

**INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL EDIFICIO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER****INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE ELECTRICAL
ENGINEERING BUILDING OF THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

**Ing. Alejandro Parrado Duque, PhD. German Alfonso Osma Pinto
PhD. Gabriel Ordóñez Plata**

Universidad Industrial de Santander

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Facultad de ingenierías fisicomecánicas Carrera 27
#9. Bucaramanga, Santander, Colombia. Tel.: 57-7-
6344000, Ext. 2361
E-mail: alejandro.parrado@correo.uis.edu.co
{[gealosma](mailto:gealosma@uis.edu.co), [gaby](mailto:gaby@uis.edu.co)}@uis.edu.co

Abstract: The installation of a photovoltaic system of the Electrical Engineering Building of the Universidad Industrial de Santander was carried out in response to the need for an energy transition towards electric power generation systems with non-conventional sources of renewable energy; therefore, on the upper terrace of the building there are 37 photovoltaic panels for a total installed capacity of 9.63 kW. The photovoltaic system was designed to be a living laboratory, with which, the installation allows to monitor the PV panels individually to investigate thermal behavior, interaction with horticulture and green roofs, among others. In addition, there was the installation of smart meters in the photovoltaic system, capable of recording and measuring up to 300 electrical variables in real time.

Keywords: Self-generation, Smart metering, microinverter, photovoltaic panels.

Resumen: La instalación de un sistema fotovoltaico del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, se llevó a cabo atendiendo la necesidad de una transición energética hacia sistemas de generación de energía eléctrica con fuentes no convencionales de energía renovable; por lo anterior, en la terraza superior del Edificio se cuenta con 37 paneles fotovoltaicos para una capacidad instalada total de 9,63 kW. El sistema fotovoltaico se diseñó para ser un laboratorio vivo, con lo cual, la instalación permite monitorizar los paneles FV de forma individual para investigar comportamiento térmico, interacción con horticultura y techos verdes, entre otros. Además, se contó con la instalación de medidores inteligentes en el sistema fotovoltaico, capaces de registrar y medir en tiempo real hasta 300 variables eléctricas.

Palabras clave: Autogeneración, medición inteligente, micoinversor, paneles fotovoltaicos.

1. INTRODUCCIÓN

La transición energética hacia fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), es una necesidad que toda nación debe atender, con el propósito principal de disminuir la huella de carbono producida desde la generación hasta el uso final de la energía eléctrica (García *et al.*, 2015; Lacas *et al.*, 2017; REN21, 2018; World Energy Council, 2016).

En el acuerdo de París del año 2015 (COP₂₁), 196 países se comprometieron (entre otras cosas) evitar el incremento de 2°C al año 2040, con el fin de garantizar recursos naturales para las generaciones futuras (García Arbeláez *et al.*, 2015). El mismo año, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) planteó el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, el cual relaciona el desarrollo mundial con la sostenibilidad que imprime la energía asequible y no contaminante (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2017; CONPES, 2017).

Entre las acciones que los gobiernos deben adoptar con base en el COP₂₁ y los ODS, se encuentra el de diversificar la matriz energética con Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) (CONPES, 2017). Es por esto, que la masificación de los sistemas fotovoltaicos y eólicos, como pilares de la generación eléctrica no contaminante, se ha visto en crecimiento exponencial en los últimos 10 años (REN21, 2018) (DC Rojas, OR Alvarado, 2017).

La Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, y el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Universidad Industrial de Santander, atiende a las necesidades mencionadas; es por esto, que desde el año 2015, se han ejecutado proyectos con paneles FV como sistema de autogeneración, aumentando a su vez, la capacidad investigativa en energías renovables de la Escuela. Además, la edificación en la terraza superior tiene un techo verde, sistema de ventilación cruzada, automatización en la iluminación, recolección de aguas lluvias, entre otros, como estrategias de sostenibilidad. Lo anterior, son algunos tópicos que han servido especialmente para el proceso de aprendizaje de los estudiantes adscritos a varias escuelas, tanto de pregrado como de posgrado, y siembra en el aprendizaje, por ejemplo, la necesidad de conocimientos interdisciplinarios.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema FV está instalado en la terraza superior del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga cuya posición geográfica es 7,13° latitud norte, 73,13° latitud oeste con una altura cercana a los 1000 m sobre el nivel del mar; los datos geoespaciales sirvieron para determinar la inclinación óptima de los paneles FV, la cual es 10° orientación sur. El potencial FV en la terraza superior del complejo es de 1186,6 kWh/m² anual, con promedio diario de 4,6 kWh/m² (Vergara *et al.*, 2014) (FAL González, MMH Cely, 2013) (MR Contreras, MS Delgado, 2013).

