamo, L.; Domínguez, M.; Salvo J. (2012);. Código de Ética Profesional del Colegio de Ingenieros de Chile. Aprobado en Sesión del Consejo Nacional del 05 de diciembre del 2012. Consultado el 22 de Abril de 2013 en <http://www.ingenieros.cl/codigo-de-etica/>
- Holsapple, M.A.; Finelli, C.; Carpenter, D.; Harding, Trevor; Sutkus, J. (2009). Work in progress - A mixed-methods approach to developing an instrument measuring engineering students' positive ethical behavior. Frontiers in Education Conference, 2009. FIE '09. 39th IEEE , vol., no., pp.1,2, 18-21.
- Organismo Nacional de Acreditación en Colombia (ONAC, 2010). La Acreditación en Colombia. Diciembre de 2010.
- Ritchie, A. (2002), Engineering Education Scheme. Engineering Science and Education Journal, vol.11, no.6, pp.248, 250.
- Speltini, C.; Cornejo, J.; Iglesias A. (2006). La epistemología de Reichenbach aplicada al desarrollo de Trabajos Prácticos contextualizados (TPC) Revista Ciência & Educação. Universidade Estadual Paulista, 12 (1), 1-12.
- Standard Specification for Rubber Insulating Gloves (2009), ASTM D120-09.

Sobre los autores

- **Clara Rojo Ceballos:** Ingeniera Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Profesora asociada Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. crojo@unal.edu.co
- **Raúl Esteban Jiménez:** Ingeniero Electricista, Estudiante Maestría en Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, rejimene@unal.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)