



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

PILOTO DE EDIFICACIÓN VERDE COMO LABORATORIO VIVO EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Germán Alfonso Osma Pinto, Gabriel Ordóñez Plata

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T y la Alta Dirección de la Universidad Industrial de Santander gestionó el reforzamiento estructural y ampliación vertical del Edificio de Ingeniería Eléctrica, con el fin de atender diversas necesidades de infraestructura, tales como aulas, sedes estudiantiles, salas de estudio, oficinas para docentes cátedra y área administrativa.

La intervención en el edificio fue aprovechada por la E3T para el desarrollo de una iniciativa de investigación aplicada a partir del enfoque de construcción verde, orientada a mejorar el nivel de sostenibilidad de la edificación con la reducción significativa de los consumos de energía eléctrica y de agua potable.

La transformación propuesta se logró a partir del diseño e implementación de diversas aplicaciones sostenibles tales como iluminación natural, ventilación natural, techos verdes, captación de aguas lluvias, inermótica, generación renovable, sistema híbrido de iluminación y sistema híbrido de climatización.

Debido a la filosofía verde que caracteriza esta edificación y a la instalación a la vista de diversos componentes tecnológicos, se cataloga esta edificación como un piloto y laboratorio vivo (campo escuela), objeto de aprendizaje e investigación en niveles de pregrado y posgrado en el uso racional de la energía y energías renovables, automatización, control e instrumentación, instalaciones eléctricas, iluminación, entre otras; buscando con ello que la comunidad E3T sienta una mayor pertenencia con sus áreas disciplinares, en especial los futuros ingenieros electricistas y electrónicos.

El concepto de laboratorio vivo de esta edificación permitirá la interacción de los estudiantes con diversos componentes tecnológicos relacionados con el desarrollo profesional de las ingeniería eléctrica y electrónica, es decir que los docentes podrán diseñar estrategias del proceso enseñanza-aprendizaje para vincular diversas temáticas relacionadas con estas ingenierías en aspectos como diseño de instalaciones eléctricas y sistemas de iluminación, instrumentación y control de procesos, y medición y monitorización de parámetros del sistema eléctrico, entre otros.

Palabras clave: edificación verde; laboratorio vivo

Abstract

The Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones – E3T y the executive committee of the Universidad Industrial de Santander managed the structural reinforcement and vertical expansion of the Edificio de Ingeniería Eléctrica, with the purpose to solve several necessities of infrastructure, such as classroom, student offices, study room, offices for teachers and administrative area.

The intervention in the building was used by E3T for the development of an initiative of applied research from approach of green building, it oriented to improve the sustainability level of building with a significant reduction of energy and drinking water consumptions.

The proposed transformation was achieved from the design and implementation of several sustainable applications such as daylighting, natural ventilation, green roofs, rainwater collecting system, inmotoc, renewable generation, hybrid systems of illumination and ventilation-air conditioning.

This building is cataloged as pilot and living lab due of the green philosophy that characterized, and also for the installation of components to the sight. It will be an learning object and research in undergraduate and postgraduate levels in the rational use of energy and renewable energies, automation, control and instrumentation, electrical installations, illumination, among others; with that the E3T community feels more relevant with its disciplinary areas, in special the future electrical and electronic engineers.

The concept of living lab will allow the interaction of students with technological components related with the professional development of the electrical and electronic engineering: that's to say, the professors could design teaching-learning strategies for link several themes related with theses engineering in issues as design of electrical installation and illumination systems, instrumentation and control of process, and measurements and monitoring of parameters of electrical system, among others.

Keywords: green building; living lab

1. Introducción

En la actualidad, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander atiende alrededor de 1 900 estudiantes en dos planes de estudios de pregrado y siete planes de posgrado. Una de las edificaciones utilizada para ello es el Edificio de Ingeniería Eléctrica, inaugurado en 1962 con un área de 1 500 m². En el año 2011, fue intervenido por necesidad de reforzamiento estructural y se incrementó su área en 1 200 m².

