

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**CARLOS ARTURO PÁEZ RICO
CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2018**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**CARLOS ARTURO PÁEZ RICO
CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Doctor en Ingeniería Eléctrica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2018

DEDICATORIA

A Dios, porque sin él nada se puede, porque me ha dado todo para lograr las metas que he trazado, por llenarme de fortaleza y sabiduría en los momentos difíciles, porque si él está conmigo, quien contra mí.

A mis padres Arturo Páez y Marta Gisela Rico, por ser el ejemplo, base y motor de mi vida, por motivarme a ser mejor cada día y confiar en mí sin dudar.

A mi abuela Miryam, por ser mi compañía y cómplice todo este tiempo, por ser mi apoyo y celebrar cada una de mis victorias como propias.

A mis hermanos Julieta Andrea, Sergio Alberto y sobrino Santiago, por brindarme incontables momentos de regocijo, por creer en mí, por ser mis amigos, los quiero mucho.

A mi novia Luisa Carrillo, por convertirse en un motivo de alegría y felicidad en mi vida, por ser mi apoyo y compañía, por darme fuerzas para querer ser mejor cada día.

A mi compañero de grado y amigo Cesar, por ser parte importante en la realización de este sueño y apoyarme cuando lo necesite.

A mis amigos y compañeros universitarios, por el trabajo en equipo, los momentos compartidos y las experiencias vividas.

Por último, a cada una de las personas que hicieron posible mi formación como profesional y como persona.

Carlos Arturo Páez Rico

DEDICATORIA

A mis padres, Waldo y Luz Marina, quienes me han apoyado y han creído en mis capacidades a lo largo de mi estudio, y porque sé el gran esfuerzo que han hecho por regalarme esa oportunidad.

A mi hermanita Laura, quien me acompañó la mayoría de tiempo en la universidad y siempre me ha dado los consejos y motivación para mantenerme perseverante hasta cumplir mis objetivos.

A mis amigos, quienes han hecho que la etapa universitaria sea inolvidable por todas las anécdotas vividas y porque de una u otra forma ayudaron en mi formación profesional.

A mi amigo Carlos, por el trabajo conjunto y dedicado, asimismo por el apoyo académico y personal durante mi vida universitaria.

Cesar Augusto Rojas Silva

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero, German Alfonso Osma Pinto por su orientación, tiempo y apoyo constante para el satisfactorio desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

A la señora Miryam Morales (abuela de Carlos), quien nos apoyó con sus consejos y acogió en su hogar durante la realización de este trabajo y nuestro pasó por la universidad.

A el semillero SIGED por su colaboración para obtener el buen resultado y culminación de nuestro trabajo de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. OBJETIVOS.....	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 ENERGÍA SOLAR.....	23
2.1.1 Energía solar fotovoltaica.....	23
2.1.2 Radiación solar	23
2.2 IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN	24
2.3 RECURSO SOLAR EN BUCARAMANGA-UIS.....	25
2.4 CELDAS FOTOVOLTAICAS (FV).....	25
2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO	26
2.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red	26
2.6 MICROINVERSOR	27
2.7 ENVOY	28
2.8 REGULACIÓN DE TENSIÓN	29
2.8.1 Regulación de tensión - sistema FV del EIE	31
2.9 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMAS FV CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA	32
2.10 CURVA DE DEMANDA.....	33
3. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	35
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FV	35
3.2 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA FV (GRIPV).....	36

3.2.1 GRIPV #1	37
3.2.2 GRIPV#2.....	38
3.2.3 GRIPV Seguidor	39
3.3 INVENTARIO DEL SISTEMA FV DEL EIE	40
3.3.1 PANELES FOTOVOLTAICOS	41
3.3.2 Microinversores M250.....	43
3.3.3 Envoy.....	45
3.4 CONFORMACIÓN DE LOS DIAGRAMAS UNIFILARES Y TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA FV EIE	47
3.4.1 Conformación del diagrama unifilar GRIPV#1	47
3.4.2 Conformación diagrama unifilar GRIPV #2	48
3.4.3 Conformación del diagrama unifilar GRIPV seguidor.....	48
3.4.4 Tableros de protecciones y acometidas.....	49
4. CURVAS DE DEMANDA DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	55
4.1 PROCEDIMIENTO PARA CONFORMAR LAS CURVAS DE DEMANDA DEL EIE.....	55
4.1.1 Recolección de datos.....	56
4.1.2 Cálculo de la demanda del EIE	57
4.1.3 Tratamiento de datos	58
4.2 PROYECCIÓN ANUAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EIE	64
4.3 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA INYECTADA.....	66
5. PROGRAMA PARA ESTIMAR LA POTENCIA INYECTADA, PÉRDIDAS Y REGULACIÓN DEL SISTEMA FV DEL EIE	70
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SCRIPT DESARROLLADO.....	70
5.1.1 Ejecución del script GRP_SFV y casos de estudio.....	72
5.1.1.2 Estimación a partir de un valor determinado.....	77
5.1.2 Verificación y análisis de resultados	80
5.1.3 Cálculo de regulación de tensión y pérdidas en conductores del sistema FV	82

5.1.4 Proyección anual de la generación FV en el EIE	84
6. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA TERRAZA DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	87
6.1 PLANTILLAS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SFV	89
6.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN EN EL EIE	91
7. CONCLUSIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema fotovoltaico (Grid Tie).....	27
Figura 2. Microinversor M250.	28
Figura 3. Sistema de comunicación Envoy.	29
Figura 4. Equivalente para baja y media tensión.	30
Figura 5. Curva de demanda.	33
Figura 6. Sistema fotovoltaico E3T-UIS.	36
Figura 7. Vista Superior cubierta verde Edificio de Ingeniería Eléctrica.....	37
Figura 8. GRIPV#1-Año: 2015.	38
Figura 9. GRIPV#1-Año: 2018.	38
Figura 10. Montaje GRIPV#2. Año: 2017.....	39
Figura 11. GRIPV#2. Año: 2017.	39
Figura 12. GRIPV Seguidor solar. Año: 2018.	40
Figura 13. Estructura GRIPV#1 y GRIPV#2.	43
Figura 14. Conexión delta Envoy-microinversores M250.....	47
Figura 15. Conexión trifásica equilibrada.	48
Figura 16. Protecciones para acometidas del GRIPV#1.....	50
Figura 17. Protecciones para las acometidas del GRIPV#2.	50
Figura 18. Diagrama unifilar tablero GRIPV#1.....	51
Figura 19. Diagrama unifilar tablero GRIPV#2.....	51
Figura 20. Diagrama de flujo de la metodología empleada.....	56
Figura 21. Curva de demanda promedio EIE.....	59
Figura 22. Curva de demanda entre semana.	61
Figura 23. Curva de demanda Sábados.	62
Figura 24. Curva de demanda domingos y festivos.	63

Figura 25. Diagrama de barras con el aporte de potencia de la generación FV al consumo del EIE.....	68
Figura 26. Diagrama de flujo del script GRP_SFV.m.....	71
Figura 27. Ubicación de datos en IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA.xlsx.	73
Figura 28. Ejecución script GRP_SFV.	73
Figura 29. Interfaz Inicial del programa GRP_SFV.	74
Figura 30. Frecuencia de datos y GRIPV seleccionado.....	74
Figura 31. Información del SFV, datos meteorológicos y energía estimada.	75
Figura 32. Grupo de curvas ventana 1 script GRP_SFV.	76
Figura 33. Grupo de curvas ventana 2 script GRP_SFV.	76
Figura 34. Cálculos impresos de 9 a.m. - 10:20 a.m.....	77
Figura 35. Menú de opciones para la estimación a partir de un valor determinado.	77
Figura 36. Estimaciones por acometida GRIPV 1.....	78
Figura 37. Estimaciones por acometida GRIPV 2.....	78
Figura 38. Estimaciones por acometida GRIPV-SEGUIDOR.	79
Figura 39. Porcentaje anual de energía inyectada y pérdidas del sistema FV	86
Figura 40. Desarrollo del plan de mantenimiento por cada elemento que compone el sistema FV	88
Figura 41. Línea del tiempo de los mantenimientos realizados	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario general del sistema FV del EIE.	41
Tabla 2. Especificaciones eléctricas paneles FV.	42
Tabla 3. Especificaciones mecánicas paneles FV.	42
Tabla 4. Especificaciones térmicas paneles FV.	42
Tabla 5. Especificaciones técnicas microinversores M250.	43
Tabla 6. Especificaciones técnicas Envoy.	45
Tabla 7. Protecciones y acometidas GRIPV#1.	52
Tabla 8. Protecciones y acometidas GRIPV#2.	52
Tabla 9. Circuitos, acometidas, paneles y microinversores asociados a cada protección GRIPV#1.	53
Tabla 10. Circuitos, acometidas, paneles y microinversores asociados a cada protección GRIPV#2.	54
Tabla 11. Descripción y ubicación de medidores.	57
Tabla 12. Discontinuidad de datos.	58
Tabla 13. Consumo curvas promedio.	60
Tabla 14. Grupos de datos por tendencia de consumo.	60
Tabla 15. Parámetros curva de demanda entre semana.	61
Tabla 16. Parámetros curva de demanda día sábado.	62
Tabla 17. Parámetros curva de demanda domingos y festivos.	63
Tabla 18. Clasificación del calendario académico UIS 2018-según demanda tipo.	65
Tabla 19. Proyección anual de consumo de energía eléctrica del EIE.	66
Tabla 20. Aporte diario porcentual de la generación FV al consumo del EIE (14 febrero – 14 de abril).	67

Tabla 21. Comportamiento energético del 14 de feb – 14 de marzo.	69
Tabla 22. Irradiación solar mínima, promedio y máxima del mes de abril.	72
Tabla 23. Impresión de resultados del programa GRP_SFV, según tipo de estimación.....	79
Tabla 24. Reporte en generación del sistema FV.....	80
Tabla 25. Efecto térmico en la generación FV.....	81
Tabla 26. Afectación térmica en la potencia generada del sistema FV.....	81
Tabla 27. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV#1.....	82
Tabla 28. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV#2.....	82
Tabla 29. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV-Seguidor.	83
Tabla 30. Proyección de energía anual del sistema FV.....	84
Tabla 31. Objetivos del mantenimiento preventivo para el sistema FV de la terraza del EIE.	88
Tabla 32. Descripción de plantillas para mantenimiento del sistema FV de la terraza del edificio de ingeniería eléctrica.....	90
Tabla 33. Reporte de hallazgos de mantenimientos preventivos ejecutados.	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Plano unifilar del sistema de generación fotovoltaico de la terraza del edificio de ingeniería eléctrica.....	102
ANEXO B. Libro de excel para análisis de demanda y generación	103
ANEXO C. SCRIPT <i>GRP_SFV</i>	105
ANEXO D. Manual de mantenimiento preventivo para la instalación fotovoltaica del edificio de ingeniería eléctrica	123

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA*

AUTORES: CARLOS ARTURO PÁEZ RICO
CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA.**

PALABRAS CLAVE: GRIPV¹, levantamiento eléctrico, curvas de demanda eléctrica, inyección de potencia, mantenimiento preventivo.

DESCRIPCIÓN

Este trabajo de grado se desarrolla como parte del quehacer investigativo del grupo GISEL en el marco de un proyecto COLCIENCIAS (Convocatoria 745 del 2016, ejecución del Noviembre del 2017 a Abril del 2019), que estudia la influencia de la inyección de potencia de sistemas fotovoltaicos en redes eléctricas de baja tensión (BT). El campo de estudio de este trabajo de grado es el sistema de generación fotovoltaico con inyección a la red eléctrica de BT del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Este sistema se ha sometido a diferentes modificaciones con fines de experimentación y en beneficio del mejoramiento de la instalación, entre éstas el incremento de su capacidad instalada a 9,7 kW. De lo anterior, surgió la necesidad de contar con información técnica que describa detalladamente la instalación y operación en estado estable del sistema fotovoltaico y su impacto en la demanda energética de la edificación.

La realización de este trabajo aborda el levantamiento eléctrico detallado de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico, la estimación de pérdidas en conductores junto con la evaluación de la regulación de tensión en las acometidas del sistema FV, el análisis de la variación de la curva de demanda y, finalmente, la elaboración y ejecución de un plan de mantenimiento preventivo para el sistema fotovoltaico.

Para la satisfactoria ejecución del estudio se involucraron herramientas de diseño gráfico, equipos de monitorización de variables eléctricas (potencia eléctrica, tensión, corriente) y ambientales (temperatura e irradiancia), además plataformas auxiliares para el análisis de datos como Excel, Matlab y, finalmente, Enlighten de la empresa Enphase para corroborar el correcto funcionamiento de los GRIPV instalados en la cubierta verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

* Trabajo de Investigación

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Eléctrica y de Telecomunicaciones. Director. Dr German Alfonso Osma Pinto

¹Green roof integrated photovoltaics.

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE PHOTOVOLTAIC GENERATION SYSTEM OF THE ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING*

AUTHORS: CARLOS ARTURO PÁEZ RICO
CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA.**

KEYWORDS: GRIPV², electrical lifting, electric demand curves, power injection, preventive maintenance.

DESCRIPTION: T

his degree work is developed as part of the research of the GISEL group within the framework of a COLCIENCIAS project (Call 745 of 2016, execution from November 2017 to April 2019), which studies the influence of the injection of power of photovoltaic systems in low voltage electrical networks (BT). The field of study of this degree work is the photovoltaic generation system with injection to the electrical network of BT of the Electrical Engineering Building. This system has undergone different modifications for experimental purposes and for the benefit of the improvement of the installation, among these the increase of its installed capacity to 9.7 kW. From the above, the need arose to have technical information that describes in detail the installation and operation in stable state of the photovoltaic system and its impact on the energy demand of the building.

The realization of this work addresses the detailed electrical survey of the electrical system of the photovoltaic system, the estimation of losses in conductors together with the evaluation of the regulation of voltage in the connections of the PV system, the analysis of the variation of the demand curve and, finally, the preparation and execution of a preventive maintenance plan for the photovoltaic system.

For the satisfaction of the study, it was involved graphic design tools, equipment for monitoring electrical variables (electrical power, voltage, current) and environmental variables (temperature and irradiance), as well as auxiliary platforms for data analysis such as Excel, Matlab and, finally, Enlighten of the company Enphase to corroborate the correct functioning of the GRIPV installed in the green roof of the Electrical Engineering Building.

* Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Eléctrica y de Telecomunicaciones. Director. Dr German Alfonso Osma Pinto.

²Green roof integrated photovoltaics.

INTRODUCCIÓN

El Edificio de Ingeniería Eléctrica (EIE) es un piloto de edificación verde orientado al estudio del mejoramiento del nivel de sostenibilidad energética de edificaciones en clima cálido tropical; a través del aprovechamiento de recursos naturales e implementación de aplicaciones sostenibles, entre las que se destaca la generación fotovoltaica de inyección a la red.

Este edificio sirve hoy como un laboratorio vivo (Campo Escuela), en donde se adelantan estudios de investigación a nivel de pregrado y posgrado. Uno de ellos lo desarrolla el grupo de investigación GISEL orientado al análisis de la integración de sistemas fotovoltaicos en redes de baja tensión.³

A finales del año 2017, se incrementó la capacidad instalada del sistema FV de 2,6 kW a 9,7 kW. Sin embargo, se carece de información técnica y detallada que describa la instalación eléctrica y la operación del sistema FV. Por ello, se consideró necesario desarrollar un trabajo de grado que suministre esta información al grupo de investigación GISEL.