El sistema FV tiene una altura en ascenso, el cual alcanza un valor cercano a los 2 m de alto, con el propósito de aprovechar la ventilación natural, la cual, generalmente, tiene sentido norte-sur. Los paneles FV están apoyados sobre una estructura metálica de acero galvanizado, con un peso de aproximadamente 200 kg, que garantiza la inclinación y la altura de los mismos.

Por temas de recursos económicos, en los proyectos ejecutados entre el periodo 2015-2017, se logró la adquisición de 37 paneles FV de 60 celdas de tres marcas y capacidades distintas. Algunas características técnicas se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de paneles FV

Parámetro	UP Solar	Trina Solar	Canadian Solar
P máx	250 W	270 W	255 W
Eficiencia	15,4 %	16,5 %	15,85%
Cantidad	4	13	20

En la actualidad, se cuenta con 2 unidades FV (SFV1 y SFV2) cada uno de 18 paneles FV más un panel seguidor solar ubicado en la terraza del piso 5 de la edificación. Los SFV se diferencian por su ubicación y por los arreglos eléctricos descritos en la Sección 2.2.

2.1 DC-AC

Dado que los paneles FV generan energía eléctrica en CD, es necesaria su conversión a CA para conectarlos a la red eléctrica convencional. La conexión del sistema FV a la red se logra a través de 37 microinversores de la marca Enphase-M250 MPPT, alcanzando la gestión individual de energía por panel FV. Algunas ventajas en el uso de microinversores respecto a

un inversor central, es la afectación individual de cada panel FV ante las condiciones climáticas en sitio (p.ej. sombras parciales); además, con microinversores, se puede hacer monitorización de cada panel FV, fortaleciendo el proceso de investigativo y de aprendizaje de los estudiantes y profesores de la Escuela.

La tecnología MPPT de los microinversores, permite gestionar la mayor cantidad de potencia de los paneles FV ante cualquier condición ambiental y, en la práctica, se ha observado una respuesta de milisegundos del algoritmo ante sombras intencionadas sobre el panel FV.

2.2 Conexión del SFV al sistema eléctrico de la edificación

Cada unidad FV tiene un tablero de distribución independiente, con sus protecciones eléctricas respectivas, barraje y totalizador principal, entre otros.

El SFV1 tiene un arreglo eléctrico de 6 acometidas trifásicas en total; el SFV2 tiene 3 acometidas trifásicas y 9 acometidas monofásicas trifilar. Cada fase y neutro se conecta a una bornera portafusible (con fusible de 2 A), luego a la entrada de un breaker bipolar de 16 A para finalmente conectarse al barraje del tablero de distribución; de ese barraje, sale una acometida trifásica que se conecta a un totalizador de 60 A, luego a un botón de pánico para tomar una caja de paso ubicada en la terraza superior; de allí, cada acometida FV baja por una canaleta hasta el piso 4 donde se empalman en la entrada de un totalizador de 60 A para finalmente interconectarse con la red en el totalizador principal del barraje del piso 4.

La conexión a la red se logra para tener un sistema de autogeneración a pequeña escala en la edificación a través de los microinversores Enphase M250. Estos microinversores son On Grid, es decir, necesitan la referencia de tensión (220-127 V) y frecuencia (60 Hz) de la red convencional para poder conectarse e inyectar la potencia FV gestionada; si no hay energía eléctrica de la red, los microinversores pierden la referencia de tensión y frecuencia imposibilitando la inyección de energía FV al complejo (LOT Tellez, MPS Delgado. 2017) (CSH Tolosa, BC Eugenio. 2017) (DC Rojas, OR Alvarado, 2017).

Figura 1. Foto aérea del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Tomado de: Teleuis.