Esta coyuntura fue la oportunidad para llevar a cabo una investigación aplicada con el objeto de establecer un piloto de edificación verde, que implementa un conjunto de aplicaciones para mitigar el impacto ambiental, a partir de la reducción de los consumos de energía eléctrica y de agua potable.

Esta investigación se soportó en un trabajo de maestría y varios de pregrado en la línea de investigación en *Uso Racional de la Energía (URE) y Energías Alternativas (EA)* del Grupo de Investigación en Sistemas de

Energía Eléctrica – GISEL de la E3T. Esto ha dado visibilidad a la E3T y a la UIS a partir de participación en eventos, reconocimientos a nivel académico y del sector eléctrico. Actualmente, está ligado a una tesis doctoral y diversos trabajos de grado.

En este documento se presenta inicialmente la contextualización de las edificaciones verdes y se describen las aplicaciones verdes implementadas en el edificio de la E3T. Posteriormente, se describen los aspectos a tener en cuenta para que la edificación se convierta en una herramienta para la formación de los futuros profesionales en las áreas eléctrica y electrónica. El documento finaliza con las conclusiones más relevantes de este trabajo.

2. Edificaciones verdes

Las edificaciones son estructuras permanentes de uso residencial, comercial, industrial, etc. (Harris 2006). Actualmente, en su gran mayoría son diseñadas y construidas sin criterios de sostenibilidad y en consecuencia se caracterizan por un consumo intensivo de recursos durante su construcción y operación, al demandar cerca del 40% de los recursos naturales extraídos por el hombre y del 50% de la energía total consumida por la sociedad (Castro-Lacouture et al. 2009). Esto último se debe mayormente a sistemas de climatización e iluminación artificiales (Li et al. 2009); por ello, éstos son responsables de la tercera parte de la producción mundial de CO₂, entre otros gases de efecto invernadero (Rosiek and Battles 2009), (Osma and Ordóñez 2010).

Por tal razón, es necesario el desarrollo de edificaciones más amigables con el medio ambiente, denominadas edificaciones verdes (Zemella et al. 2011). Éstas tienen como uno de sus propósitos principales reducir el consumo energía manteniendo las condiciones de habitabilidad, y puede implicar ahorros entre el 30% y el 100% (Osma Pinto 2011).

El mayor o menor grado de éxito de una edificación verde, depende de los sistemas verdes seleccionados e instalados (aplicaciones verdes) (Castro-Lacouture et al. 2009), (Pulselli, Simoncini, and Marchettini 2009); en el caso concreto del desempeño energético, aplicaciones para el uso racional y eficiente de la energía (Osma Pinto 2011).

Una aplicación URE es todo aquel sistema que permite satisfacer necesidades (confort visual, confort térmico, etc.) al interior de una edificación y se caracteriza por disminuir el consumo energético de las redes a partir de sistemas de alta eficiencia energética (e.g. iluminación LED, climatización automatizada), de generación en sitio a partir del medio ambiente circundante (fuentes de energía renovable-FER) o de estrategias de cero consumo de energía eléctrica (e.g. lineamientos de arquitectura bioclimática) (Osma Pinto 2011).

3. Edificio de Ingeniería Eléctrica: piloto de construcción verde

El componente de mejoramiento de sostenibilidad energética y acuífera de la edificación se desarrolló a partir de un trabajo de maestría (Osma Pinto 2011). Inicialmente, se cuantificaron las necesidades, luego se analizó el potencial de las condiciones climáticas en sitio. Finalmente, se realizaron los diseños de diversos sistemas, tal como se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Sistemas implementados en el edificio (Osma Pinto 2011).

El sistema de generación fotovoltaico tendrá una capacidad instalada de 5,0 kW, para una generación anual de 8,0 MWh, donde el 100% de la energía será inyectada en tiempo real a la red, y por tanto, utilizada en cualquier servicio de la edificación.

