

# Integración de la formación de posgrado y pregrado en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander

Gabriel Ordoñez-Plata, PhD, Johann Petit, PhD, César Duarte, PhD, María Mantilla, PhD, German Osma, PhD, Universidad Industrial de Santander, Colombia, [gaby@uis.edu.co](mailto:gaby@uis.edu.co), [jfpetit@uis.edu.co](mailto:jfpetit@uis.edu.co), [cedagua@uis.edu.co](mailto:cedagua@uis.edu.co), [marialem@uis.edu.co](mailto:marialem@uis.edu.co), [gealosma@uis.edu.co](mailto:gealosma@uis.edu.co)

*Resumen– Presentar la estrategia desarrollada por el grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL), de la E3T, para el desarrollo de la investigación en las áreas de las Ingenierías Eléctrica y Electrónica, articulando los trabajos realizados tanto en sus programas de pregrado como de posgrado.*

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los tres programas con los cuales se creó la Universidad Industrial de Santander hace 70 años es Ingeniería Eléctrica. Desde su fundación, el grupo humano que se ha encargado del desarrollo de las actividades de esta unidad ha sido un eje articulador de cambios de los procesos de formación en la universidad como lo demuestra que en la actualidad esta unidad académica denominada actualmente Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones coordina dos programas de pregrado (Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica), y nueve programas de posgrado (Especialización en Telecomunicaciones, Especialización en Sistemas de Distribución, Maestría En Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ingeniería Electrónica, Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones, Maestría en Sistemas de Distribución, Doctorado en Ingeniería con tres áreas: Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica y Gestión y Desarrollo Tecnológico).

Este crecimiento se ha dado, gracias al trabajo en equipo y colaborativo que siempre ha distinguido a esta unidad, desde sus inicios. El inicio de los programas de posgrado se remonta al año 1985 cuando el Departamento de Electricidad y Electrónica presentó y fue aprobado por la universidad la creación de la Maestría en Potencia Eléctrica, que permitió avanzar en los procesos de investigación en las diferentes áreas de Ingeniería Eléctrica y permear estos desarrollos a los programas de pregrado, objetivo principal de formación de la Universidad Industrial de Santander.

Este documento resume la estrategia de articulación desarrollada entre los programas de pregrado y posgrado de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), que ha permitido el fortalecimiento mutuo de estos programas.

## II. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA

Al iniciar sus actividades, la Maestría en Potencia Eléctrica en las áreas de Transmisión de Energía Eléctrica y Electrónica de Potencia y Control, el foco de atención fueron los estudiantes del nuevo programa y la participación de los estudiantes del programa de Ingeniería Eléctrica fue mínimo. Esta metodología de trabajo impidió que las investigaciones realizadas tuvieran un mayor impacto.

Por otra parte, al inicio de los años noventa, por iniciativa de Colciencias se discutió y estableció la necesidad de la creación de grupos de investigación en las universidades con el propósito de desarrollar investigaciones de mayor impacto en el país. Es así como en el año 1995, se decidió crear dos grupos de investigación relacionados con Ingeniería Eléctrica: el grupo de investigación en Calidad del Suministro de Energía Eléctrica (CASEE) y el grupo de investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL). Posteriormente, en 1997 se decidió unir estos dos grupos en uno sólo, prevaleciendo el nombre de GISEL, grupo que fue reconocido por COLCIENCIAS desde el año 2000 en el área de Investigación en Energía.

Desde su creación, el grupo GISEL ha promovido la docencia, la investigación y la extensión relacionadas con el área de Ingeniería Eléctrica y en el desarrollo de las mismas se han integrado profesores, profesionales y estudiantes de pregrado y posgrado de los diferentes programas que se han ido generando en esta unidad académica, producto de esta dinámica de trabajo colaborativo.

Con relación a la participación de los estudiantes en las actividades del grupo, es importante resaltar que todos los estudiantes de las Maestrías y el Doctorado al inscribirse deben tener el aval de un grupo de investigación; por otra parte, con relación a los estudiantes de pregrado, la participación en el grupo es voluntaria y no hay requisitos de carácter académico para pertenecer al grupo.