Específicamente en el desarrollo de este trabajo de grado se realizó el diagrama unifilar de la instalación FV, se estudió la operación del sistema FV haciendo un estimado de potencia inyectada a una hora determinada junto con la evaluación de pérdidas y regulación en cada acometida, se construyeron y analizaron las curvas de demanda del Edificio y por último se formuló y ejecuto un plan de mantenimiento preventivo, con la finalidad de propender por el mejor desempeño y reducir los tiempos de parada y costos asociados a corrosión.

³ OSMA PINTO, Germán Alfonso; ORDÓÑEZ PLATA, Gabriel. Piloto de Edificación Verde como laboratorio vivo en la Universidad Industrial De Santander. in World Engineering Education Forum (WEEF), Cartagena, 2013, p. 9

El desarrollo de cada una de las actividades mencionadas, junto con el marco teórico, refleja el contenido de este trabajo. La distribución y resumen de los diferentes capítulos se presenta a continuación.

En el Capítulo 1 se encuentra el marco teórico, etapa donde se expone la teoría base para desarrollar satisfactoriamente cada uno de los objetivos propuestos.

El Capítulo 2 presenta el levantamiento eléctrico de la instalación FV. Específicamente, está compuesto por el inventario de los elementos de generación (paneles fotovoltaicos y micro-inversores) y de la instalación eléctrica; asimismo, por la presentación técnica de cada equipo a través de los datos de placas, datasheets e información disponible por los fabricantes, además por la conformación y elaboración del diagrama unifilar de la instalación FV.

El Capítulo 3 aborda la construcción de las curvas de consumo eléctrico, las cuales establecen una tendencia en la demanda de la edificación y determinan parámetros que describen tanto el comportamiento energético del Edificio como el impacto de la generación FV en el mismo.

El Capítulo 4 contiene la descripción del script desarrollado en MATLAB para estimar la inyección de potencia del sistema FV a la red eléctrica, evaluar las pérdidas en los conductores junto con la regulación de tensión en las acometidas del sistema FV, todo esto, conforme al nivel de irradiancia solar.

El Capítulo 5 describe la formulación y ejecución de un plan de mantenimiento preventivo basado en las recomendaciones de algunos fabricantes y manuales de empresas dedicadas al mantenimiento, con la finalidad de propender por el mejor desempeño del sistema FV, reduciendo los tiempos de parada y costos asociados.

Por último, el Capítulo 6 expone las conclusiones y observaciones establecidas durante el desarrollo de este estudio.

1. OBJETIVOS

Para la realización de este trabajo de grado se plantearon los siguientes objetivos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Describir el comportamiento del sistema de generación fotovoltaica del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para dar cumplimiento al objetivo general se precisó:

- 1) Realizar el levantamiento detallado de la instalación eléctrica con el fin de identificar los componentes del sistema de generación FV.
- 2) Establecer las curvas de demanda eléctrica del Edificio de Ingeniería Eléctrica y el efecto del sistema FV en éstas.
- 3) Construir un aplicativo en MATLAB para estimar la inyección de potencia del sistema FV, las pérdidas de energía en conductores y la regulación de tensión en las acometidas según el nivel de irradiación solar.
- 4) Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para la instalación de generación fotovoltaica.

2. MARCO TEÓRICO

Esta sección trata los conceptos necesarios para comprender el comportamiento de la red de generación fotovoltaica instalada en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

2.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la energía obtenida directamente de la radiación electromagnética emitida por el sol y es aprovechada para convertirla en otros tipos de energía, tal es el caso de la energía fotovoltaica.⁴

2.1.1 Energía solar fotovoltaica. La energía fotovoltaica es la transformación de la energía solar en energía eléctrica, captada a través células fotovoltaicas, esta transformación se lleva a cabo en los elementos semiconductores que integran los paneles fotovoltaicos. La electricidad puede ser utilizada de forma directa almacenada en baterías e incluso se puede inyectar a la red de distribución.⁵

2.1.2 Radiación solar. El sol genera gran cantidad de energía que se propaga por el espacio en todas las direcciones en forma de ondas electromagnéticas, a lo cual se le conoce como radiación solar.

La radiación que incide sobre cualquier superficie, puede ser de varios tipos:

⁴ RUFES MARTINEZ, Pedro. Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento. in Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento, 1st ed., Barcelona, España: Marcombo, 2010, pp. 17–18

⁵ MÉNDEZ MUÑIZ, Javier María; CUERVO GARCÍA, Rafael. Energía Solar Fotovoltaica. In Energía Solar Fotovoltaica, 2 Ed., Madrid. España: FC Editorial. Fundación Confemetal, 2007, pp. 28–29

- **Radiación directa:** aquella que procede del sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección, excepto la debida a la refracción atmosférica.
- **Radiación difusa:** aquella parte de la radiación solar que, por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire, se ha difundido al atravesar la atmosfera.
- **Radiación reflejada:** es aquella que llega a la superficie considerada, después de haberse reflejado de las superficies del entorno.⁶

2.2 IRRADIANCIA E IRRADIACIÓN

Para cuantificar la potencia y energía proveniente de la radiación electromagnética, se emplea la irradiancia e irradiación, respectivamente. La irradiancia es la magnitud que describe la densidad de potencia incidente por unidad de área y se mide en kW/m². La irradiación es la cantidad de energía solar que incide en la superficie en cierta cantidad de tiempo y suele expresarse en unidades de kWh/m² o J/m².⁸

⁶ BANYERAS, Luís Jutglar. Energía Solar. In Energía Solar, 1st ed., Barcelona, España: Ceac, 2004, p. 22

⁷ TAMES, Eliseo Sebastian. Radiacion solar, irradiancia, insolación. 2018. [En línea]. Disponible en: <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>. [Fecha de consulta: 02-Apr-2018]

⁸ RANGEL URREA, Walter. Aplicación de la irradiación gamma. [En línea]. Disponible en: [http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Aplicacion de la irradiacion.pdf](http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Aplicacion%20de%20la%20irradiacion.pdf). [Fecha de consulta: 04-Apr-2017]

2.3 RECURSO SOLAR EN BUCARAMANGA-UIS

En la ciudad de Bucaramanga el recurso solar es apropiado para el desarrollo de proyectos de generación fotovoltaica, pues en más del 87,2% de los días del año se cumple que la irradiación es mayor a 3 kWh/m² (3 HSP) [7] y el promedio diario es de 4,6 kWh/m² donde la gran mayoría de los días del año son soleados y despejados.

En el caso de la Universidad Industrial de Santander, sitio específico donde se llevó a cabo el desarrollo de este trabajo de grado, la irradiación promedio diaria es de 4,6 kWh/m², que se traduce en abastecimiento anual de 1186,6 kWh/m² teniendo irradiaciones diarias máxima y mínima de 6,93 kWh/m² y 1,63 kWh/m², respectivamente, según datos de 2011.⁹

2.4 CELDAS FOTOVOLTAICAS (FV)

La celda fotovoltaica es un componente electrónico capaz de transformar la energía solar en energía eléctrica aprovechando el efecto fotoeléctrico. Las células o celdas solares a menudo se agrupan para formar unidades más grandes llamadas módulos solares, acopladas a unidades aún más grandes conocidas como paneles solares.¹⁰

⁹ VERGARA-BARRIOS, Pedro Pablo; REY-LÓPEZ, Juan Manuel; OSMA-PINTO, Germán Alfonso; ORDÓÑEZ-PLATA, Gabriel. Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Revista UIS Ingenierías, vol. 13, pp. 49–57, 2014.

¹⁰ WOODFORD, Chris. Solar Cells. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.explainthatstuff.com/solarcells.html>. [Fecha de consulta: 24-Jun-2018]

En general, las celdas están formadas por materiales semiconductores que forman una unión P.N. capaz de producir una diferencia de potencial. Estas celdas se interconectan en serie unas con otras para lograr una diferencia de potencial que sea adecuada para efectos prácticos normalmente entre 6 V y 24 V.¹¹

2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO

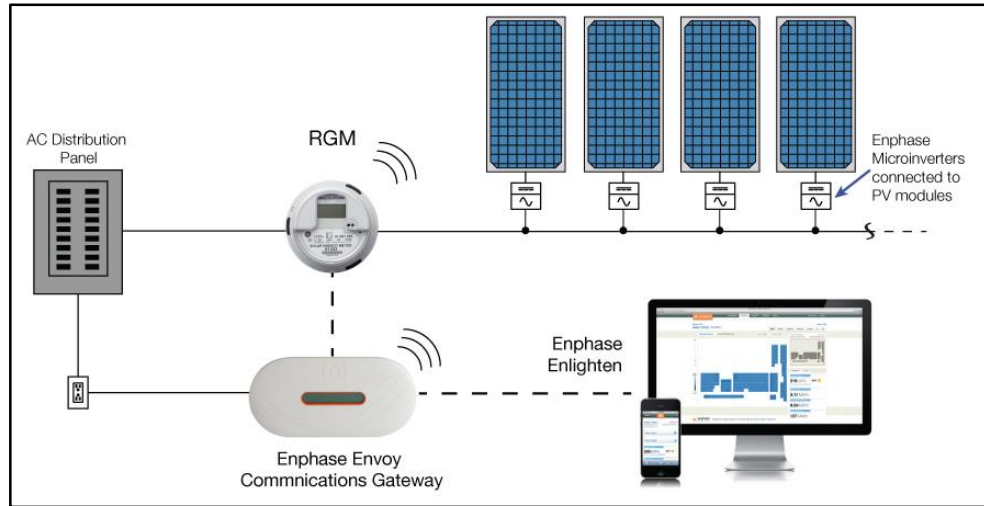
Es un sistema de generación renovable cuyo principio es aprovechar la energía solar y transfórmala a energía eléctrica, a partir de paneles fotovoltaicos. Estos sistemas obedecen a diversas configuraciones debido a las necesidades energéticas se denominan, instalaciones aisladas (Off Grid), instalaciones híbridas e instalaciones conectadas a la red (Grid Tie)¹², esta última de interés para este caso de estudio.

2.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. (Grid Tie) – Caso EIE. La Figura 1 hace alusión a un sistema FV Grid Tie de baja tensión e ilustra los principales elementos del sistema de generación FV del EIE, estos son: paneles FV, microinversores, Envoy, medidores inteligentes y tablero de acometidas. Este tipo de sistema FV tiene la ventaja de reducir la inversión al no necesitar de baterías, esto debido a que la energía generada se consume primeramente en las cargas que se encuentren en operación y en caso de haber exceso de generación, ésta se inyecta a la red provocando que el medidor deba registrar flujos en dos sentidos. En muchos casos, esto implica la necesidad de instalar un medidor bidireccional.

¹¹ FERNÁNDEZ BARRERA, Manuel. Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica. in Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica, Madrid. España: Liberfactory, 2010, p. 17.

¹² ECO TECH SOLUTIONS. Sistema interconectado a la RED o 'GRID-TIED. [En línea]. Disponible en: <https://ecotechgeccai.wordpress.com/sistema-interconectado-a-la-red-o-grid-tied/>. [Fecha de consulta: 02-Apr-2018]

Figura 1. Sistema fotovoltaico (Grid Tie).



Fuente: Tanweer Solar Energy. Enphase - meteringmanagement. Disponible en: <http://tanweersolarenergy.com/our-products/enphase-meteringmanagement/>

2.6 MICROINVERSOR

El microinversor es el encargado de transformar la corriente continua entregada por los paneles FV en corriente alterna; a diferencia de los inversores tradicionales son elaborados para controlar solo 1 o 2 paneles FV dependiendo del fabricante. A pesar de ser más costosos, se caracterizan por su fácil instalación, mayor durabilidad, eliminación de cableado de alta tensión en DC y, finalmente, permiten a cada panel FV operar en el punto donde alcanzan su máxima potencia, reduciendo así el efecto “*mismatch*”¹³, es decir las pérdidas causadas por la interconexión de módulos fotovoltaicos que no tienen las mismas propiedades o que operan bajo condiciones de irradiación y temperaturas distintas.¹⁴

¹³ Enphase Energy Inc., Manual de instalación y funcionamiento - Microinversores Enphase M250 y M215. Petaluma, EE.UU: Enphase Energy Inc, 2016.

¹⁴ HONSBURG, Christiana; BOWDEN, Stuart. Mismatch Effects. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules/mismatch-effects>. [Fecha de consulta: 06-Mar-2018].

El microinversor mostrado en la Figura 2 corresponde a un Enphase M250, instalado en el sistema FV del Edificio de Ingeniería Eléctrica, el cual se describe con más detalle en el Capítulo 2.

Figura 2. Microinversor M250.



Fuente: Enphase. Enphase M250. Disponible en:
<https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/M250-DS-ES.pdf>

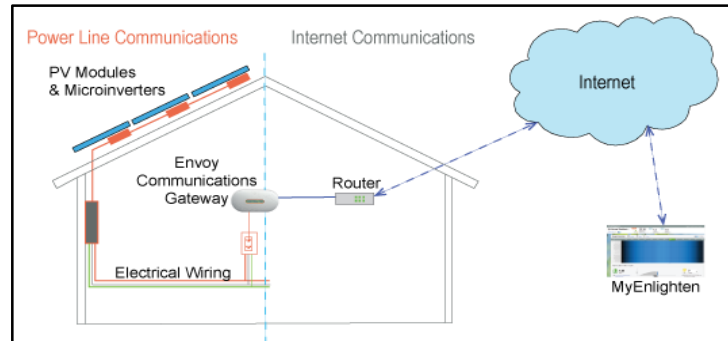
2.7 ENVOY

Es un dispositivo electrónico exclusivo de la empresa Enphase, funciona como un portal de comunicaciones el cual permite la conexión en red, monitorear el estado del sistema haciendo un seguimiento de la producción de energía y transmitiendo dicha información a través de su plataforma *MyEnlighten* vía Internet. Esto permite al usuario la comodidad de visualizar toda la información energética de su sistema FV en cualquier dispositivo electrónico con acceso a la web. Tal como se puede apreciar en la Figura 3, en un sistema Enphase, los microinversores y Envoy utilizan la tecnología de comunicaciones de línea eléctrica (PLC)* para conectarse y comunicarse, el sistema transmite señales de comunicación a 144 kHz a través de

* Power Line Communications

los mismos conductores que llevan la energía del sistema de CA al sitio¹⁵. Se alimenta a una tensión en alterna de 120 V para las referencias de uso residencial y de 250 V para uso comercial, ambas a 60 Hz.

Figura 3. Sistema de comunicación Envoy.



Fuente: Enphase Energy Installation and operation manual. Envoy Communications Gateway. 2014. Disponible en: http://enphase.com/sites/default/files/Envoy_Installation_and_Operation_NA.pdf

2.8 REGULACIÓN DE TENSIÓN

Uno de los aspectos primordiales al dimensionar los conductores que forman parte de una instalación eléctrica, luego del cumplimiento de la capacidad de conducción de corriente, es el porcentaje de caída de tensión denominado también en el ámbito técnico, porcentaje de regulación¹⁶. Este porcentaje de regulación está definido como:

¹⁵ ENPHASE ENERGY INC. TECHNICAL BRIEF - Power Line Filter Solutions for Single-Phase Applications. 2016. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/Power_Line_Filter_Single-Phase_TechBrief.pdf. [Fecha de consulta: 06-Mar-2018].