El sistema de aislamiento térmico a partir de cubiertas verdes en las terrazas asciende a 560 m², con un espesor total de casi 20 cm, que permitió reducir la capacidad instalada del sistema de aire acondicionado en cerca de 23 toneladas de refrigeración, cuyo costo de suministro e instalación sería cercano a \$ 100 000 000.

Se concibió un sistema híbrido de iluminación que permitirá la interacción inteligente de la iluminación natural y la iluminación artificial. Los diseñadores fueron asesorados para facilitar el aprovechamiento de la iluminación natural incidente en las fachadas, con la debida protección solar y la selección y configuración de dispositivos. Asimismo, se dispuso de un sistema de 23 tubos solares como fuente de iluminación natural cenital.

La mayoría de los espacios contarán con ventilación natural cruzada y/o forzada a partir de ventanas, celosías y extractores para el aprovechamiento y direccionamiento del viento proveniente de la dirección norte. Ello evitó la utilización de sistemas de aires acondicionados en más del 60% de los espacios. Para las áreas con mayor carga térmica se concibió un sistema híbrido que permitirá la interacción inteligente de la ventilación natural y la climatización mecánica.

4. Aspecto considerados en el diseño y construcción del edificio para la formación de profesionales de las áreas de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica

En el diseño y construcción de la edificación se consideró como aspecto fundamental, la monitorización de variables físicas (temperatura, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa) y eléctricas (potencias, energía, parámetros de calidad de energía eléctrica) con el fin de analizar el comportamiento de los sistemas incorporados en la edificación para efectos de la realización de investigaciones relacionadas con edificaciones sostenibles y facilitar la utilización de esta información en diferentes asignaturas de los programas de las ingenierías eléctrica y electrónica que la escuela oferta en la actualidad. Adicionalmente, las instalaciones eléctricas en tres pisos del edificio están a la vista para la identificación de componentes, el

levantamiento de planos y la verificación de disposiciones normativas y reglamentarias relacionadas con las instalaciones eléctricas de edificaciones.

Por otra parte, durante el año 2013 la E3T ha estado adelantando la reforma académica de los planes de estudio de pregrado tanto de Ingeniería Eléctrica como de Ingeniería Electrónica, razón por la cual es coyuntural establecer de forma específica cómo las nuevas instalaciones pueden apoyar los procesos pedagógicos de formación de los futuros profesionales, específicamente en las líneas de uso racional de la energía y energías renovables, automatización y control, medición y monitorización de variables eléctricas, así como las instalaciones eléctricas e iluminación.

En la Figura 2 se presenta un resumen de los aspectos considerados en la edificación que podrán facilitar a los profesores la estructuración de procesos de enseñanza centrados en el desarrollo de competencias en los estudiantes en diversas asignaturas del ciclo de formación de las ingenierías eléctrica y electrónica.

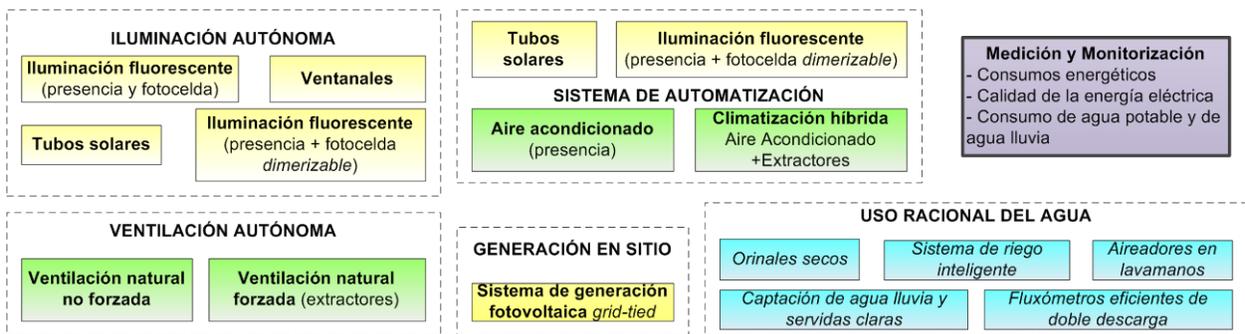


Figura 2. Sistemas de generación, automatización, monitorización y operación del edificio de la E3T.

