

Edificación verde como instrumento de investigación y docencia. Caso Edificio de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Industrial de Santander

German Osma, PhD, Gabriel Ordoñez-Plata, PhD, César Duarte, PhD, Johann Petit, PhD,
Universidad Industrial de Santander, Colombia, gealosma@uis.edu.co, gaby@uis.edu.co, cedagua@uis.edu.co, iffpetit@uis.edu.co.

Resumen– Este documento describe los beneficios del uso de un piloto de edificación verde, Edificio de Ingeniería Eléctrica, de 2012 a 2018, como herramienta de investigación y formación en los programas (posgrado y pregrado) de la E3T y de socialización de aplicaciones URE en la ciudad de Bucaramanga.

I. INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander (UIS) está localizada a, 7,13° latitud norte y 73,13° longitud oeste en la ciudad de Bucaramanga (Colombia, Sur América). Su clima es cálido y con altura sobre el nivel del mar de 960 msnm. Tiene una temperatura ambiente promedio de 24°C y una máxima promedio de 31°C; su precipitación anual promedio es de 1279 mm. La irradiación solar horizontal promedio es 4,9 kWh/m²/día.

El Edificio de Ingeniería Eléctrica se encuentra ubicado en el campus principal de la UIS y ha funcionado como la sede de la E3T (Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones), cuenta con un área construida de aproximadamente 3300 m² y albergan una población estudiantil cercana a los 1900 estudiantes.

La versión actual de edificación es el resultado de un proceso de reforzamiento estructural realizado a partir del año 2011, proceso que permitió el rediseño de la edificación, el cual fue realizado considerando conceptos de edificación verde con la implementación de diversas aplicaciones pasivas y activas integradas en el concepto de gestión integral y uso racional de la energía, que genera ahorros aproximados del 60% en el consumo energético y del 50% en agua con respecto al consumo promedio de otras edificaciones similares en el campus universitario.

Desde su diseño, esta edificación se concibió como un laboratorio para el desarrollo de investigaciones relacionadas con la apropiación y adaptación de tecnologías para el uso racional de energía en el entorno tropical, en temáticas tales como: generación fotovoltaica, simulación energética en edificaciones, automatización de edificios y aplicaciones energéticas verde.

Por tanto, este trabajo tiene por propósito describir los beneficios del uso de un piloto de edificación verde, Edificio de Ingeniería Eléctrica, de 2012 a 2018, como herramienta de

investigación y formación en los programas (posgrado y pregrado) de la E3T y de socialización de aplicaciones URE en la ciudad de Bucaramanga.

II. EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

La Figura 1 muestra al Edificio de Ingeniería Eléctrica. Esta edificación integra un conjunto de aplicaciones energéticas sostenibles como cubierta verde, tubos solares, ventilación natural, iluminación natural, iluminación y climatización híbrida y generación fotovoltaica que reducen el consumo energético en cerca del 60%. También cuenta con estrategias de uso racional del agua como fluxómetros de doble descarga, aireadores y orinales secos, que reducen a la mitad el consumo de agua potable. A continuación, se describen de forma breve las aplicaciones implementadas.

A. Cubierta verde

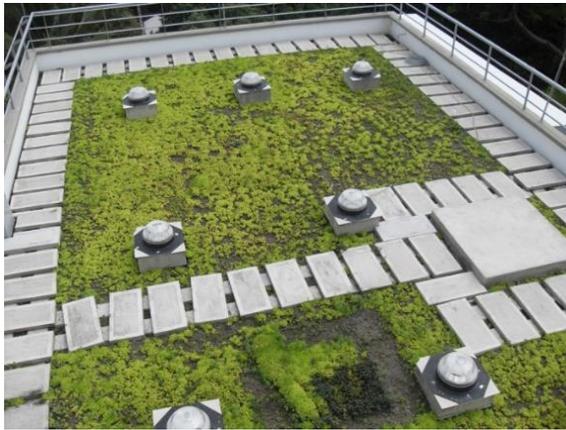
Con el propósito de disminuir el consumo energético asociado a la climatización y generar un espacio verde en la edificación, se implementaron dos cubiertas verdes en las terrazas (quinto y sexto nivel) de la edificación con áreas de 140 m² y 440 m², respectivamente, las cuales son mostradas en la Figura 1.a. Esta estrategia, junto con la ventilación natural, redujo la carga térmica en el área administrativa ubicada en el piso 5, lo cual 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 cien millones de pesos. Adicionalmente, se debe considerar que ello ocasiona una reducción anual del consumo de energía eléctrica de alrededor de 40 MWh.