3. MEDICIÓN ELÉCTRICA Y SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El sistema de medición y de comunicación del sistema FV provee de información de hasta 300 variables eléctricas; actualmente, se cuenta con datos de dos fuentes: el sistema de comunicación de los microinversores y el almacenamiento y descarga de datos, de forma local, de los medidores inteligentes instalados en el edificio.

3.1 Comunicación de los microinversores

Los microinversores Enphase M250 tienen un sistema de comunicación tipo PLC, es decir, envían datos de tensión, frecuencia, energía y potencia activa a través del neutro del sistema. El neutro y una fase del sistema FV se conecta a un receptor de información denominado “envoy”, el cual recibe los datos eléctricos que cada microinversor envía y los transmite a un servidor WEB llamado Enlighten; esta información se actualiza cada 5 minutos en la plataforma, por lo tanto, se puede hacer monitorización remota en “tiempo real” de la operación del sistema. Una de las funciones principales de la plataforma Enlighten, es la identificación de desconexión de un panel o grupo de paneles FV por un evento cualquiera.

La plataforma Enlighten almacena información semanal de las cuatro variables anteriormente mencionadas y sólo almacena datos históricos de potencia y energía activa. La Figura 1, esquematiza a grandes rasgos el sistema de comunicaciones del sistema FV.

3.2 Medición de variables eléctricas del sistema FV

La medición de cada sistema FV (18 paneles FV), se logra a través de los medidores AcuRev2020 y la medición del sistema FV completo se logra con el medidor Acuvim IIR (mide la inyección de potencia FV en el barraje eléctrico del piso 4).

Del SFV1, se está midiendo la acometida principal y una acometida trifásica; del SFV2, se está midiendo la acometida principal y 2 acometidas monofásicas trifilares con el propósito de comparar los datos medidos en sitio con los datos individuales de los microinversores observables en la plataforma Enlighten.

Los datos de los equipos se estiman confiables gracias a la clase según la IEC 62053-22 de cada uno; el AcuRev2020 tiene clase 0,5s y el Acuvim IIR tiene clase 0,2s en potencia activa (2 en reactiva). Además, tienen capacidad de almacenar información de aproximadamente 2 meses y la memoria es no volátil.

4. RESULTADOS Y COMPARACIONES

Algunos hallazgos que se han materializado con el sistema de comunicación de los microinversores y con los medidores inteligentes se relacionan en este apartado.

4.1 Datos de la plataforma Enlighten

Según la plataforma Enlighten, desde octubre del año 2015 hasta agosto del año 2018, el sistema FV ha generado 18,3 MWh, lo cual equivale a la plantación de 331 árboles, estimando una reducción de 12,9 toneladas métricas de CO₂ debida a la producción energética (Enphase, 2018) (Enphase, 2018).

El mes que mayor generación ha registrado la plataforma Enlighten fue en febrero del año 2018 con una energía eléctrica generada total de 1,368 kWh-mes, un promedio de energía por día de 9 kW-h y de 242 W-h por panel FV en el 2018; cabe recordar que el sistema FV total conformado por 37 paneles FV se instaló en su totalidad a finales de noviembre de 2017.

4.2 Datos de los medidores

Dado que los medidores comenzaron su funcionamiento normal hacia mitad de febrero de 2018, no se puede entregar un dato de energía total registrados por ellos durante la vida útil del sistema FV. Sin embargo, se puede hacer un comparativo desde el 13 de febrero hasta el 21 de mayo del año 2018 con los siguientes resultados:

Energía registrada por los medidores (MW-h)	Energía registrada por el Enlighten (MW-h)
3,01	3,36

También, se identificó en el mismo periodo, que la potencia máxima fue de 8,95 kW el día 25 de febrero a las 10:40 a.m. Además, la potencia aparente fue de 8,98 kVA y la potencia reactiva

fue de 366 W en el mismo instante de tiempo con corrientes por fase del orden de 23 A.

5. RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen a COLCIENCIAS por el apoyo brindado al proyecto 110274558716 (Contrato No. FP44842-040-2017) titulado “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”, el cual se desarrolló según los lineamientos establecidos en la Convocatoria 745 de 2016.