El grupo GISEL ha participado activamente en la formación de 5 estudiantes de doctorado, 45 de maestría y alrededor de 1200 estudiantes de pregrado. Adicionalmente, el GISEL ha realizado proyectos de investigación y asesoría a empresas del sector eléctrico e industrial colombiano, principalmente a las ubicadas en la región nororiental de Colombia. Dentro de estas empresas se encuentran: Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – ISA, Electrificadora de Santander S.A. – ESSA E.S.P., Termotasajero, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), ECOPETROL, HOCOL, CODENSA, AMB, Transejes, con las que se han desarrollado trabajos en modalidad de proyectos de investigación, tesis doctorales, asesorías y trabajos de grado. También es de destacar las redes académicas y científicas internacionales en las que ha participado el grupo, entre las que se destacan: ALFA-FORSEE, REIGMEI, CRUX.

Los logros del grupo son producto de la sinergia que se ha logrado consolidar con la estrecha vinculación de los estudiantes de pregrado y posgrado a través de diferentes escenarios: semilleros de investigación, participación de estudiantes en la organización y realización de eventos científicos y académicos, codirección de trabajos de grado de estudiantes de pregrado por parte de estudiantes de posgrado (maestría y/o doctorado), codirección de trabajos de investigación de estudiantes de maestría por parte de estudiantes de doctorado, publicaciones en eventos científicos nacionales e internacionales de ponencias con autoría de profesores y estudiantes de pregrado y posgrado.

En los años 2016 y 2017 el grupo organizó dos eventos internacionales: Cuartas Jornadas Iberoamericanas de Generación Distribuida y Microrredes Eléctricas Inteligentes (RIGMEI 2016) y IX Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica (SICEL 2017) con la participación de conferencistas y ponentes nacionales e internacionales. En estos dos eventos la participación fue de 1130 personas (480 en el REIGMEI y 650 en el SICEL) distribuidas entre empresarios, profesionales, profesores, estudiantes tanto de Colombia como de otros países de Latinoamérica, lo que demuestra la capacidad de convocatoria del grupo y el nivel de compromiso de estudiantes y profesores, quienes fueron los encargados de la organización de este par de eventos.

### III. RESULTADOS

El trabajo colaborativo entre profesores, estudiantes de pregrado, maestría y doctorado ha mostrado ser una estrategia exitosa que ha permitido el avance del grupo de Investigación GISEL en temas de gran relevancia a nivel mundial desde hace 20 años. A continuación, se presentarán los resultados de dos temáticas de actualidad que se han desarrollado en los últimos ocho años, donde se evidencia el impacto de la integración de los procesos de investigación de posgrado (maestría y doctorado) con las actividades de formación de estudiantes de

pregrado, principalmente de las ingenierías Eléctrica y Electrónica.

Un primer tema en el que se ha evidenciado un importante desarrollo en el grupo GISEL es la Electrónica de Potencia, en donde se destacan trabajos realizados principalmente en las áreas de los filtros activos de potencia y los sistemas de generación basados en energías renovables.

Los desarrollos en este campo se han visto impulsados principalmente por la realización de una tesis de doctorado [1] articulada estratégicamente con tres trabajos de investigación de maestría [2] - [4], una monografía de la especialización en sistemas de distribución y 27 trabajos de pregrado de los programas de ingeniería eléctrica e ingeniería electrónica de la UIS. Entre los resultados producto del trabajo colaborativo en el área de la Electrónica de Potencia se destacan la formación de un estudiante de doctorado, tres estudiantes de maestría y más de 40 ingenieros; la publicación de 4 artículos en revistas nacionales, 3 artículos en revistas internacionales, 10 artículos en eventos internacionales y la posible solicitud de una patente en el área. Sumado a lo anterior, el grupo ha desarrollado dos proyectos de investigación con financiación interna en el campo de la electrónica de potencia, se llevó a cabo un semillero de investigación en Micro-redes apoyado por COLCIENCIAS en el año 2014, se participó en el programa de apoyo de infraestructura para formación doctoral y se realizó una pasantía de investigación en un laboratorio especializado en Electrónica de Potencia en Estados Unidos.