B. Tubos solares

El sistema de iluminación natural a partir de tubos solares se diseñó para dos aulas en el Piso 4 y el área administrativa del Piso 5. En total, se emplearon 23 tubos de 25 cm (6 tubos) y 35 cm (17 tubos) de diámetro que proporcionan niveles de iluminación entre 300 y 500 luxes, de 9 a.m. a 3 p.m. Las figuras 1.a y 1.b ilustran la integración de tubos solares con la cubierta vegetal.



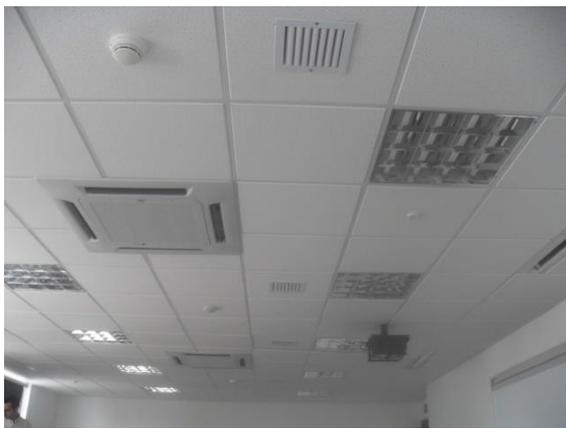
a. Vista superior de la terraza y fachada sur [1].



b. Cubierta vegetal del Piso 5.



c. Tubos solares y ventanas integrados con sistema de iluminación artificial automatizado.



d. Componentes de iluminación, climatización y sensores.



e. Cultivos de hortalizas y sistema FV.

Fig. 1. Edificio de Ingeniería Eléctrica.

C. Iluminación y ventilación natural

Con el propósito de aprovechar la luz natural en actividades académicas y de oficina, se definieron grandes áreas de ventanales en las fachadas norte y sur de la edificación. Para mitigar efectos molestos sobre el confort visual como el deslumbramiento, se instalaron dispositivos de protección como lamas horizontales, tal como se muestra en la Figuras 1.a.

El aprovechamiento de la iluminación natural es logrado a partir de la automatización, en algunos espacios la iluminación artificial es gestionada directamente por sensores de presencia y fotoceldas, y en otros espacios dicha gestión está a cargo de un sistema centralizado de automatización de la edificación.

La mayoría de los espacios cuentan con ventilación natural cruzada y/o forzada a partir de ventanas, celosías y extractores para el aprovechamiento y direccionamiento del viento proveniente del norte. Ello evita 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.

D. Building Automation System

La edificación cuenta con un *Building Automation System* – BAS, específicamente se usa la plataforma *Andover Continuum* de Schneider, para operar los subsistemas de control de accesos, de detección de incendios, de CCTV y de iluminación y climatización híbridos inteligentes. Estos últimos tienen como propósito aprovechar al máximo las condiciones de iluminación natural y ventilación en sitio para garantizar que el consumo de energía eléctrica sea el menor posible. Para ello se concibieron sistemas híbridos de iluminación y climatización en algunas áreas tal como muestra las figuras 1.c y 1.d.

E. Generación de energía solar fotovoltaica

La edificación cuenta con un sistema FV de aproximadamente 10 kW, que inyecta aproximadamente 13 MWh/año a la red eléctrica de baja tensión de edificación; lo cual equivale a cerca del 20% de la demanda anual. Su integración tiene un desempeño destacado debido a los altos niveles de irradiación solar de la ciudad de Bucaramanga, 4,9 kWh/m²/día.

F. Sistema Green Roof Integrated Photovoltaics (GRIPV)

Este sistema es la combinación de sistemas fotovoltaicos y techos verdes, tal como muestran las figuras 1.a y 1.e. La vegetación debajo de los paneles FV mitiga el efecto negativo del incremento de la temperatura de operación de los paneles

FV entre 2% y 5%. Adicionalmente, se integró un sistema de riego a los paneles FV para reducir aún más la temperatura de éstos, con lo cual se puede incrementar en cerca de 10% la generación de energía al día.

El estudio de un sistema GRIPV y el diseño del sistema de riego para condiciones de un clima cálido tropical se realizaron a través de una tesis doctoral y proyecto COLCIENCIAS, a partir de lo cual se solicitó una patente de invención titulada “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. 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.

Actualmente, el sistema GRIPV es utilizado para el estudio del desarrollo fisiológico de especies hortícolas y aromáticas. En la primera etapa se están cultivando berenjenas (*Solanum melongena*) y tomates variedad cereza o cherry (*Solanum lycopersicum var cerasiforme*).