¹⁶ CENTELSA S.A. RETIE: Regulación de tensión en instalaciones eléctricas. in RETIE: Regulación de tensión en instalaciones eléctricas, Colombia, 2005, p. 8

Para circuitos monofásicos:

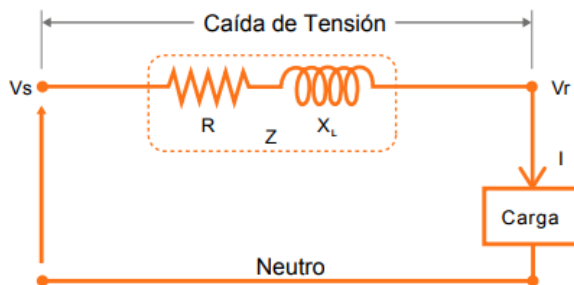
$$\%Regulación = \frac{\Delta V_{fase-neutro}}{V_r} * 100\% = \frac{Z_{ef} * 2 * L * I}{V_r} * 100\% \quad (2.1)$$

Para circuitos trifásicos:

$$\%Regulación = \frac{\sqrt{3} * \Delta V_{fase-neutro}}{V_r} * 100\% \rightarrow \Delta V_{fase-neutro} = Z_{ef} * L * I \quad (2.2)$$

Para el caso de redes de media y baja tensión los efectos capacitivos son despreciables, por lo que la Figura 4 es una buena aproximación.

Figura 4. Equivalente para baja y media tensión.



Donde:

ΔV : Caída de tensión en voltios

L : Longitud del circuito en km

I : Corriente del circuito en A

Z_{ef} : Impedancia eficaz en ohm/km

V_s : Tensión de envío por la fuente

V_r : Tensión recibida en la carga

Fuente: Centelsa. Disponible en: <http://centelsa.com.co/archivos/3d6c0e37.pdf>

Generalmente, en Colombia los operadores de red establecen los límites permitidos, particularmente la Norma de la Electrificadora de Santander ESSA los referencia en la Tabla 2.3 o según la NTC 2050 en las secciones 210-19 Nota 4 y 215-2 Nota 2, ambas aprobadas en cuanto a regulación por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas-RETIE, de tal forma que se garantice estabilidad en el sistema y no afecte las cargas conectadas.

2.8.1 Regulación de tensión - sistema FV del EIE. Debido a que las acometidas de la red FV del Edificio de Ingeniería Eléctrica son líneas de poca extensión ($L < 1\text{km}$), los efectos inductivos son despreciables, en consecuencia, para el cálculo de la regulación se tiene:

$$Z_{ef} = R_{ef} \quad (2.3)$$

$$\%Reg_{SFV} = \frac{\Delta V}{V_r} * 100\% = \frac{\sqrt{3} * R_{ef} * L * I * 10^{-3}}{V_r} * 100\% \quad (2.4)$$

ΔV : Caída de tensión del conductor (desde el microinversor al PCC).**

L: Longitud de la acometida en m.

I: Magnitud de la corriente en acometida en A.

R_{ef} : Resistencia eficaz del conductor en Ω/km .

V_s : Tensión a la salida del microinversor en V.

V_r : Tensión en el barraje en V.

$S_{3\phi}$: Potencia aparente a la salida del microinversor en VA.

La intensidad de corriente varía dependiendo de la configuración de la acometida, es decir si la misma es bifásica (Ecuación 2.5) o trifásica (Ecuación 2.6).

Intensidad para acometidas bifásicas

$$I = \frac{S_{2\phi}}{2 * V_{sfn}} \quad (2.5)$$

** Punto de conexión común

Intensidad para acometidas trifásicas

$$I = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} * V_{sff}} \quad (2.6)$$

2.9 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE SISTEMAS FV CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA

Como cualquier instalación eléctrica, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (On Grid) requieren de un mantenimiento constante con el propósito de asegurar una adecuada operación. Sin embargo, las instalaciones FV se identifican por demandar de un sencillo y corto mantenimiento debido a los pocos elementos que lo componen, el mantenimiento de carácter preventivo tema de interés en el desarrollo de este estudio, tiene como principal objetivo evitar y/o mitigar las consecuencias de los fallos de un equipo y del sistema en general, logrando prevenir las incidencias antes de que éstas ocurran.

En particular, el mantenimiento preventivo en los sistemas FV permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costo de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre otras ventajas¹⁷. Estos beneficios dedicados a la instalación FV del EIE se promovieron a partir del plan de mantenimiento preventivo planteado en el Capítulo 5 de este trabajo de grado.

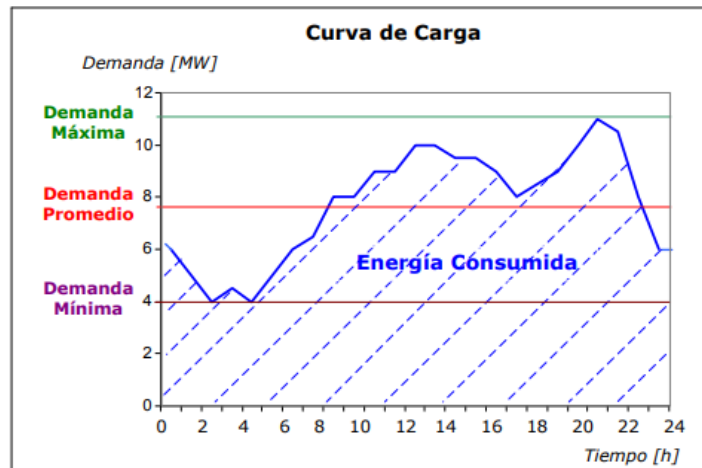
¹⁷ S.L OPEXENERGY OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas. [En línea]. Disponible en: http://opex-energy.com/fotovoltaica/mantenimiento_fotovoltaico.html. [Fecha de consulta: 26-Jan-2018]

2.10 CURVA DE DEMANDA

La curva de demanda o de carga es la representación gráfica de cómo varía la demanda eléctrica a lo largo del tiempo, el intervalo de tiempo suele ser diario, semanal, mensual o anual.

La forma de esta curva depende principalmente del tipo de carga (industrial, comercial, domestica) del día de la semana y la temperatura. La Figura 5 introduce a una curva de demanda diaria, en donde la abscisa representa el tiempo y en la ordenada la energía eléctrica demandada.¹⁸

Figura 5. Curva de demanda.



Fuente: HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Kelly Alexandra; CARRILLO CRUZ, Johan Sebastián. Análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales estrato 4 en la ciudad de Bogotá ante diferentes escenarios de los hábitos de consumo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería. Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica. Bogotá. 2017. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5838/1/HernandezHernandezKellyAlexandra2017.pdf>

¹⁸ HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Kelly Alexandra; CARRILLO CRUZ, Johan Sebastian. Análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales estrato 4 en la ciudad de Bogotá ante diferentes escenarios de los hábitos de consumo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.

Una curva de demanda diaria permite realizar diferentes análisis sobre el comportamiento actual, pasado y futuro del sistema eléctrico, a partir de los distintos factores que de ella se pueden obtener¹⁹, como por ejemplo:

- **Demanda:** Es el valor de la carga media en un período de tiempo determinado. Se da en unidades de potencia. Por lo general, se dan valores horarios o medidas tomadas en fracciones de hora.

- **Demanda máxima:** Es el valor más alto de demanda que se tiene en el transcurso del tiempo de medida, generalmente en el día.

- **Demanda media:** Es el promedio de las demandas en el período de tiempo de medida.

- **Demanda mínima:** Es el valor menor de demanda que se tiene en el transcurso del tiempo de medida, generalmente en el día.

Para la construcción de la curva de demanda eléctrica del EIE se tuvo en cuenta otra variable, la inyección de potencia por parte del sistema fotovoltaico. En el Capítulo 3 se presenta la metodología planteada con más detalle.

¹⁹ Ibid.

3. LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Este Capítulo presenta la arquitectura actualizada de la red de generación fotovoltaica del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Presenta una breve descripción de los subsistemas, un inventario ligado a tablas y esquemas que describen de forma técnica la red FV y, por último, expone la conformación de los diagramas unifilares y tableros de distribución para cada una de las unidades del sistema FV.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FV

El sistema FV está situado en las terrazas del quinto y sexto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica, el área corresponde aproximadamente a 580 m² de cubierta verde y allí paralelamente se desarrollan proyectos relacionados con la horticultura (2017-2019). El sistema fotovoltaico cubre un espacio mayor a 66 m² con 37 módulos solares y una capacidad instalada de 9,61 kWp.

Este sistema, que conjuga los techos verdes con la generación renovable, lo componen tres subsistemas llamados por su aplicabilidad GRIPV#1, GRIPV#2 y GRIPV seguidor solar. Cada uno de éstos es relacionado en la Figura 6, asimismo el conjunto FV en una vista aérea del EIE.

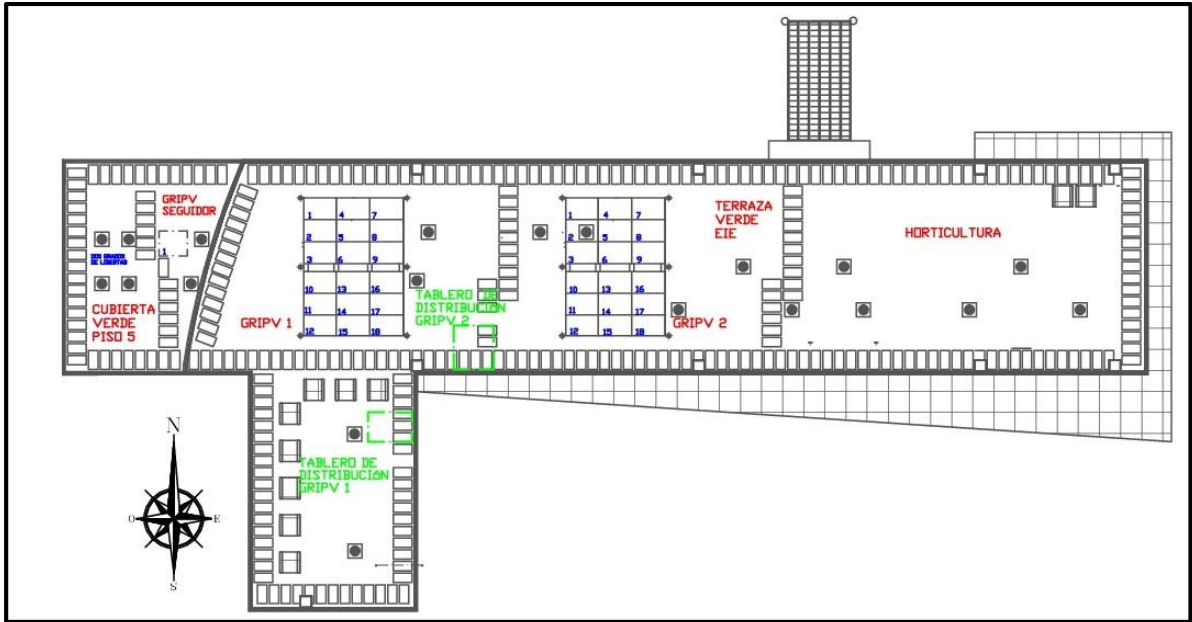
Figura 6. Sistema fotovoltaico E3T-UIS.



3.2 SUBSISTEMAS DEL SISTEMA FV (GRIPV)

La Figura 7 expone la vista superior de las cubiertas verdes del quinto y sexto nivel del EIE, con el propósito de identificar la ubicación espacial de los GRIPV y tableros de protecciones antes mencionados, también posteriormente se presenta una breve reseña de cada subsistema (GRIPV).

Figura 7. Vista Superior cubierta verde Edificio de Ingeniería Eléctrica.



3.2.1 GRIPV #1. Esta instalación fue puesta en marcha en el segundo semestre del 2015 (Figura 8) en el marco de una tesis doctoral en Ingeniería Eléctrica y financiada por un proyecto Colciencias-BID.

La reforma de esta unidad de generación en su primera etapa finalizó en el mes de septiembre del 2017 dentro del proyecto COLCIENCIAS 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” y consistió en incrementar la capacidad instalada de 2,5kW a 4,6kW. Este sistema está compuesto principalmente por 18 módulos solares (Figura 9) de marcas Up solar, Trina solar, Canadian solar y 18 microinversores M250 Enphase.

Figura 8. GRIPV#1-Año: 2015.



Figura 9. GRIPV#1-Año: 2018.



3.2.2 GRIPV#2. Es la red fotovoltaica más reciente (Figura 10), finalizó su instalación en Noviembre del 2017 (Figura 11). Está conformada por 18 paneles de la marca Canadian Solar y Trina Solar, debido a su aporte se amplió la capacidad instalada del sistema fotovoltaico a 9,61 kWp, con el propósito de adelantar proyectos entorno a la eficiencia energética de sistemas fotovoltaicos, a partir de la integración en techos verdes, la horticultura y sistemas de riego inteligente.

Figura 10. Montaje GRIPV#2. Año: 2017.



Figura 11. GRIPV#2. Año: 2017.



3.2.3 GRIPV Seguidor. El proyecto fue realizado en el año 2016, destinado a investigar el rendimiento de un panel FV programado con dos grados de libertad, realizando movimientos respecto a ejes de giro vertical y horizontal (acimut y altura solar) para seguir el curso del sol de tal forma que pueda aprovechar mayor incidencia de radiación sobre la superficie²⁰. El arreglo cuenta con un panel Up solar

²⁰ MIRANDA GUERRA, Jota Mario; TAMAYO ARGÜELLO, Jhon Jaime; BARRIOS SÁNCHEZ, Jorge Manuel. Diseño e implementación de la estrategia de movimiento para una unidad experimental de seguimiento solar con dos grados de libertad aplicado a generación fotovoltaica. Universidad Industrial de Santander, 2016

de 250 W ubicado en la cubierta verde del Piso 5 del Edificio de Ingeniería Eléctrica (Figura 12).

Figura 12. GRIPV Seguidor solar. Año: 2018.



3.3 INVENTARIO DEL SISTEMA FV DEL EIE

El inventario del SFV del EIE se realizó durante el mes noviembre del 2017 (Instalación del GRIPV#2) y el mes de enero del 2018. Consta de un conjunto de tablas que registran las características técnicas de los principales elementos que conforman el SFV (paneles FV, microinversores, Envoy), la información fue extraída de datos suministrados por hojas de datos y manuales de fabricantes, además es enriquecido por algunos esquemas propuestos que resumen información propia de la configuración FV. La Tabla 1 contiene el inventario y generalidades de toda la instalación FV.

Tabla 1. Inventario general del sistema FV del EIE.

	GRIPV#1			GRIPV#2		GRIPV SEGUIDOR
Ubicación	Extremo Oeste del sexto nivel del EIE.			Centro Este del sexto nivel del EIE.		Quinto nivel del EIE.
Área aproximada m²	32			32		2
Número de paneles FV instalados	18			18		1
Capacidad instalada Wp	4650			4710		250
Fabricante	Up Solar	Canadian Solar	Trina Solar	Canadian Solar	Trina Solar	Up Solar
Cantidad de Paneles FV	3	10	5	10	8	1
Referencias microinversores	M250-60-2LL-S22	M250-72-2LL-S22		M250-60-2LL-S22	M250-72-2LL-S22	M250-60-2LL-S22
Cantidad de microinversores Enphase	9	9		18	0	1
Numero de Envoy	1					
Número de acometidas trifásicas	6			3		0
Número de acometidas bifásicas	0			9		1
Medidor instalado	ACUREV 2020			ACUREV 2020		-----

3.3.1 Paneles fotovoltaicos. Los paneles FV instalados en la cubierta hacen referencia a tres fabricantes, que corresponden a la marca UP Solar con una potencia nominal de 250 W, la marca Trina Solar con potencia nominal de 270 W y la marca Canadian Solar con potencia nominal de 255 W. Algunas de las características eléctricas ,mecánicas y térmicas de los paneles FV se anexan en las tablas 2, 3 y 4 respectivamente.^{21,22}

²¹ Ibid.