Con relación a la actividad de enseñanza aprendizaje y manteniendo el respeto por la autonomía del docente en este proceso, en la Tabla 1 se hace una relación de las diversas estrategias didácticas que se han identificado como favorables para el desarrollo competencias profesionales en los estudiantes a partir de la interacción con el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Como ejemplo se describen a continuación los aspectos considerados en el proceso de enseñanza aprendizaje de la línea de formación de medición y monitorización. Esta línea de formación corresponde al programa de Ingeniería Eléctrica e incorpora dos asignaturas: Mediciones Eléctricas y Mediciones Eléctricas Avanzadas.

La disposición de los sistemas de medición de variables eléctricas permitirá incorporar en dentro de la estructuración de la asignatura Mediciones Eléctricas los siguientes aspectos: i) Revisión de las especificaciones de clase de exactitud y resolución de los equipos instalados para efectos de evaluar la incertidumbre de los parámetros que se obtengan de las variables de tensión y corriente, ii) Diseño experimental de procesos de medición para obtener el valor estimado de diferentes mensurandos de las señales de tensión y corriente del sistema eléctrico, iii) Obtención de muestras de señales de tensión y corriente del sistema eléctrico del edificio para simular diferentes modelos de estimación de los parámetros de potencia y energía en sistemas eléctricos monofásicos y trifásicos, iv) Medición de sistemas de puesta a tierra y aislamiento de las instalaciones eléctricas del edificio.

Con relación a la asignatura Mediciones Eléctricas Avanzadas, los sistemas de medición permitirán: i) Revisar la estructura de medición inteligente utilizada en la edificación, para disponer de la información de los medidores instalados, ii) Analizar aplicaciones que se pueden estructurar bajo el esquema de medición inteligente con la información disponible de los medidores instalados, iii) Analizar la información de los parámetros relacionados con la calidad de la energía eléctrica para realizar diagnósticos de un sistema eléctrico, iv) Diseñar sistemas de gestión de la información de los diferentes parámetros que se estiman con los equipos de medición para realizar propuestas tanto para la gestión energética como para la monitorización de parámetros relacionados con la calidad de la energía eléctrica.

En general, la estructuración del sistema de medición inteligente de variables eléctricas implementado en la edificación, permitirá estructurar actividades de experimentación y simulación en estas asignaturas, que permitirán abordar diferentes aplicaciones relacionadas con el sector eléctrico, tales como: la automatización de todos los aspectos relacionados con el uso de la energía eléctrica, la determinación dinámica de la calidad de la energía eléctrica, la obtención de la demanda de usuarios en tiempo real, el seguimiento del comportamiento de las cargas eléctricas en tiempo real, entre otras.