Sumado a lo anterior, se resalta el desarrollo y la implementación de prototipos producto de las investigaciones en el área de la Electrónica de Potencia. Estos prototipos no solo contribuyen a la formación de los estudiantes de los programas de pregrado y maestría en Ingeniería Eléctrica y Electrónica, sino que también apoyan la generación de nuevo conocimiento y el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas en los campos de las energías renovables, el filtrado activo de potencia, la calidad de la energía eléctrica, las micro redes eléctricas, entre otros. A manera de ejemplo, en la Fig. 1 se observa el resultado de la implementación de un prototipo correspondiente a un sistema fotovoltaico multifuncional conectado a la red [1], desarrollado por estudiantes del grupo GISEL. Este prototipo permite integrar capacidades de compensación de carga en sistemas fotovoltaicos trifásicos con el fin de mejorar la calidad de la energía en los sistemas de distribución.

Partiendo de lo anterior, el campo de la Electrónica de Potencia se ha visto fortalecido gracias al trabajo en equipo entre profesores y estudiantes de los programas de pregrado, especialización, maestría y doctorado. Además, en la actualidad se evidencia la continuidad de la investigación en el



Fig 1. Prototipo experimental de un sistema fotovoltaico multifuncional desarrollado por estudiantes del grupo GISEL

área con la realización de tres tesis de maestría [5] - [7] y más de siete tesis de pregrado actualmente en desarrollo.

Un segundo tema de investigación y formación es el estudio y análisis del comportamiento energético de edificaciones en el entorno tropical, especialmente edificaciones verdes, en el cual se ha llevado a cabo una tesis doctoral [8], tres trabajos de maestría [9]-[11], dos monografías, 50 trabajos de pregrado, que han contribuido en la formación de más de 100 profesionales en Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica, la publicación de más de 10 artículos científicos, más de 10 ponencias y la solicitud de una patente de invención que se titula “Método y sistema de irrigación para paneles fotovoltaicos integrados con techos verdes”.

Esta invención tiene por objeto principal incrementar la energía eléctrica generada por los paneles FV, a partir de la irrigación de la superficie superior de éstos, y garantizar un nivel de humedad del sustrato (o tierra de cultivo) adecuado para el crecimiento de la vegetación. Consta de dos partes, aparato y procedimiento de operación. El aparato es el sistema de irrigación de los paneles FV y el techo verde, que consiste en el conjunto integrado de los componentes para el suministro de agua y el control de la irrigación; que está conformado por tres subsistemas, a saber: i) el subsistema de suministro del fluido para la irrigación del panel FV; ii) el subsistema de monitorización y control; y iii) el subsistema de suministro del fluido para la irrigación del techo verde. El término “inteligente” hace referencia al procedimiento de esta invención, que permite determinar autónomamente las

condiciones de operación en tiempo real, de acuerdo a las circunstancias de operación y de clima.

Esta investigación se ha financiado por medio de una beca COLCIENCIAS, dos proyectos de financiación UIS y un proyecto COLCIENCIAS titulado “Validación experimental del beneficio energético de la implementación de sistemas fotovoltaicos (FV) integrados con techos verdes para entornos tropicales con clima cálido” de la Convocatoria 700 de 2014. Las temáticas abordadas por estas investigaciones son generación fotovoltaica, simulación energética en edificaciones, automatización de edificios, estudio energético de aplicaciones energética en edificaciones tropicales. Como continuación de la tesis doctoral, se desarrollaron tres trabajos de maestría y dos trabajos de pregrado.

Con base en estas experiencias, se logró obtener financiación para el desarrollo de una segunda etapa de investigación a través de la Convocatoria 745 de 2016 por Colciencias y la UIS titulada “Viabilidad técnica de la implementación de sistemas fotovoltaicos (FV) integrados con vegetación como estrategia de generación distribuida y horticultura en entornos urbanos de clima cálido tropical”, que ha permitido integrar miembros de 4 grupos de investigación, entre profesores, profesionales y estudiantes de pregrado y posgrado. Varios de éstos estudiantes participan en el Semillero de Investigación en Generación Distribuida, que ahora cuenta con un estudiante de doctorado, un estudiante de Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones y cerca de 35 estudiantes de pregrado de Ingenierías Eléctrica y Electrónica, espacio en el que desarrollan sus trabajos finales de investigación.