²² UP SOLAR. Polycrystalline PV module 60 cells. 6” Black Series. 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.solar-voltaics.com/wp-content/uploads/brand-datasheets/Upsolar_M250P-B_Datasheet--Solar-Voltaics-201506.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018]

Tabla 2. Especificaciones eléctricas paneles FV.

PANELES FOTOVOLTAICOS	UP SOLAR	TRINA SOLAR	CANADIAN SOLAR
Referencia	M250P-B	TSM-PD05.08	CS6P-255P-SD
Potencia máxima (Pmax STC)	250 W	270 W	255 W
Tensión máxima de operación (Vmax)	30,9 V	30,9 V	30,2 V
Corriente máxima de operación (Imax)	8,1 A	8,73 A	8,43 A
Corriente de corto circuito (Isc STC)	8,45 A	9,18 A	9 A
Tensión de circuito abierto (Voc STC)	38,2 V	38,4 V	37,4 V
Eficiencia del módulo (η)	15,40 %	16,50 %	15,85%

Tabla 3. Especificaciones mecánicas paneles FV.

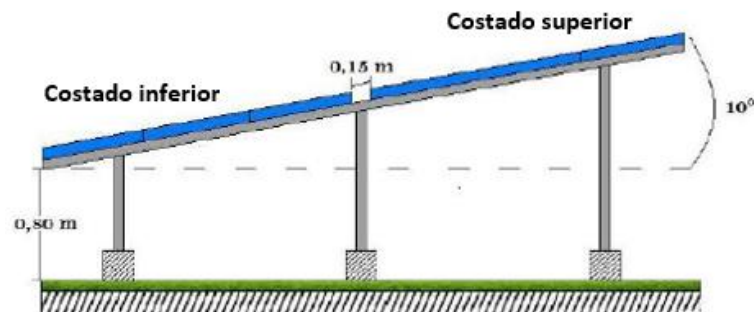
PANELES FOTOVOLTAICOS	UP SOLAR	TRINA SOLAR	CANADIAN SOLAR
Referencia	M250P-B	TSM-PD05.08	CS6P-255P-SD
Celdas	Policristalina 156x156 mm	Multicristalina 156x156 mm	Policristalina 156x156 mm
Número de celdas	60 celdas (6x10)	60 celdas (6x10)	60 celdas (6x10)
Dimensiones	1640 x 992 x 35 mm	1650 x 992 x 35 mm	1638 x 982 x 40 mm
Peso	18,5 kg	18,6 kg	19,1 kg

Tabla 4. Especificaciones térmicas paneles FV.

PANELES FOTOVOLTAICOS	UP SOLAR	TRINA SOLAR	CANADIAN SOLAR
Referencia	M250P-B	TSM-PD05.08	CS6P-255P-SD
Temperatura de operación Nominal de la Célula (TONC)	45 ± 2 °C	44 ± 2 °C	45 ± 2 °C
Coefficiente de temperatura de potencia " γ "	-0,43 ± 0,05 %/°C	-0,41 ± 0,05 %/°C	-0,41 ± 0,05 %/°C

Con la intención de favorecer la irrigación y sin perder la coplanaridad de la configuración, la estructura de los GRIPV#1 y GRIPV#2, garantiza una inclinación de 10°, con orientación hacia el sur y una altura mínima de 80 cm con separación entre costados superior e inferior de 15 cm, tal como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Estructura GRIPV#1 y GRIPV#2.



3.3.2 Microinversores M250. Cada uno de los paneles FV que conforman los subsistemas es gestionado por un microinversor M250 de marca Enphase. Las características técnicas se encuentran descritas en la Tabla 5.²³

Tabla 5. Especificaciones técnicas microinversores M250.

DATOS DE ENTRADA (CC)	MODELO	
	M250-60-2LL-S22	M250-72-2LL-S22
Combinación de módulos recomendado	210-350+W	210-350+W
Compatibilidad	Módulos fotovoltaicos de 60 celdas	Módulos fotovoltaicos de 60 y 72 celdas
Tensión máxima de DC de entrada	48V	62V

²³ ENPHASE ENERGY INC. Data Sheet Enphase Microinverters M250. 2017. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/M250_DS_EN_60Hz.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018]

DATOS DE ENTRADA (CC)	MODELO	
	M250-60-2LL-S22	M250-72-2LL-S22
DATOS DE SALIDA (CA)		
Potencia máxima de salida	250W	250W
Potencia de salida continua nominal	240W	240W
Frecuencia	605/7-61HZ	605/7-61HZ
Tensión nominal/intervalo	208 V183-229V@208 VCA	208 V183-229V@208 VCA
EFICIENCIA		
Rendimiento ponderado del inversor	96,50%	96,50%
Rendimiento estático del MPPT	99,40%	99,40%
Consumo de energía nocturno	máximo de 65mW	máximo de 65mW

Adicionalmente, se destaca que el uso de los microinversores M250 revela grandes funcionalidades en el sistema, algunas de ellas son:^{24, 25}

- Revisar el desempeño de los paneles FV, pues permite la fácil localización de las unidades que generan más y menos energía, además de la detección de fallas de forma ágil considerando una posible desconexión o daño de alguno de los dispositivos.
- Asegurar que la máxima potencia generada por el panel pueda ser enviada hacia la red o cargas a alimentar gracias al ajuste óptimo del punto de potencia máxima (MPPT-Maximum Power Point Tracking).

²⁴ ENPHASE ENERGY INC. Enlighten y aplicaciones. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/enlighten-y-aplicaciones>. [Fecha de consulta: 29-Jan-2018].

²⁵ Enphase Energy Inc., Manual de instalación y funcionamiento - Microinversores Enphase M250 y M215. Op. Cit.

- Reducción en pérdidas a causa del efecto mismatch (interconexión de módulos fotovoltaicos sin idénticas propiedades o diferencia en las condiciones que experimentan entre sí).
- Protección integrada contra sobretensiones. No obstante, la recomendación del fabricante sugiere por prevención adicionar elementos de protección contra rayos y sobretensiones para salvaguardar la integridad del equipo.
- Responder frente a las condiciones de seguridad y operación pautados por el sistema, tales como:
 - Rango de tensión exigidos por la NTC 5000 y 5001 [23]
 - Rango de frecuencia
 - Desconexión de los inversores en caso de pérdida de la red.

3.3.3 Envoy. El Envoy, desarrollado por la empresa Enphase, cuenta con la capacidad de monitorear exhaustivamente hasta 600 microinversores de referencia M250, se alimenta a 120V CA -60Hz. Propiamente en la instalación se alimenta a través de una de las fases y el neutro de la configuración FV en paralelo a la red. La Tabla 6 describe información técnica del dispositivo.²⁶

Tabla 6. Especificaciones técnicas Envoy.

ENVOY R COMMUNICATIONS GATEWAY	
	
INTERFAZ DE COMUNICACIONES	
Línea eléctrica	Tecnología propia de Enphase

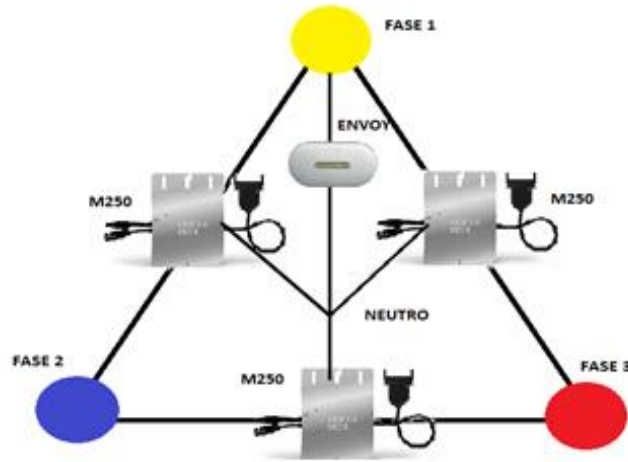
²⁶ ENPHASE ENERGY INC. Envoy Communications Gateway. 2015. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/Envoy_DS_EN_60Hz.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018].

ENVOY R COMMUNICATIONS GATEWAY	
Capacidad de supervisión	pueden supervisar hasta 600 microinversores Enphase
REQUISITOS DE ALIMENTACIÓN	
Toma de CA	120 V CA, 60 Hz
Consumo eléctrico	Típico: 2,5 W; Máximo: 7 W
DATOS MECÁNICOS	
Dimensiones (AN x AL x PR)	8,8" x 4,4" x 1,7"-(222,5 mm x 112 mm x 43,2 mm)
Peso	12 oz (340 g)
FUNCIONES	
Precisión	+/- 5 % o menor
Conformidad	UL 60950-1, EN 60950-1, CSA22.2 n.º 60950-1 e IEC 60950-1, FCC Parte 15 Clase B, CAN ICES-3(B)/NMB-3(B)

En cuanto a la conexión, los microinversores Enphase M250-60-2LL-S22 y M250-72-2LL-S22 tienen predeterminada la conexión delta, los mismos a su vez en la red de comunicaciones trabajan como un filtro pasa banda logrando que la señal que pase sea transmitida desde cualquier dispositivo (M250) hacia el Envoy. En la conexión el neutro adicional es usado como referencia para el generador FV, formando un lazo cerrado el cual muestrea en lapsos de 5 minutos variables eléctricas del sistema (potencia activa, energía, tensión y frecuencia) que finalmente son enviadas en alta frecuencia (kHz) hacia el Envoy. En la Figura 14 se puede observar la configuración expuesta. ²⁷

²⁷ ENPHASE ENERGY INC. Envoy Communications Gateway Installation and Operation Manual. Petaluma, EE.UU: Enphase Energy Inc, 2015

Figura 14. Conexión delta Envoy-microinversores M250.



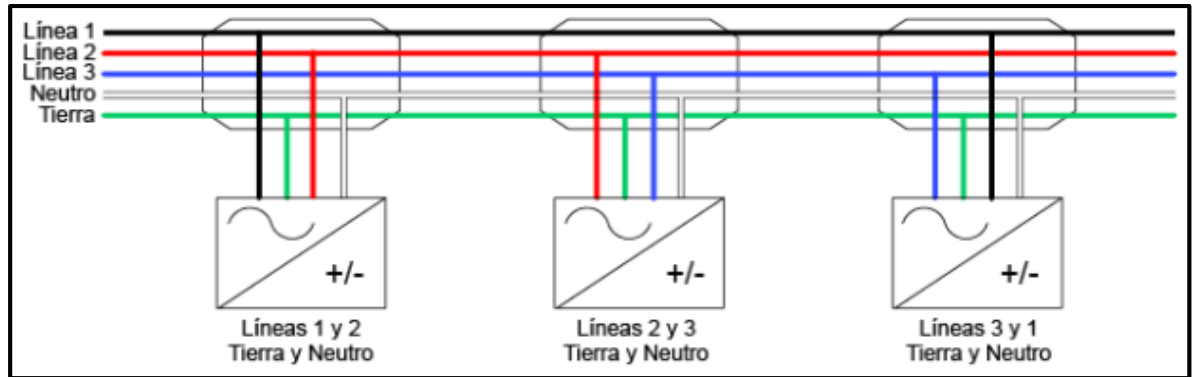
3.4 CONFORMACIÓN DE LOS DIAGRAMAS UNIFILARES Y TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA FV EIE

Esta sección presenta la conformación de los diagramas unifilares y tableros eléctricos de la instalación fotovoltaica.

La información descrita a continuación, se evidencia con mayor detalle en el diagrama unifilar del sistema FV, adjunto en el Anexo A. Allí es posible identificar la disposición, la numeración de las acometidas, los seriales de cada elemento (paneles fotovoltaicos y microinversores) y protecciones eléctricas.

3.4.1 Conformación del diagrama unifilar GRIPV#1. Las 18 unidades generadoras de este subsistema están conformadas por seis acometidas trifásicas equilibradas, donde cada grupo de tres paneles solares presenta una configuración como la exhibida en la Figura 15.

Figura 15. Conexión trifásica equilibrada.



Fuente: Enphase. Manual de instalación y funcionamiento. Microinversores Enphase M250 y M215. 2016. Disponible en: <https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/M215-M250-manual-ES-LAC.pdf>

Cabe señalar que los seriales de los fabricantes de paneles FV correspondientes a las marcas Canadian Solar, Trina Solar y Up Solar, se caracterizan por empezar con los caracteres 11, UPN y X08 respectivamente; asimismo, los microinversores de referencia M250-60 (costado inferior GRIPV#1) inician con 1215 y los M250-72 (costado superior GRIPV#1) con 1216 y 1217. Esta distribución da al GRIPV#1 en su costado superior la capacidad de cambiar los arreglos FV por unos de hasta 350 Wp con 72 celdas.

3.4.2 Conformación diagrama unifilar GRIPV #2. La disposición del costado superior es idéntica a la configuración del primer subsistema (GRIPV#1), la diferencia radica en las acometidas de la sección inferior, puesto que estas son bifásicas partiendo del microinversor directamente al tablero de protecciones del GRIPV #2.

3.4.3 Conformación del diagrama unifilar GRIPV seguidor. El GRIPV seguidor mantiene la configuración de circuito característica en los demás paneles FV. El módulo de generación Up Solar se conecta al microinversor para inyectar energía a

través de una acometida bifásica, de cuatro hilos al barraje ubicado en el cuarto piso del EIE junto con los otros dos GRIPV.

3.4.4 Tableros de protecciones y acometidas. La distribución de las acometidas y protecciones de los subsistemas fotovoltaicos son los temas abordados en esta sección.

En los tableros están etiquetados los circuitos y acometidas como se aprecia en las figuras 16 y 17, con esta misma numeración se identifican los esquemas unifilares (figuras 18 y 19) y cuadros técnicos.

Los calibres, ductos, distancias y protecciones se exponen en las tablas 7 y 8. Se debe agregar que los conductores se enrutan hasta los tableros en corazas flexibles liquid tight^{***} y que los circuitos correspondientes a cada configuración fotovoltaica cuentan con fusibles de 2 A como protección contra sobrecorriente y breakers de marca Schneider como medio de desconexión y protección de la instalación.

Asimismo, al exterior de los tableros, la instalación cuenta con un pulsador tipo hongo, el cual funciona de forma manual como parada de emergencia.

^{***} Especiales para instalaciones eléctricas expuestas a la intemperie.

Figura 16. Protecciones para acometidas del GRIPV#1.

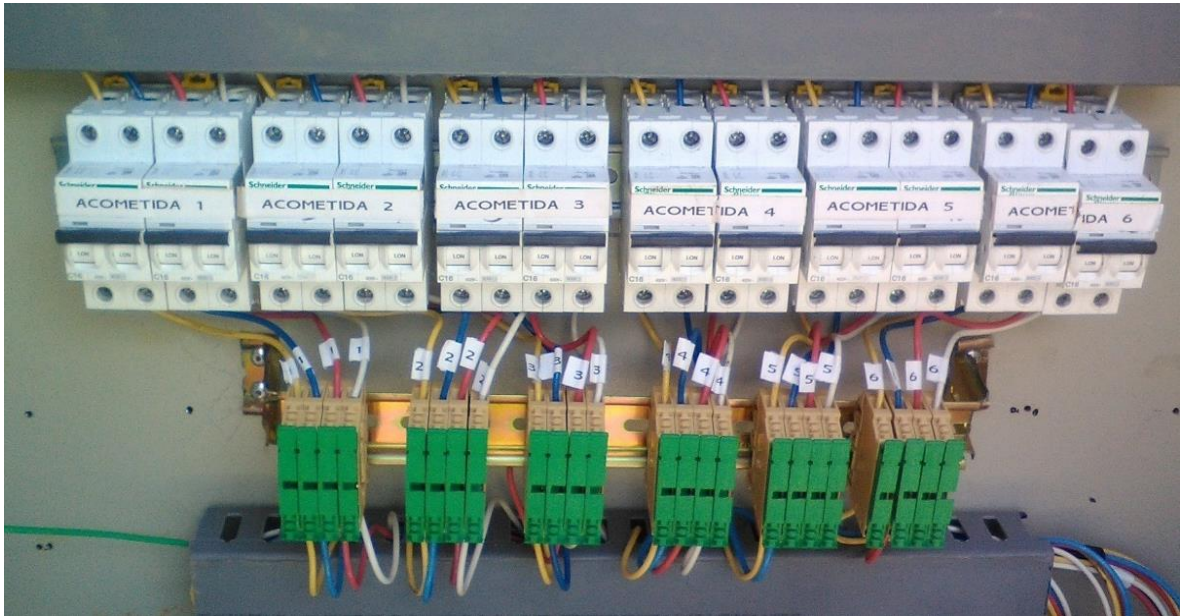


Figura 17. Protecciones para las acometidas del GRIPV#2.