LÍNEA DE FORMACIÓN	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS
Uso racional de la energía (energía renovable y eficiencia energética)	Exposiciones magistrales. El profesor abordará generalidades sobre generación fotovoltaica (FV), iluminación natural, ventilación natural, climatización inteligente, iluminación inteligente y techos verdes.
	Visitas de campo. Tendrán por objeto la identificación de componentes de cada sistema y la visualización el comportamiento energético en sitio.
	Método del caso y estudio de datos. Se suministrarán a los estudiantes datos reales sobre los sistemas con el propósito que infieran sobre su desempeño energético.
	Simulaciones. A partir de modelos virtuales en un software de simulación energética avanzada, el estudiante podrá realizar análisis sobre el comportamiento energético de la edificación o secciones específicas de ésta, y así establecer el ahorro energético real.
	Método de proyectos. Se solicitará realizar diseños de diversos sistemas tomando como guía los estudios técnicos desarrollados para la edificación.
Automatización	Exposiciones magistrales. Se tratarán generalidades de los subsistemas de control de accesos, detección de incendios, CCTV y control de iluminación y climatización.
	Visitas. Se realizarán visitas a las instalaciones de cada subsistema a fin de identificar componentes. Asimismo, se realizarán visitas virtuales a través de la plataforma del sistema.
	Estudio de datos. Se suministrarán a los estudiantes datos sobre la operación del subsistema de control de iluminación y de climatización para determinar el ahorro energético.
Medición y monitorización	Actividades en el aula de clase. El profesor y los estudiantes abordarán los aspectos relacionados con la medición y monitorización de variables en el sistema eléctrico partiendo del análisis de los medidores hasta llegar al estudio de la estructuración de sistemas de medición inteligente con sus diferentes aplicaciones.
	Visitas. Se podrá acceder de forma virtual al sistema de medición inteligente (<i>smart metering</i>) del edificio, compuesto por seis unidades, y también a medidores en media tensión de diversas edificaciones en la universidad.
	Método del caso y estudio de datos. Se basará en la obtención y en el análisis de parámetros del sistema eléctrico, a fin de realizar comparaciones y seguimiento de variables eléctricas tanto para la identificación de oportunidades de mejora en la eficiencia energética como para la diagnóstico de la calidad de la energía eléctrica, lo cual con el fin de diseñar e implementar de iniciativas que propendan por el uso racional y eficiente de energía.
Instalaciones eléctricas	Debates. Se desarrollarán sesiones de discusión sobre la aplicación de disposiciones reglamentarias y normativas en la edificación.
	Visitas. Se realizarán visitas a cuartos técnicos de piso, a la subestación (tablero general, planta de emergencia y transformador)
	Estudio de datos. Se suministrarán datos del sistema de puesta a tierra de la edificación.

Tabla 1. Estrategias didácticas a emplearse considerando la interacción con la edificación

Con relación a las actividades de investigación que se están promoviendo con la edificación, en la Tabla 2 se presenta una relación de los trabajos de grado desarrollados y en desarrollo que permitirán la apropiación de diversas temáticas que posteriormente pueden ser empleadas por los docentes durante el proceso de formación en tópicos relacionados con: la medición y monitorización de variables eléctricas, el control y la automatización de procesos, el diseño e inspección de instalaciones eléctricas, el uso racional y eficiente de energía y la integración de sistemas de generación de energía eléctrica en micro-redes.

TEMÁTICA	TRABAJOS DESARROLLADOS Y EN DESARROLLO
Energías renovables	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorización de variables climáticas y evaluación del potencial energético solar y eólico ✓ Análisis del impacto del seguimiento solar ✓ Operación de un sistema fotovoltaico ✓ Inyección de energía en tiempo real a la red eléctrica de la edificación
Estrategias pasivas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comprensión y monitorización de la operación del techo verde ✓ Descripción de características del movimiento solar ✓ Comprensión y monitorización de iluminación natural sobre fachadas, iluminación inteligente y climatización inteligente
Medición por piso y general	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorización de variables de calidad de la energía eléctrica ✓ Caracterización eléctrica de las cargas conectadas al sistema eléctrico ✓ Diseño y montaje de aplicaciones para la visualización on-line de variables eléctricas
Uso racional del agua	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorización del consumo de agua potable y de agua lluvia ✓ Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para techo verde según el nivel de humedad del sustrato ✓ Control de llenado del tanque de acopio de agua lluvia
Practicantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrenamiento en el sistema de automatización en detección de incendios, control de accesos y seguridad, CCTV, iluminación inteligente y climatización inteligente ✓ Control automático de persianas según movimiento solar ✓ Control automático de acceso a terrazas según condiciones climáticas ✓ Levantamiento en plantas de componentes eléctricos y electrónicos ✓ Diseño de un aplicativo para el plan de mantenimiento preventivo de los sistemas ✓ Diseño y montaje de escenarios para proyección en aulas de clase