G. Uso racional de agua

Se seleccionaron técnicas de disminución del consumo de agua tales como: uso de dispositivos de bajo o nulo consumo (orinales, fluxómetros de doble descarga, aireadores para lavamanos y duchas), y captación y reutilización de aguas lluvias y aguas servidas claras para atender servicios que no demanden agua potable (sanitarios y riego). Con ello se reduce el consumo anual de agua potable de 1800 m³ a 900 m³, lo que equivale a un 50% de ahorro; por otro lado, el vertimiento de agua a la red de alcantarillado también se disminuirá en este mismo porcentaje.

III. RESULTADOS

El concepto de laboratorio vivo de esta edificación permite la interacción de los estudiantes con diversos componentes tecnológicos relacionados con el desarrollo profesional de las ingenierías eléctrica y electrónica, es decir que los docentes diseñan 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,

medición y monitorización de parámetros del sistema eléctrico, entre otros.

A la fecha, el Edificio de Ingeniería Eléctrica ha sido escenario y soporte de diversas investigaciones, específicamente, 1 tesis doctoral, 5 trabajos de maestría en Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Telecomunicaciones, 50 trabajos de grado, dos proyectos de investigación con financiación de la UIS y dos proyectos de investigación COLCIENCIAS titulados “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 (FP44842-385-2015) y “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” de la Convocatoria 745 de 2015 (FP44842-040-2017).

Las temáticas abordadas por estas investigaciones ha sido generación fotovoltaica, iluminación, climatización, modelado a partir de herramientas de simulación energética, automatización de edificios, calidad de la energía eléctrica, modelado y simulación de la red eléctrica, caracterización de la influencia climática en el desempeño de aplicaciones energéticas.

Estas investigaciones han permitido el trabajo interdisciplinario de investigadores, entre profesores, profesionales y estudiantes de pregrado y posgrado, de cuatro grupos de investigación de la Universidad Industrial de Santander, GISEL, CEMOS y RadioGis de la E3T, GIEFIVET de la Escuela de Biología y GIEMA de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Es importante mencionar que la mayoría de los estudiantes de pregrado y posgrado que actualmente están involucrados con el Edificio pertenecen al Semillero de Investigación en

Generación Distribuida, que está conformado por 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.

Para llevar a cabo parte del trabajo mencionado, se han instalado tres sistemas de monitorización. El primer sistema se encarga de sensar diversas variables asociadas al sistema de automatización de la edificación; el segundo sistema monitoriza variables y parámetros eléctricos en trece (13) tableros de la edificación y el tercer sistema ubicado en terraza permite estudiar el comportamiento de los sistemas FV, de riego inteligente y de variables microclimáticas. Actualmente, se desarrolla una plataforma de servicios basada en IoT para gestionar e integrar las variables a los sistemas monitorización de variables eléctricas y de terraza.

La infraestructura de la edificación ha sido empleada como estrategia didáctica para apoyar el desarrollo de temáticas en asignaturas como Generación de Energía Eléctrica, Mediciones Eléctricas Avanzadas e Instalaciones Eléctricas y ha servido de escenario para la realización de más de 40 visitas guiadas, lo que ha permitido socializar principios de la construcción sostenible a más de 700 personas entre miembros del campus universitarios, profesionales del sector de la construcción del Área Metropolitana de Bucaramanga, profesores y estudiantes de otras universidades y de estudiantes de bachillerato. A la fecha ha sido objeto de diversas publicaciones a nivel institucional [1-4], local [5-7] y nacional [8].

La implementación de diversos sistemas en la edificación permite que, en la estructuración de las asignaturas de los programas de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, los docentes puedan integrar diferentes estrategias a partir de la información disponible de estos sistemas, tal como se relaciona en la Figura 2.

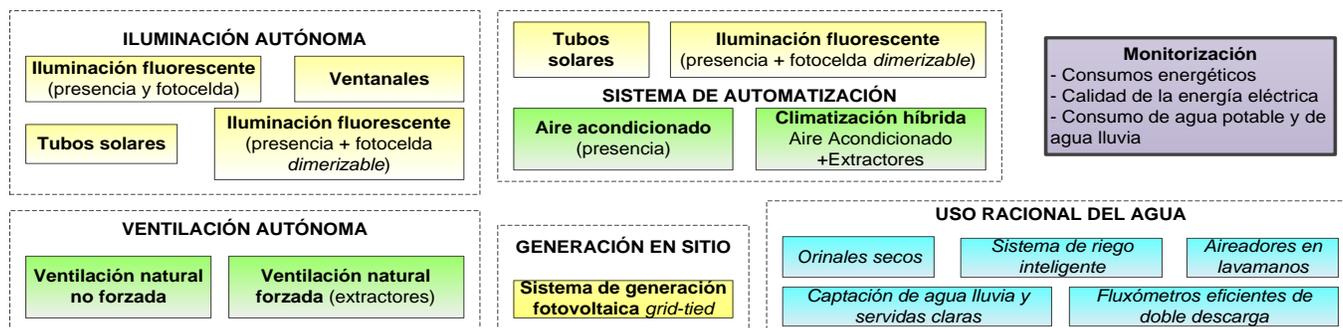


Figura 2. Temáticas de formación relacionadas con el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Adicionalmente a estas posibilidades de desarrollo formativo, la Tabla 1 presenta una relación de las temáticas abordadas por trabajos de grado desarrollados con estudiantes de