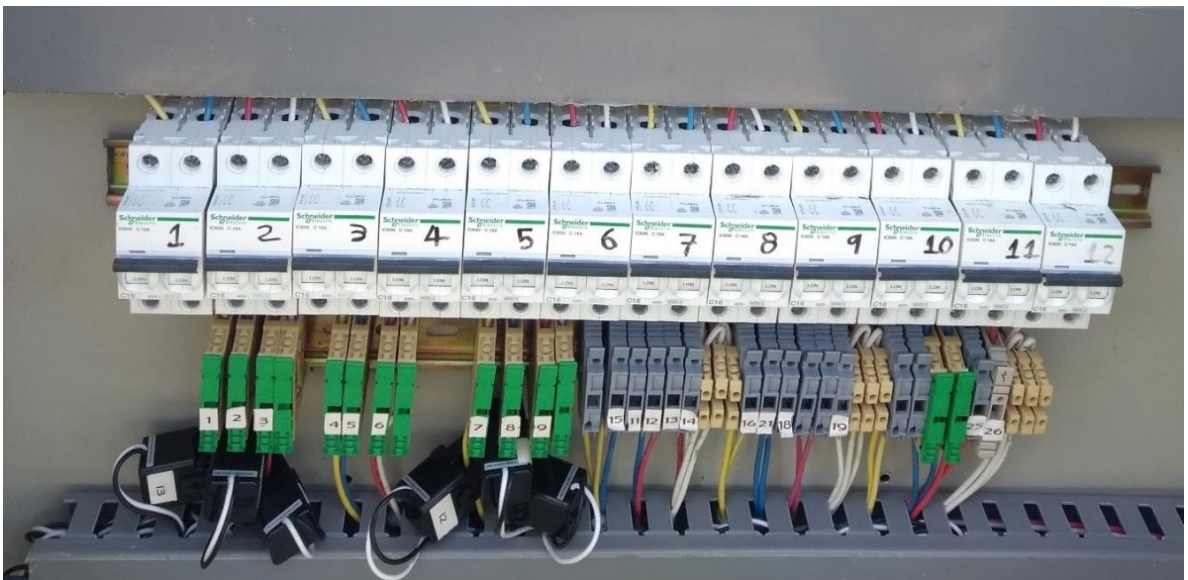


Figura 18. Diagrama unifilar tablero GRIPV#1.

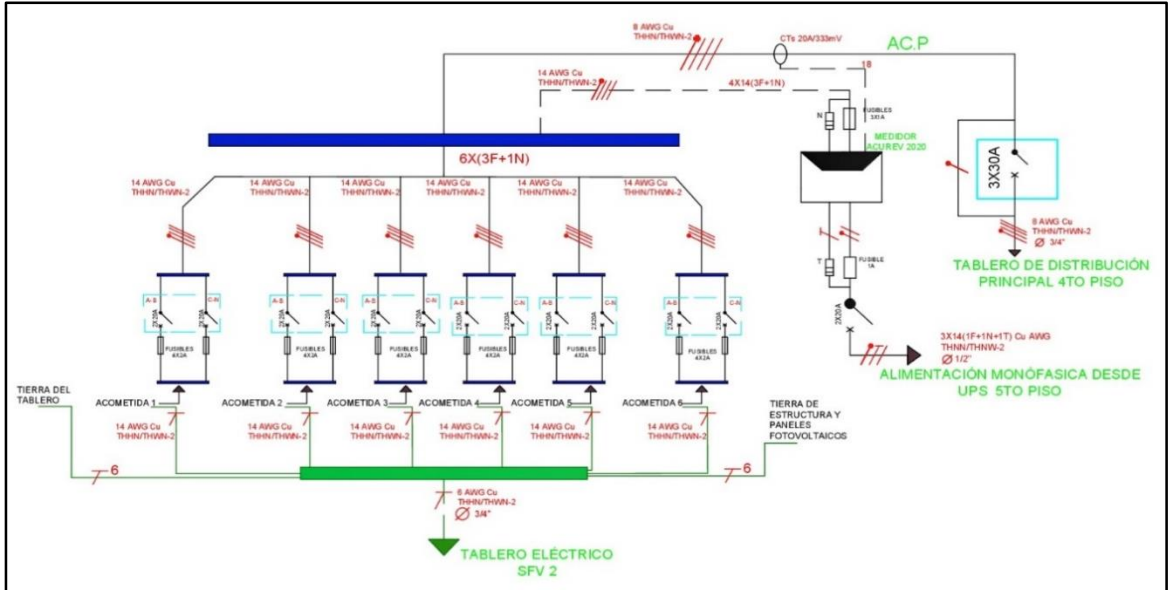


Figura 19. Diagrama unifilar tablero GRIPV#2.

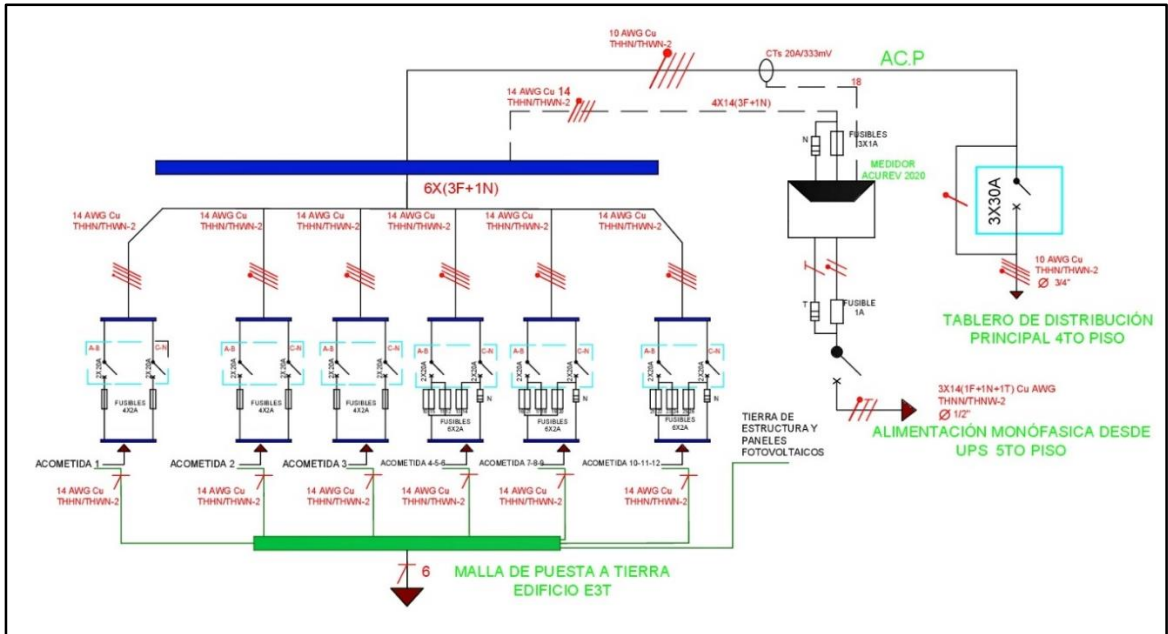


Tabla 7. Protecciones y acometidas GRIPV#1.

CIRCUITO	ACOMETIDA	LONGITUD TOTAL [m]	CALIBRE	DUCTOS	BREAKER	FUSIBLE
1,2,3	1	15,3	5x14	1/2"	3x20 A	4x2 A
4,5,6	2	13,4	5x14	3/4"	3x20 A	4x2 A
7,8,9	3	11,5	4x14		3x20 A	4x2 A
10,11,12	4	12,1	5x14	1/2"	3x20 A	4x2 A
13,14,15	5	10,5	5x14	3/4"	3x20 A	4x2 A
16,17,18	6	8,5	4x14		3x20 A	4x2 A
1,2,3	Acometida principal	15	5x8	3/4"	3x30 A	

Tabla 8. Protecciones y acometidas GRIPV#2.

CIRCUITO	ACOMETIDA	LONGITUD TOTAL [m]	CALIBRE	DUCTOS	BREAKER	FUSIBLE
1,2,3	1	10,20	5x14	1/2"	3x20 A	4x2 A
4,5,6	2	12,20	5x14	1/2"	3x20 A	4x2 A
7,8,9	3	14,20	5x14	1/2"	3x20 A	4x2 A
10,11	4	8,10	4x14	3/4"	2x20 A	2x2 A
12,13	5	7,10	3x14		2x20 A	2x2 A
14,15	6	6,10	3x14		2x20 A	2x2 A
16,17	7	9,50	4x14	3/4"	2x20 A	2x2 A
18,19	8	8,50	3x14		2x20 A	2x2 A
20,21	9	7,50	3x14		2x20 A	2x2 A
22,23	10	11,60	4x14	3/4"	2x20 A	2x2 A
24,25	11	10,60	3x14		2x20 A	2x2 A
26,27	12	9,60	3x14		2x20 A	2x2 A
1,2,3	Acometida principal	18,00	5x10	3/4"	3x30 A	

Por causa de falla o acción manual de los interruptores termomagnéticos, se consideró conveniente registrar en las tablas 9 y 10 la afectación que los mismos tendrían frente a los circuitos, acometidas, paneles FV y microinversores asociados a cada una de las protecciones.

Tabla 9. Circuitos, acometidas, paneles y microinversores asociados a cada protección GRIPV#1.

BREAKERS			ACOMETIDA	CIRCUITO	PANELES Y MICROINVERSORES
N° de Protección	Fases asociadas	Capacidad			
1	A-B	2x20 A	1		1,2,3
2	C-N	2x20 A			
3	A-B	2x20 A	2		4,5,6
4	C-N	2x20 A			
5	A-B	2x20 A	3		7,8,9
6	C-N	2x20 A			
7	A-B	2x20 A	4		10,11,12
8	C-N	2x20 A			
9	A-B	2x20 A	5		13,14,15
10	C-N	2x20 A			
11	A-B	2x20 A	6		16,17,18
12	C-N	2x20 A			
Totalizador	A-B-C	3x30 A	Acometida principal	1,2,3	18 paneles

Tabla 10. Circuitos, acometidas, paneles y microinversores asociados a cada protección GRIPV#2.

BREAKERS			ACOMETIDA	CIRCUITO	PANELES Y MICROINVERSORES
N° de Protección	Fases asociadas	Capacidad			
1	A-B	2x20 A	1	1,2	1,2,3
2	C-N	2x20 A		3	
3	A-B	2x20 A	2	4,5	4,5,6
4	C-N	2x20 A		6	
5	A-B	2x20 A	3	7,8	7,8,9
6	C-N	2x20 A		9	
7	A(10,15) – B (11,12)	2x20 A	4,5,6	10,11,12,13,14, 15	10,11,12
8	C(13-14) – N(Ac 4,5,6)	2x20 A	4,5,6	10,11,12,13,14, 15	10,11,12
9	A(16,21) – B (17,18)	2x20 A	7,8,9	16,17,18,19,20, 21	13,14,15
10	C(19-20) – N(Ac 7,8,9)	2x20 A	7,8,9	16,17,18,19,20, 21	13,14,15
11	A(22,27) – B (23,24)	2x20 A	10,11,12	22,23,24,25,26, 27	16,17,18
12	C(25-26)- N(Ac.10,11,12)	2x20 A	10,11,12	22,23,24,25,26, 27	16,17,18
Totalizador			Acometida principal	1,2,3	18 paneles
A-B-C		3x30 A			

4. CURVAS DE DEMANDA DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

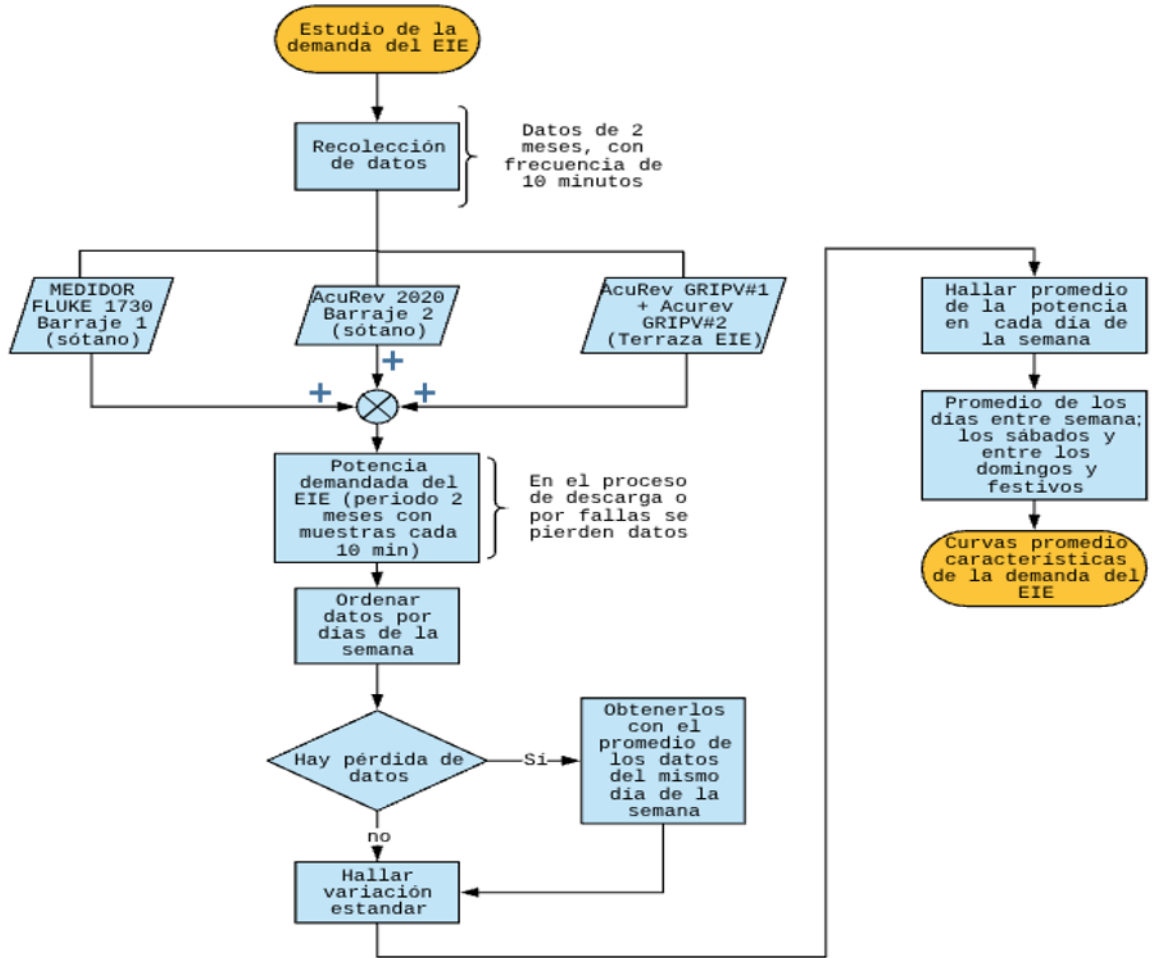
Esta sección describe la metodología propuesta para establecer las curvas de demanda eléctrica del Edificio de Ingeniería Eléctrica y el efecto de la inyección FV en el consumo de energía eléctrica durante el periodo de estudio.