Tabla 2. Iniciativas desarrolladas y en desarrollo a partir de trabajos de grado para la realización de investigación

5. Conclusiones

El concepto de campo escuela con el cual se diseñó y construyó esta edificación permitirá la interacción de los docentes y estudiantes con componentes tecnológicos estrechamente relacionados con la formación profesional de las ingenierías eléctrica y electrónica.

La estructura de medición, monitorización y automatización de la edificación permitirá que los docentes establezcan las estrategias que consideren más adecuadas dentro del proceso enseñanza-aprendizaje para que los estudiantes corroboren experimentalmente diferentes aspectos teóricos analizados en las asignaturas.

Por otra parte, en la actualidad se ha estructurado el desarrollo de investigaciones a nivel de posgrado y pregrado que permitirán realizar análisis sobre el comportamiento de los sistemas implementados en diversos escenarios climáticos y de uso por parte de los ocupantes.

En términos generales, la edificación se ha estructurado con sistemas de protección y monitorización de variables eléctricas suficientes para facilitar la inspección, maniobra y descripción del comportamiento de las variables del sistema eléctrico en aras de favorecer la implementación de estrategias pedagógicas para la formación de profesionales en las ingenierías eléctrica y electrónica así como la realización de investigaciones.

6. Referencias

Artículos de revistas

- Castro-Lacouture, Daniel, Jorge a. Sefair, Laura Flórez, and Andrés L. Medaglia. 2009. "Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia." *Building and Environment* 44(6): 1162–1170. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308002084> (June 21, 2011).
- Li, D, T Lam, W Chan, and a Mak. 2009. "Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings." *Applied Energy* 86(5): 722–729. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261908002031> (June 14, 2011).
- Osma, German, and Gabriel Ordóñez. 2010. "Desarrollo sostenible en edificaciones." *Revista UIS Ingenierías* 9(1): 103–121.
- Pulselli, R, E Simoncini, and N Marchettini. 2009. "Energy and emergy based cost–benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate." *Building and Environment* 44(5): 920–928. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308001571> (September 15, 2011).
- Rosiek, S., and F.J. Batlles. 2009. "Integration of the solar thermal energy in the construction: Analysis of the solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building." *Renewable Energy* 34(6): 1423–1431. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.021> (September 29, 2011).
- Zemella, Giovanni, Davide De March, Matteo Borrotti, and Irene Poli. 2011. "Optimised design of energy efficient building façades via Evolutionary Neural Networks." *Energy and Buildings* 43(12): 3297–3302. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811004506> (November 11, 2011).

Libros

- Harris, Cyril. 2006. *1089 Dictionary of Architecture and Construction*. Fourth Edi. ed. McGrawHill. United States of America.
- Osma Pinto, Germán Alfonso. 2011. "Proyecto de Investigación de maestría: USO RACIONAL DE LA ENERGÍA A PARTIR DEL DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES EN EL EDIFICIO ELÉCTRICA II DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER." Universidad Industrial de Santander. Trabajo de Maestría dirigido por el Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

Sobre los Autores

- Germán Alfonso Osma Pinto: Ingeniero Electricista e Ingeniero Industrial de la Universidad Industrial de Santander, obtuvo el título de Magister en Ingeniería Eléctrica en 2008. Actualmente, realiza estudios de doctorado. Email: german.osma@gmail.com
- Gabriel Ordóñez Plata es Ingeniero Electricista de la Universidad Industrial de Santander, Especialista Universitario en Técnicas de Investigación y Doctor Ingeniero Industrial en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pontificia Comillas. Actualmente es profesor Titular Laureado de la

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander y Director del Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL).
Email: gaby@uis.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)