ingenierías Eléctrica y Electrónica. Estos trabajos además de permitir la apropiación de las temáticas relacionadas con cada uno de ellos, por parte de los estudiantes que los están

realizando, genera una plataforma que podrá ser utilizada por los docentes de diferentes asignaturas durante el proceso de formación de los estudiantes en temáticas relacionadas con monitorización de variables, control y automatización de

procesos, medición de parámetros en sistemas eléctricos, instalaciones eléctricas, uso racional y eficiente de energía, integración de sistemas de generación de energía eléctrica en micro-redes entre otros.

Tabla 1. Temáticas abordadas en el desarrollo de trabajos de grado.

TEMÁTICA	TRABAJOS DESARROLLADOS
Energías renovables	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Monitorización de variables climáticas ✓ Evaluación del potencial energético solar y eólico según datos monitorizados por la estación meteorológica ✓ 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 ✓ Comprensión y monitorización de la iluminación natural sobre fachadas ✓ Comprensión y monitorización de la iluminación inteligente ✓ Comprensión y monitorización de la 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 ✓ Visualización on-line de variables eléctricas
Software de simulación energética	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modelado energético de la edificación ✓ Análisis de sensibilidad de características de aplicaciones sostenibles ✓ Análisis comparativo del desempeño de software de simulación energética
Sistema de automatización	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análisis de datos monitorizados por el sistema de automatización ✓ Desarrollo de un aplicativo computacional para la visualización del comportamiento de diversos sistemas
Uso racional del agua	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente para techo verde según el nivel de humedad del sustrato
Practicantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistema de detección de ruido y sensibilización al usuario ✓ Control automático de persianas según movimiento solar ✓ Levantamiento en plantas de componentes eléctricos y electrónicos ✓ Diseño y montaje de escenarios para proyección en aulas de clase.

IV. CONCLUSIONES

La existencia del Edificio de Ingeniería Eléctrica (piloto de edificación verde) favorece la investigación y la dinámica docente en los programas de posgrado y pregrado de la E3T de la Universidad Industrial de Santander, en temáticas relacionadas con edificaciones sostenibles, generación

renovable, automatización y simulación energética, entre otras, lo cual se debe a la apropiación de aplicaciones energéticas verdes en la etapa de diseño y dimensionamiento para operación en condiciones reales y de interacción con profesores y estudiantes.

REFERENCIAS

[1] 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

[2] CÁTEDRA LIBRE. Trabajos de investigación sobre el sector energético. Universidad Industrial de Santander. Marzo de 2012. Pág. 16. ISSN 1657-157X. Bucaramanga, Colombia.

[3] CÁTEDRA LIBRE. Edificio de Ingeniería Eléctrica. Edificación bajo el concepto de construcción verde. Universidad Industrial de Santander. N°154. Enero de 2013. Pág. 20-21. ISSN 1657-157X. Bucaramanga, Colombia.

[4] HechosUIS. Las hortalizas no caen del cielo, pero se siembran en el techo. Universidad Industrial de Santander. N° 101. Abril de 2018. Pág. 8.

[5] Reyes, Paola. El E3T de la UIS, un “gigante verde”, ejemplo de sostenibilidad. Ecoestructuras. Pág. 8F-9F. Vanguardia Liberal. Octubre 22 de 2016. Bucaramanga, Colombia.

[6] RODRÍGUEZ-BARAJAS YENNY. Energía renovable, una alternativa eficiente y amigable para Santander. Vanguardia Liberal. 09 de abril de 2017. <https://www.vanguardia.com/economia/negocios/394397-energia-renovable-una-alternativa-eficiente-y-amigable-para-santander>

[7] VANGUARDIA LIBERAL. El reto: generación de energías renovables. Planeta Verde. Vanguardia Liberal. Junio 2016. Pág. 8-9.

[8] SAAVEDRA, YULIANA. En Bucaramanga nació proyecto piloto de edificación verde en América Latina. COLCIENCIAS. Noviembre 2017. http://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/en-bucaramanga-nacio-proyecto-piloto-edificacion-verde-modelo-en-america-latina