El proceso y calculos realizados para la construcción de las curvas se presentan en el archivo Excel “*ANALISIS DE LA DEMANDA*” (Anexo B). Asimismo los calculos para el analisis del efecto de la inyección FV en el consumo del EIE se encuentran en el archivo de Excel “*GENERACION*”, hoja consumo diario, (Anexo B).

4.1 PROCEDIMIENTO PARA CONFORMAR LAS CURVAS DE DEMANDA DEL EIE.

La Figura 20 representa la metodología ejecutada en la elaboración de las curvas horarias de consumo eléctrico del EIE.

Figura 20. Diagrama de flujo de la metodología empleada.



4.1.1 Recolección de datos. A través de los medidores inteligentes instalados a mediados de noviembre del 2017 en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, se recolectaron datos de potencia activa con una frecuencia de 10 minutos por registro (144 datos diarios), para el periodo de tiempo comprendido del 14 de febrero del 2018 al 14 de abril del mismo año (2 meses-60 días). La ubicación, referencia y qué están monitorizando los medidores utilizados, se expone en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción y ubicación de medidores.

MEDIDOR	UBICACIÓN	ACOMETIDAS MEDIDAS
FLUKE 1730	Sótano _Barraje 1	Parte de la energía demandada por las acometidas del 1er al 4to piso del EIE.
ACUREV_3 2020	Sótano _Barraje 2	Energía demandada por las acometidas del 5to piso y automatización del EIE.
ACUREV_4 2020	Terraza_5Piso	Acometida principal GRIPV#1 (generación)
ACUREV_5 2020	Terraza_5piso	Acometida principal GRIPV#2 (generación)

4.1.2 Cálculo de la demanda del EIE. Para determinar en cada intervalo de 10 minutos la potencia demandada por el EIE (P_{TOTAL}), se estimó previamente la potencia inyectada por el sistema fotovoltaico (P_{SFV}) y la potencia demandada a la red convencional (P_{RED}), así:

Potencia total demandada por el EIE

$$P_{TOTAL} = P_{RED} + P_{SFV} \quad [kW] \quad (4.1)$$

$$P_{TOTAL} = P_{ACUREV_3\ 2020} + P_{FLUKE1730} + P_{ACUREV_4\ 2020} + P_{ACUREV_5\ 2020} \quad [kW] \quad (4.2)$$

Una vez establecida la demanda del EIE para cada intervalo y para todas las fechas del estudio, se procedió a tabular las mismas en el libro de Excel, Anexo B hoja "ACTIVA 14FEB-14ABRIL".

4.1.3 Tratamiento de datos. En esta etapa se clasificaron en hojas de Excel la totalidad de datos disponibles de lunes a domingo, teniendo en cuenta fechas particulares como festivos y Semana Santa, allí se encontró discontinuidad en los datos para los intervalos de tiempo listados en la Tabla 12. Las causas de estas discontinuidades son fallas, desconexiones y el mismo procedimiento de descarga de datos.

Tabla 12. Discontinuidad de datos.

FECHA	INICIO	FIN	CANTIDAD DE DATOS
lunes, 19 de febrero de 2018	6:10:00 p.m.	11:50:00 p.m.	47
martes, 20 de febrero de 2018	12:00:00 a.m.	5:50:00 p.m.	108
lunes, 26 de febrero de 2018	8:00:00 a.m.	8:30:00 a.m.	4
lunes, 26 de febrero de 2018	5:00:00 p.m.	6:20:00 p.m.	21
lunes, 05 de marzo de 2018	7:10:00 a.m.	8:20:00 a.m.	8
jueves, 08 de marzo de 2018	4:50:00 p.m.	7:10:00 p.m.	15
jueves, 15 de marzo de 2018	7:10:00 a.m.	8:40:00 a.m.	10
martes, 20 de marzo de 2018	5:20:00 p.m.	11:50:00 p.m.	40
miércoles, 21 de marzo de 2018	12:00:00 a.m.	8:50:00 p.m.	52
lunes, 02 de abril de 2018	6:10:00 p.m.	8:10:00 p.m.	6
martes, 10 de abril de 2018	5:20:00 p.m.	9:00:00 p.m.	24
TOTAL DE DATOS PERDIDOS			335

Para ajustar los 335 datos faltantes se optó por promediar entre los demás registros de semanas anteriores y/o posteriores. Por ejemplo, para establecer una estimación de la potencia activa consumida del día lunes 19 de febrero a las 6:10 a.m., se promedió en ese mismo instante el consumo del lunes 26 febrero, 5 de marzo, 12 de marzo, 2 de abril y 9 de abril.

a) Muestras representativas

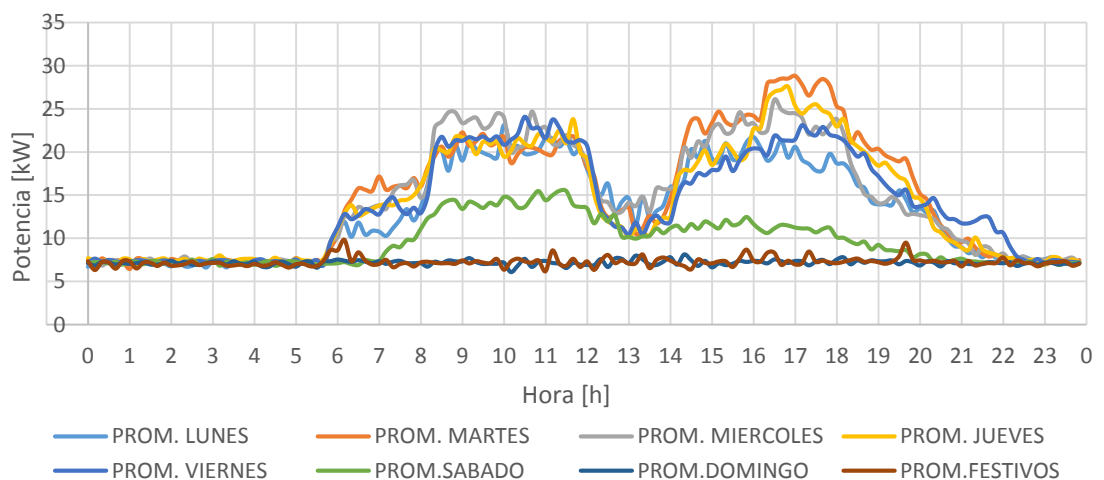
Una vez completada la totalidad de registros de demanda (8640 datos), se evaluó la desviación estándar de los datos según el intervalo y el día de la semana, en donde se encontró que la dispersión era baja (menor a la mitad de la magnitud registrada por intervalo), permitiendo obtener una muestra representativa a partir del promedio de cada día de la semana en cada uno de los intervalos.

En resumen, se determinó un consumo de potencia promedio por día, de lunes a domingo y para cada intervalo. Esto se muestra en el Anexo B, hoja Excel “PROM. POR DIAS”.

b) Agrupación de datos por tendencia en el consumo.

Para establecer una tendencia del consumo y conformar los grupos de datos que representan las curvas de demanda eléctrica del EIE, se construyó una gráfica con la potencia activa promedio consumida para cada día de la semana (calculada en el numeral “a” vs tiempo (Figura 21).

Figura 21. Curva de demanda promedio EIE.



El comportamiento de la Figura 21 muestra que la demanda de energía del EIE es marcada por una tendencia según el tipo de día. Por ejemplo, de lunes a viernes la naturaleza de la curva se mantiene y el consumo es cercano al promedio (Tabla 13), pudiéndose agrupar e identificar como el primer grupo representativo. Por otro lado, el día sábado mantiene un consumo particular por lo que sería clasificado como el segundo grupo y el domingo mantiene un consumo similar con los festivos y Semana Santa, por lo que componen el tercer grupo representativo. Estos tres grupos se listan en la Tabla 14 y coinciden con la clasificación grupal de XM (Compañía experta en mercados) para la tendencia de la demanda energética del país.²⁸

Tabla 13. Consumo curvas promedio.

CURVAS	CONSUMOS kWh/Día
LUNES	317,14
MARTES	358,89
MIÉRCOLES	346,89
JUEVES	341,48
VIERNES	334,93
SÁBADO	238,44
DOMINGO	171,93
FESTIVOS	172,91

Tabla 14. Grupos de datos por tendencia de consumo.

GRUPOS POR TENDENCIA DE CONSUMO	DESCRIPCIÓN
Entre semana	Lunes, martes, miércoles, jueves y viernes (días con actividad académica y administrativa-días ordinarios)
Sábados	Sábados (clases de posgrados y otros cursos)
Domingos y festivos	Domingos, festivos, Semana Santa.

²⁸ XM. Históricos de demanda. Curva de demanda promedio en Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/historico-de-demanda.aspx>. [Fecha de consulta: 01-Jul-2018].

c) Análisis y construcción de las curvas de demanda

Una vez conformados los 3 grupos a través de promedios, se procedió a graficar las curvas de demanda del EIE. Cada una de ellas se ilustra en las figuras 22, 23 y 24 y los parámetros de las mismas se exponen en las tablas 15, 16 y 17, respectivamente.

Figura 22. Curva de demanda entre semana.

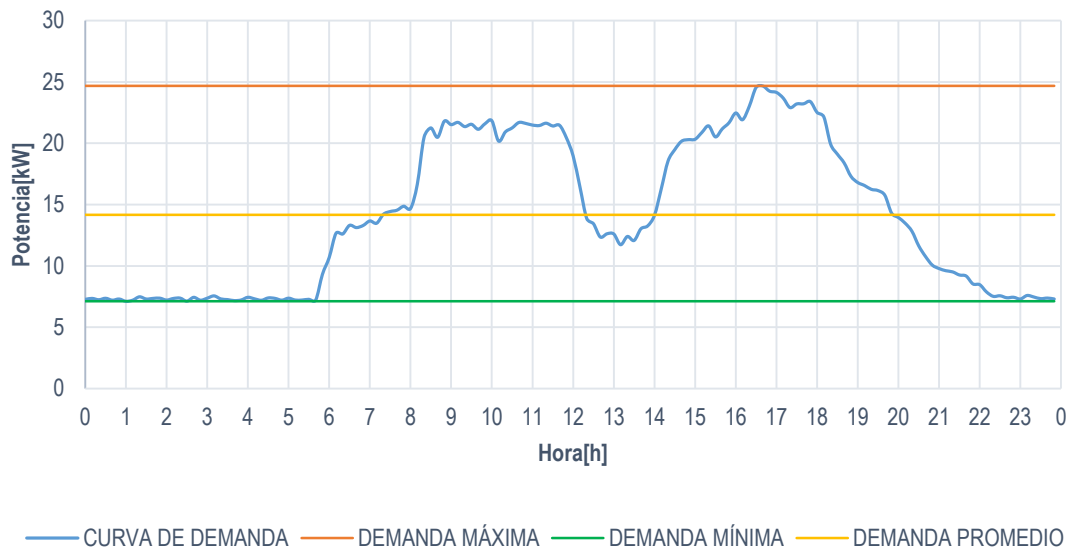


Tabla 15. Parámetros curva de demanda entre semana.

DEMANDA PROMEDIO [kW]	DEMANDA MÁXIMA [kW]	DEMANDA MÍNIMA [kW]	CONSUMO [kWh/día]
14,161	24,676	7,115	339,868
HORA PICO A.M.	HORA PICO P.M.	HORA VALLE	
8:30:00-11:40:00	16:00:00-18:00:00	12:20:00-14:00:00	

La curva presentó un comportamiento similar en las jornadas de la mañana y tarde, casualmente se encuentran separadas por las horas valle descritas en la Tabla 14, pues en este intervalo la demanda desciende por debajo de la demanda promedio y vuelve a superarla al inicio de la jornada de la tarde. Adicionalmente, ambas jornadas se ven marcadas por el intervalo de horas pico cuando se concentra un mayor consumo de energía, contrario al lapso de la madrugada y noche, donde luego de las 10:30 p.m. y hasta las 5:30 a.m. la demanda tiende a ser la mínima.

Figura 23. Curva de demanda Sábados.

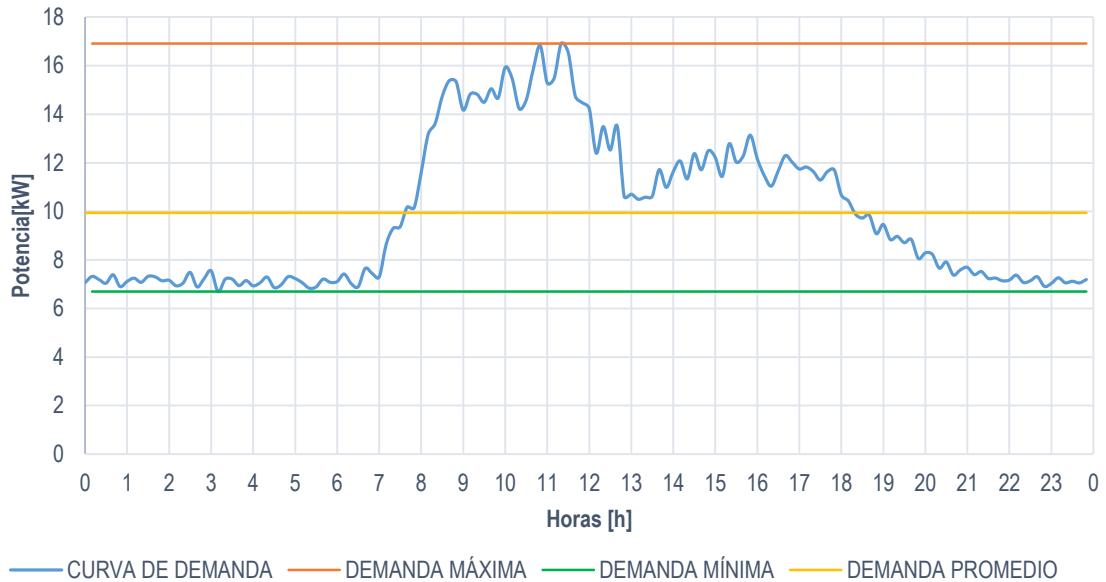


Tabla 16. Parámetros curva de demanda día sábado.

DEMANDA PROMEDIO [kW]	DEMANDA MÁXIMA [kW]	DEMANDA MÍNIMA [kW]	CONSUMO [kWh/día]
9,935	16,912	6,695	238,442
HORA PICO A.M.	HORA PICO P.M.	HORA VALLE	
8:50:00-11:40:00	-	-	

En esta curva se aprecia la jornada sabatina, de modo que la actividad (clases, tutorías, cursos extracurriculares y de posgrado) y consumo en el EIE se ve plasmada principalmente en la mañana, resultando destacado un solo periodo de demanda pico puntualizado en la Tabla 15, la demanda en la madrugada y noche propende a ser la mínima, en los otros intervalos la demanda se inclina al promedio.

Figura 24. Curva de demanda domingos y festivos.