6. CONCLUSIONES

La experiencia de instalación de un sistema FV dentro de un entorno universitario, ha servido como método de formación profesional y aprendizaje continuo que se ha reflejado positivamente en estudiantes de pregrado y posgrado de la escuela.

Además, la nueva regulación de las FNCER en Colombia ha generado un nuevo campo de aplicación en la ingeniería eléctrica colombiana, creando en la academia una necesidad de conocimiento vanguardista.

Por otra parte, la instalación de microinversores ha permitido hacer monitorización por módulo FV, con lo cual, se pueden obtener parámetros sobre el impacto de la potencia FV inyectada en la red eléctrica de la edificación.

Así mismo, se ha logrado obtener una comparación con los datos que entrega la plataforma Enlighten con los datos medidos en sitio con los medidores de energía eléctrica, estimando un error promedio total menor al 5%; cabe aclarar que, la información de parámetros eléctricos que se logra con los microinversores es limitada y que ese sistema fue diseñado para un dar valores aproximados más no para una medición confiable, sin embargo, no se aleja de los valores de los medidores AcuRev2020.

Para finalizar, el sistema FV ha servido como un laboratorio en vivo, apoyando el espíritu investigativo de cerca de 100 estudiantes adscritos a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

REFERENCIAS

Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2017). *ESTUDIO SOBRE LA CONTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA A LA AGENDA DE LOS*

- OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)*. España.
- CONPES. (2017). Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia, 1–52.
- C. S. H. Tolosa, B. C. Eugenio, C.R. T. Sánchez. (2016). DESARROLLO DE LIBROS ELECTRÓNICOS:“TALLER PEDAGÓGICO”. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, ISSN: 1692-7257. 1(27).
- Hernández Tolosa, C., Contreras Eugenio, B., & Torres Sánchez, C. (2016). DESARROLLO DE LIBROS ELECTRÓNICOS:“TALLER PEDAGÓGICO”. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, 1(27).
- DC Rojas, OR Alvarado, (2017), Ontología para los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257.
- DC Rojas, OR Alvarado, (2017), Ontología para los sistemas holónicos de manufactura basados en la unidad de producción. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257.
- F. A.L. González, M. M. H. Cely. (2013). Estudio del potencial eólico y solar de Cúcuta, Norte de Santander. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, ISSN: 1692-7257. 2(22).
- Leal González, F., & Hernandez Cely, M. (2013). Estudio del potencial eólico y solar de Cúcuta, Norte de Santander. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, 2(22).
- García Arbeláez, C., Barrera, X., Gómez, R., & Suárez Castaño, R. (2015). *El ABC de los compromisos de Colombia para la Cop 21. Flora*. <http://doi.org/978-958-8915-22-7>
- Lacas, H., Leidreiter, A., & Muñoz, M. (2017). *SUBASTAS DE ENERGÍA RENOVABLE Y PROYECTOS CIUDADANOS PARTICIPATIVOS*. París.
- L.O. T. Tellez, M. P. S. Delgado, W. M. R.Contreras. (2014). Modelo de interventoría de tecnologías de información en el área de conocimiento de la gestión del alcance de pmbok® y alineado con iso 21500 y cobit®. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA, ISSN: 1692-7257. 1(23).
- Tangarife Tellez, L., Sánchez Delgado, M., & Rojas Contreras, W. (2014). Modelo de interventoría de tecnologías de información en el área de conocimiento de la gestión del alcance de pmbok® y alineado con iso 21500 y cobit®. REVISTA
- MR Contreras, MS Delgado, (2013), Arquitectura de software para el servicio de soporte de tecnología de información basada en servicios web. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada ISSN: 1692-7257.
- REN21. (2018). *Renewables 2018 global status report*. <http://doi.org/978-3-9818911-3-3>
- Vergara-Barrios, P. P., Rey-López, J. M., Osma- Pinto, G. A., & Ordóñez-Plata, G. (2014). Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga , Colombia. *UIS Ingenierías*, 13(2), 49–57.
- World Energy Council. (2016). *World Energy Tril emm a*.

SITIOS WEB

- Enphase. (2018). MyEnlighten. <https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/systems/752668/production/grid/days?osv=1>