Fig. 2. Vista de terraza y fachada sur del Edificio de Ingeniería Eléctrica

La Fig. 2 muestra el Edificio de Ingeniería Eléctrica, principal escenario de estudio y análisis del comportamiento energético de aplicaciones URE en una edificación verde para condiciones de clima cálido tropical; específicamente, se realizan investigaciones en generación fotovoltaica, iluminación, climatización, modelado a partir de herramientas de simulación energética, automatización de edificios, calidad de la energía eléctrica y modelado y simulación de la red eléctrica.

En la actualidad se están desarrollando procesos de investigación y formación en la línea de las funciones Smart Grid en temas relacionados con calidad de la energía eléctrica y micro redes eléctricas.

#### IV. CONCLUSIONES

La articulación de los trabajos de grado de los estudiantes de pregrado con el Trabajo de Investigación de las maestrías y la articulación de éstos con una Tesis Doctoral ha permitido crear una sinergia en la E3T que ha visibilizado los trabajos de investigación por su impacto en las necesidades de diversos sectores del país: eléctrico, industrial y construcción, entre otros.

Por otra parte, esta dinámica ha generado una cultura de investigación en la E3T, que ha permitido la vinculación de varios profesores como directores o codirectores de trabajos de estudiantes tanto en pregrado como posgrado.

La investigación en las áreas de los programas se ha visto fortalecida, gracias al trabajo en equipo entre profesores y estudiantes de los programas de pregrado, especialización, maestría y doctorado de la E3T.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Mantilla. "Control de generadores fotovoltaicos con funciones de filtrado activo en sistemas trifásicos distorsionados y desequilibrados", Tesis de doctorado, 2016.
- [2] F. Osorio. "Control de un sistema fotovoltaico conectado a la red trifásica considerando inversor multinivel con diodos anclados al neutro", Trabajo de investigación de maestría, 2017.
- [3] J. Archila. "Implementación de un convertidor SEPIC en sistemas fotovoltaicos", Trabajo de investigación de maestría, 2016.
- [4] M. Mantilla. "Modelado y simulación en tiempo real de un compensador estático de potencia para sistemas de distribución", Trabajo de investigación de maestría, 2011.
- [5] D. Motta. "Modelado y simulación en tiempo real de un generador fotovoltaico conectado a la red eléctrica", Tesis de maestría, actualmente en desarrollo.
- [6] D. Almeida. "Caracterización de inversores multinivel tipo puente H en cascada", Trabajo de investigación de maestría, actualmente en desarrollo.
- [7] K. Sanabria. "Control de transformadores de estado sólido de tres etapas considerando la integración de generación distribuida", Trabajo de investigación de maestría, actualmente en desarrollo.
- [8] G. Osma. "Caracterización del desempeño de paneles FV en terrazas de edificaciones localizadas en entornos con clima tropical cálido", Tesis de doctorado, 2016.
- [9] J. Cárdenas. "Metodología para el análisis eficiente de simulaciones energéticas de edificaciones en el trópico", Trabajo de investigación de maestría, 2017.

- [10] J. Flórez. “Uso racional de la energía: Iluminación y climatización en edificaciones a partir de procesos de automatización”, Trabajo de investigación de maestría, 2017.
- [11] L. Amado. “Propuesta de procedimiento para el diseño de la automatización de sistemas de iluminación híbrida en espacios interiores desde un enfoque de mínimo costo financiero”, Trabajo de investigación de maestría, 2018.
- [12] CÁTEDRA LIBRE. Un edificio “verde”, laboratorio vivo de investigación y docencia. Universidad Industrial de Santander. N° 199. Mayo de 2018. Pág. 3-5. ISSN 1657-157X. Bucaramanga, Colombia