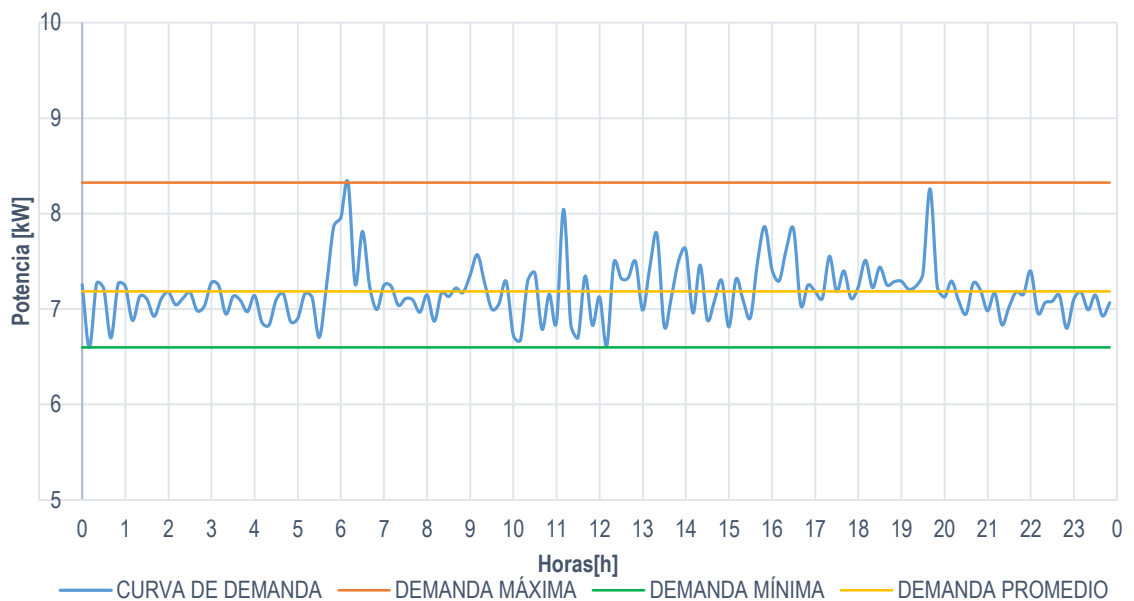


Tabla 17. Parámetros curva de demanda domingos y festivos.

DEMANDA PROMEDIO [kW]	DEMANDA MÁXIMA [kW]	DEMANDA MÍNIMA [kW]	CONSUMO [kWh/día]
7,184	8,325	6,597	172,422
HORA PICO A.M.	HORA PICO P.M.	HORA VALLE	
-	-	-	

Los días domingos y festivos tiene un comportamiento muy particular, ya que durante todo el día se mantiene la tendencia hacia la demanda promedio, esto se refleja tanto gráficamente en la Figura 24, como en los parámetros descritos en la Tabla 17, pues las magnitudes de las demandas máximas y mínimas no están significativamente alejadas del promedio.

4.2 PROYECCIÓN ANUAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL EIE

Para este análisis se identificaron los periodos de receso, actividad académica y administrativa a partir del calendario académico, correspondiente al primer y segundo periodo de 2018 (Acuerdo 014 de 2017 y Acuerdo 095 de 2018). Posteriormente, se clasificaron según el comportamiento que pudiese presentar la demanda dentro de los tres tipos de curvas, expuestas en el análisis anterior.

Adicionalmente, debido a que ciertas fechas presentan un consumo diferente al descrito en las curvas típicas de la demanda. Se identificó el consumo característico entre semana sin estudiantes, a través de medidas de potencia demanda en las semanas finales del periodo académico 2018-1.

La Tabla 18 muestra la clasificación realizada según el análisis descrito anteriormente.

Tabla 18. Clasificación del calendario académico UIS 2018-según demanda tipo.

Periodos de actividad y receso \ Clasificación según curvas tipo	Entre semana sin estudiantes	Entre semana con estudiantes	Sábado	Domingos y festivos	
Primer y Segundo periodo académico	–	143	37	36	
Semanas de Parciales finales	–	24	–	–	
Vacaciones estudiantes, docentes y administrativos	–	–	–	25	
Vacaciones Docentes y estudiantes	2	–	–	–	
Vacaciones Estudiantes	32	–	6	–	
Días festivos	–	–	–	12	
Semana Santa	–	–	–	8	
Semana de Receso	–	–	–	–	
Cursos Vacacionales	–	19	5	5	
TOTAL [Días]	39	186	48	92	365

Teniendo en cuenta que se presentan actividades simultáneamente a lo largo del año. Tal como ocurre con los periodos de cursos intersemestrales, y vacaciones de profesores y estudiantes. Los días entre estas fechas, se clasificaron dependiendo la afluencia de personas que pudiese presentarse en el EIE.

La Tabla 19 presenta los valores característicos del consumo diario promedio y consumo anual. Evidenciando que los días clasificados entre semana representan el mayor consumo anual en el EIE con aproximadamente un 64 %. Igualmente, se refleja que el consumo diario promedio es influenciado por el flujo de actividad que se presenta en el EIE.

El consumo actual paso de cerca de 60.000 kWh/año a casi 100.000 kWh/año debido a la integración de aire acondicionado en los racks, los cuales representan una demanda sostenida de 5 kW las 24 horas del día.

Tabla 19. Proyección anual de consumo de energía eléctrica del EIE.

	Entre Semana con Estudiantes	Entre Semana sin estudiantes	Sábado	Domingos y festivos	TOTAL
CONSUMO DIARIO PROMEDIO [kWh]	339,9	213,1	238,4	172,4	
CONSUMO ANUAL [kWh]	63213,6	8310,5	11445,2	15862,9	98832,1
PORCENTAJE DEL CONSUMO ANUAL [%]	64,0	8,4	11,6	16,1	100,0

4.3 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA INYECTADA

Tomando como base las estimaciones de consumo y de generación FV* en el periodo de estudio, se determinó el porcentaje de aporte del sistema FV al consumo energético del EIE. La Tabla 20 muestra porcentualmente cual fue el aporte diario durante el periodo de estudio, exponiendo en la misma, los días festivos y sin actividad académica. Gráficamente el aporte diario se muestra en el diagrama de barras (Figura 25).

El aporte de energía del sistema de generación FV en los festivos y fines de semana, es generalmente mayor respecto a los días entre lunes y viernes, teniendo en cuenta que es cuando menos energía se consume en el EIE. Los valores máximos de aporte del sistema de generación FV a la demanda llegaron al 21,42%, 30,48% y 25,41% correspondientes a los sábados, domingos y festivos respectivamente;

* Anexo B- GENERACIÓN.xlsx, hoja CONSUMO DIARIO

mientras que los días ordinarios con actividad académica y administrativa, registraron aportes máximos alrededor del 15%. Los resultados mencionados se anexan en la Tabla 20.

Tabla 20. Aporte diario porcentual de la generación FV al consumo del EIE (14 febrero – 14 de abril)

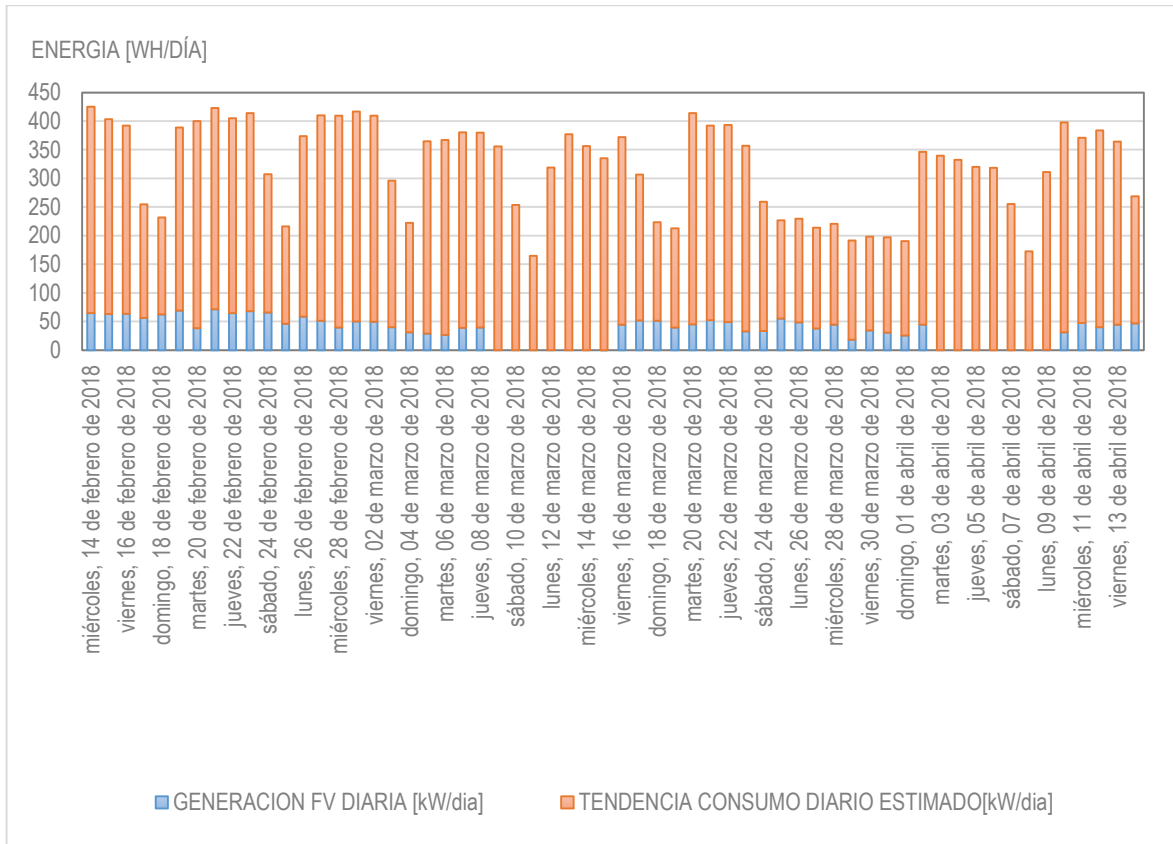
FECHAS DE MEDICIÓN	LUNES [%]	MARTES [%]	MIÉRCOLES [%]	JUEVES [%]	VIERNES [%]	SÁBADO [%]	DOMINGO [%]
Feb 14-Feb 18	–	–	13,55	13,98	14,66	21,42	27,81
Feb 19-Feb25	16,54	10,37	15,33	14,38	14,75	20,46	20,51
Feb 26-Mar 4	14,05	14,16	10,51	13,47	13,65	15,51	16,19
Mar 5-Mar 11	8,29	7,81	11,21	11,37	0,00	0,00	0,00
Mar 11-Mar 18	0,00	0,00	0,00	0,02	13,54	19,42	28,14
Mar 19-Mar 25	21,79	11,61	14,53	13,44	9,60	13,96	30,48
Mar 26-Abr 1	25,41	20,44	24,05	9,93	19,92	17,45	14,85
Abr 2-Abr 8	13,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abr 9- Abr 14	0,11	8,11	13,94	10,99	13,30	19,92	–
% DE APOORTE MAX	16,54	14,16	15,33	14,38	14,75	21,42	30,48
% DE APOORTE MIN	8,29	7,81	10,51	10,99	9,60	13,96	14,85

■ Días festivos y Semana Santa

(–) Días fuera del intervalo de medición

□ Días sin generación FV (Experimentación)

Figura 25. Diagrama de barras con el aporte de potencia de la generación FV al consumo del EIE.



Dejando fuera los días en que la instalación FV no reportó generación**, se calculó la energía suministrada en los dos meses, la cual contribuyó con un 14,75% del consumo total del EIE (12883.72 kWh) y mantuvo a lo largo del periodo de estudio una generación entre 53.85 kWh y 17.24 kWh, correspondientes a la máxima y mínima entrega de energía. Esta amplia diferencia, es influida directamente por la variación de la radiación solar durante el día. Los resultados descritos se presentan en la Tabla 21.

** El sistema FV fue desconectado de la red por fines de experimentación.

Tabla 21. Comportamiento energético del 14 de feb – 14 de marzo.

	CONSUMO TOTAL DEL EIE [kWh]	GENERACIÓN FV [kWh]	APORTADE DE LA RED [kWh]	PORCENTAJE APORTADO POR LA GENERACIÓN FV [%]	PORCENTAJE APORTADO POR LA RED [%]
Energía total	12883,72	1899,79	10983,93	14,75	85,25
Energía Promedio	280,08	41,30	238,78	14,75	85,25
Mínimo de energía registrado	163,96	17,24	119,19	7,81	69,52
Máximo de energía registrado	370,04	53,85	336,58	30,48	92,19

5. PROGRAMA PARA ESTIMAR LA POTENCIA INYECTADA, PÉRDIDAS Y REGULACIÓN DEL SISTEMA FV DEL EIE

Este capítulo describe el aplicativo *GRP_SFV* desarrollado en Matlab, como herramienta para estimar la potencia inyectada a la red, las pérdidas por conducción y la regulación de tensión en las acometidas del sistema fotovoltaico del EIE, según el nivel de irradiancia solar, temperatura ambiente y parámetros propios de la instalación.

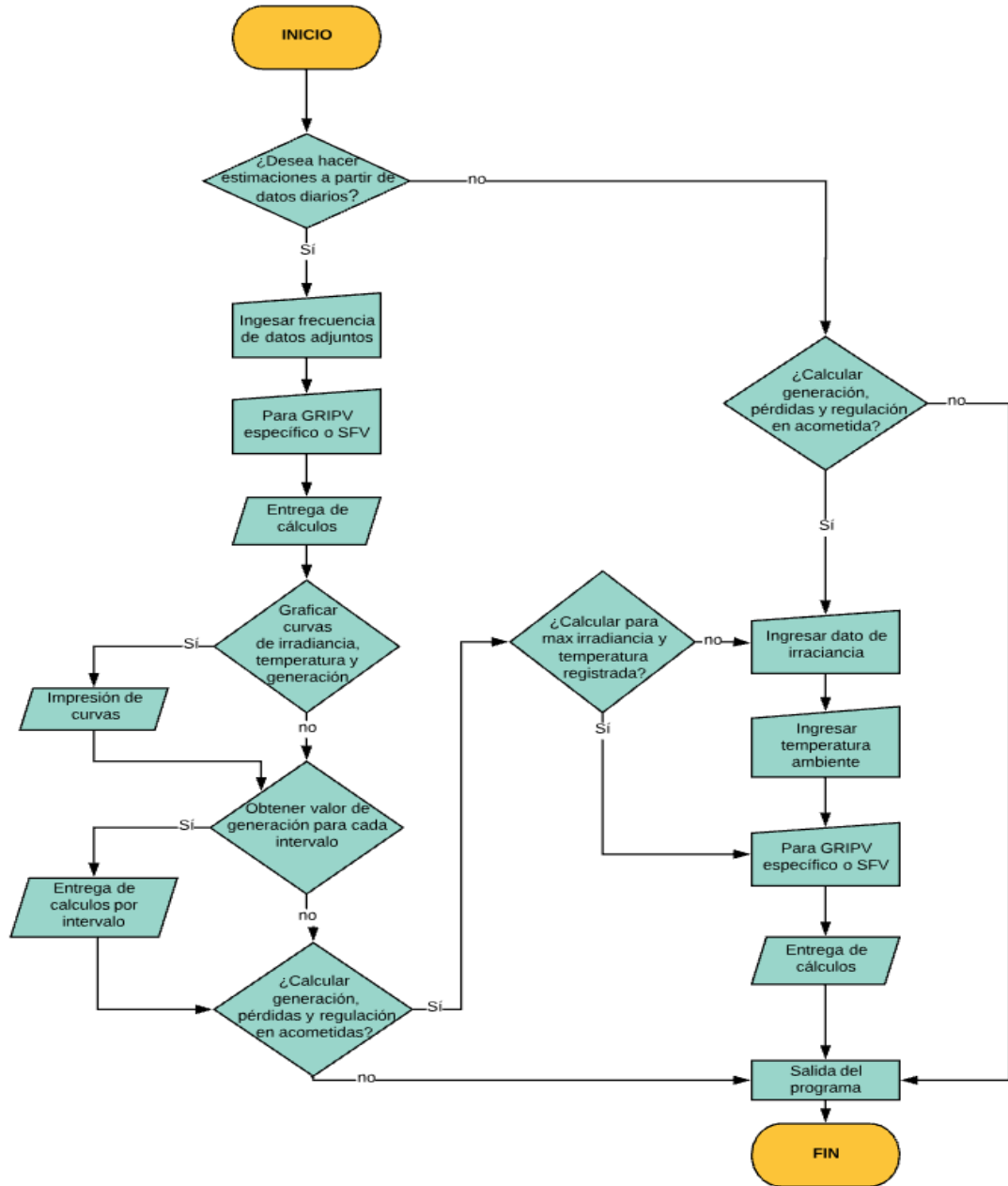
Las líneas de código y expresiones utilizadas en el desarrollo del script se encuentran en el Anexo C.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SCRIPT DESARROLLADO

La Figura 26 presenta el diagrama de flujo del script^{***} *GRP_SFV* desarrollado en Matlab.

^{***} Archivo con extensión .m que contiene varias líneas secuenciales de comandos y llamadas a funciones de MATLAB.

Figura 26. Diagrama de flujo del script GRP_SFV.m.



Tal como muestra la Figura 26, el programa se basa en sentencias condicionales, las cuales proporcionan al usuario un menú de opciones que lo llevan a evaluar las variables deseadas y a clasificar los cálculos por GRIPV, permitiendo realizar un análisis discriminatorio de la red FV.

En general, el Script da la opción al usuario de hacer un análisis del sistema FV a partir de dos tipos de estimaciones, las cuales se describen en los numerales 5.1.1.1 y 5.1.1.2 de esta Sección.

5.1.1 Ejecución del script GRP_SFV y casos de estudio. Estos casos se plantearon con base en datos* de irradiancia solar y temperatura ambiente de los días 29, 13 y 15 de abril del 2018, pues corresponden a las fechas de irradiación solar mínima, cercana a la promedio y máxima del mes (Tabla 22).

Tabla 22. Irradiación solar mínima, promedio y máxima del mes de abril.

29/04/18	13/04/18	15/04/18
2,5518 kWh/m ² /día	4,9407 kWh/m ² /día	6,9057 kWh/m ² /día

Con el propósito de dar al usuario una mejor comprensión del script, se muestra el proceso de ejecución e impresión de resultados para el 13 de Abril (fecha de irradiación promedio). Luego, se presenta la verificación y análisis de resultados para las 3 fechas descritas.

5.1.1.1 Estimación a partir de datos diarios: Este tipo de estimación se efectúa a partir de datos adjuntos en el archivo de Excel *IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA*** (Anexo C), correspondientes a la temperatura ambiente en °C e irradiancia solar en W/m², los mismos deben ubicarse en las columnas B y C de la hoja 1, tal como muestra la Figura 27.

* Suministrados por la estación meteorológica, ubicada en la terraza del EIE

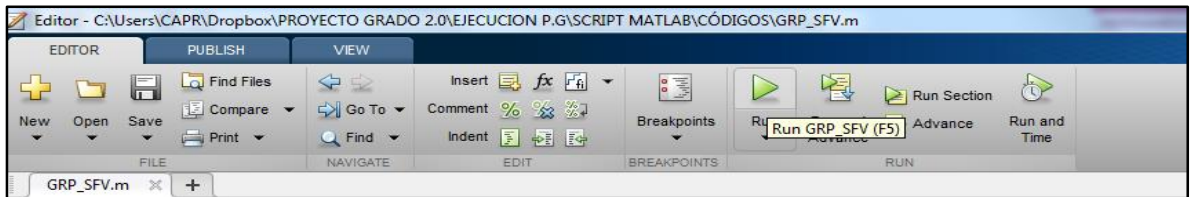
** El archivo debe estar en la misma carpeta del script GRP_SFV

Figura 27. Ubicación de datos en IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA.xlsx.

	A	B	C
1	13 DE ABRIL DEL 2018	TEMPERATURA AMBIENTE	IRRADIANCIA SOLAR
2	HORA	°C	W/m^2
3	12:00 a. m.	20.7	0
4	12:10 a. m.	20.7	0
5	12:20 a. m.	20.7	0
6	12:30 a. m.	20.6	0
7	12:40 a. m.	20.3	0
8	12:50 a. m.	20.2	0
9	01:00 a. m.	20.2	0

Luego de adjuntar los datos, se procede a abrir del archivo *GRP_SFV.m* desde el entorno *Edit* de Matlab y se ejecuta oprimiendo la tecla F5 o dando clic izquierdo sobre el icono *RUN* del menú *editor*, tal como se ilustra en la Figura 28.

Figura 28. Ejecución script *GRP_SFV*.



Al ejecutar el script, en la ventana *Command Window* se visualiza la interfaz inicial del programa, y aborda al usuario con una pregunta para empezar con la estimación a partir de datos diarios (Figura 29).

Figura 29. Interfaz Inicial del programa GRP_SFV.

```
Command Window
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

AUTORES: CARLOS ARTURO PÁEZ RICO
          CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA
          DIRECTOR:DR.GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA INYECTADA, REGULACIÓN Y PÉRDIDAS DEL SISTEMA FV DEL EIE

Este programa estima la inyección de potencia del sistema FV del EIE, las pérdidas de energía en conductores y la regulación de tensión en las acometidas según el nivel de irradiación solar y temperatura de operación de los paneles FV.

Nota: Para hacer la estimación a partir de datos diarios debe adjuntar los datos de temperatura ambiente e irradiancia solar en el archivo Excel IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA

¿DESEA HACER ESTIMACIONES A PARTIR DE DATOS DIARIOS? SÍ=1 NO=2: 1
```

Al seleccionar 1, la interfaz pide la frecuencia con la que se adjuntaron los datos en minutos y el GRIPV específico al que se le quiere estimar la energía inyectada. En este caso, los datos tienen un registro cada 10 minutos (Figura 27) y se escogió estimar la energía de todo el sistema FV del EIE, tal como se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Frecuencia de datos y GRIPV seleccionado.

```
Command Window
¿DESEA HACER ESTIMACIONES A PARTIR DE DATOS DIARIOS? SÍ=1 NO=2: 1

FRECUENCIA CON LA QUE SE ADJUNTARON LOS DATOS EN [MIN]: 10

GRIPV A ESTIMAR ENERGÍA INYECTADA. GRIPV#1=1,GRIPV#2=2,GRIPV#SEGUIDOR=3,SFV=4: 4
```

Luego de la selección, el programa entrega información general del sistema FV; cantidad y marca de paneles FV, área ocupada por los mismos, datos meteorológicos; de irradiancia y temperatura ambiente, Asimismo la generación estimada del arreglo FV, energía a la salida del microinversor y energía inyectada al punto de conexión común. La impresión se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Información del SFV, datos meteorológicos y energía estimada.

```
Command Window
TOTAL DE PANELES FV
37
CANTIDAD DE PANELES CANADIAN SOLAR
20
CANTIDAD DE PANELES UP SOLAR
4
CANTIDAD DE PANELES TRINA SOLAR
13
MÁXIMA IRRADIANCIA SOLAR DEL DÍA [W/m^2]
996
MÁXIMA TEMPERATURA AMBIENTE DEL DÍA [°C]
26.7000
MÍNIMA TEMPERATURA AMBIENTE DEL DÍA [°C]
18.7000
ÁREA OCUPADA POR LOS PANELES FV [m^2]
59.9562
GENERACIÓN IDEAL DE LOS PANELES FV [kWh/DIA] :
47.5
GENERACIÓN DE LOS PANELES FV CONSIDERANDO EFECTO TERMICO [kWh/DIA] :
43.6
ENERGÍA ESTIMADA A LA SALIDA DEL MICROINVERSOR [kWh/DIA] :
42.1
ENERGÍA INYECTADA AL PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN (BARRAJE) [kWh/DIA] :
```

Posteriormente, el programa ofrece al usuario obtener 6 graficas que describen el comportamiento de la irradiancia solar, temperatura (ambiente y de operación de los paneles FV) y generación del sistema FV (generación de los paneles FV, potencia a la salida del microinversor y potencia inyectada a la red eléctrica). Las curvas se ilustran en las figuras 32 y 33.

Figura 32. Grupo de curvas ventana 1 script GRP_SFV.

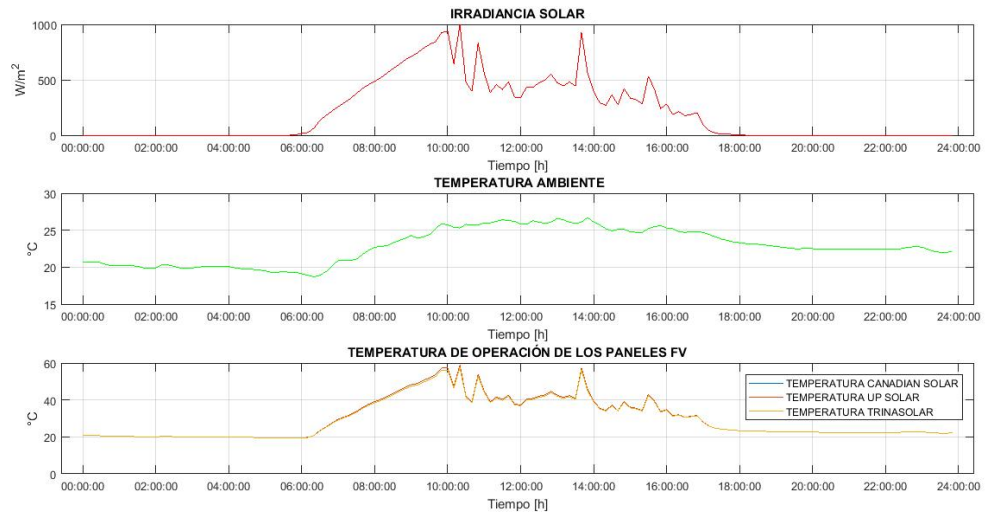
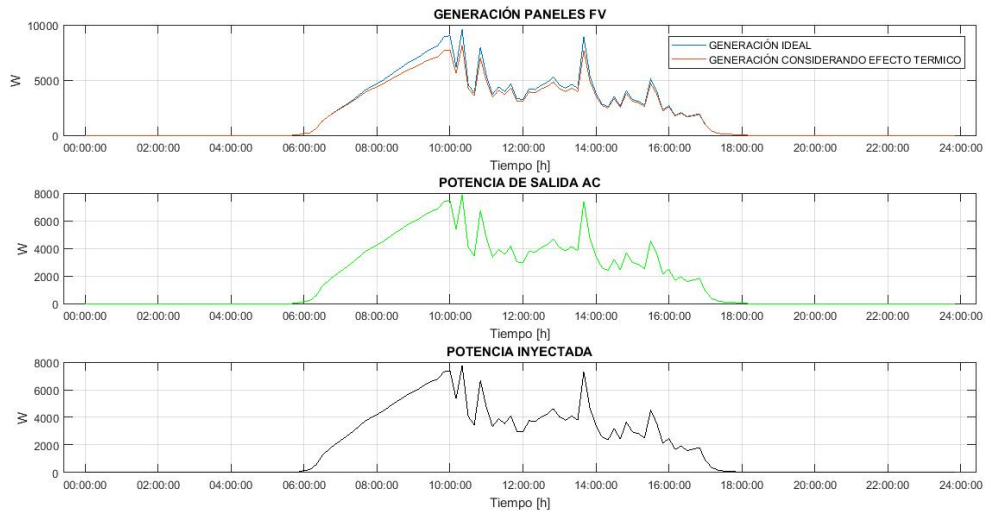


Figura 33. Grupo de curvas ventana 2 script GRP_SFV.



Por último, el programa da al usuario la posibilidad de conocer el comportamiento de la potencia del sistema FV para cada uno de los intervalos del día. La Figura 34 muestra la selección los resultados de 9 a.m. a 10:20 a.m. y señala el instante en que se obtuvo la mayor potencia inyectada.

Figura 34. Cálculos impresos de 9 a.m. - 10:20 a.m.

HORA	GENERACION_DC_W	Pout_MICROINVERSOR_W	PER_Cu_W	P_INYECTADA_W
09:00:00	6129.2	5914.7	54.833	5859.9
09:10:00	6384.4	6161	59.494	6101.5
09:20:00	6699.7	6465.2	65.516	6399.7
09:30:00	6932.5	6689.9	70.147	6619.7
09:40:00	7100	6851.5	73.578	6777.9
09:50:00	7653.2	7385.3	85.49	7299.8
10:00:00	7737.3	7466.5	87.38	7379.1
10:10:00	5589.6	5394	45.603	5348.4
10:20:00	8150.7	7865.4	96.966	7768.4

5.1.1.2 Estimación a partir de un valor determinado. El próximo menú de opciones, corresponde a las estimaciones por acometida a partir de un valor ingresado por el usuario de irradiancia solar en W/m^2 y de temperatura ambiente en $^{\circ}C$; sin embargo la interfaz sugiere realizar los cálculos predeterminadamente para la máxima irradiancia y temperatura registrada (Figura 35), para este ejemplo los valores corresponden a una irradiancia solar de $996 W/m^2$ y una temperatura ambiente de $26,7 ^{\circ}C$ (Figura 31).

Figura 35. Menú de opciones para la estimación a partir de un valor determinado.

```

Command Window
CALCULAR GENERACIÓN, PÉRDIDAS Y REGULACIÓN DE TENSIÓN POR ACOMETIDA SI=1 NO=2: 1
PARA MÁXIMA IRRADIANCIA Y TEMPERATURA REGISTRADA SI=1 NO=2: 1
PARA GRIPV#1=1 GRIPV#2=2 GRIPV#SEGUIDOR=3 SFV=4: 4
    
```

Los resultados de generación, pérdidas, regulación de tensión para todo el sistema FV se muestran en las figuras 36, 37 y 38.

Figura 36. Estimaciones por acometida GRIPV 1.

SISTEMA FV EIE									
ACOMETIDA	CANTIDAD_PANELES_FV	GRIPV#1		POTENCIA_GENERADA_W	SALIDA_MICRO_VA	CORRIENTE_A	PER_MICRO_W	PER_Cu_W	PER_TOT_W
		LONGITUD_m							
1	3	15.3		651.49	661.78	1.8369	22.802	1.5797	24.382
2	3	13.4		651.49	661.78	1.8369	22.802	1.3836	24.186
3	3	11.5		663.5	673.98	1.8708	23.223	1.2316	24.454
4	3	12.1		651.49	661.78	1.8369	22.802	1.2493	24.051
5	3	10.5		634.93	644.96	1.7902	22.223	1.0297	23.252
6	3	8.5		669.51	680.08	1.8877	23.433	0.92685	24.36
⊙									
PER_Cu_W	PER_TOT_W	PORCENTAJE_PER_Cu		REG_V_PORCENTUAL					
1.5797	24.382	3.7425		0.23871					
1.3836	24.186	3.7124		0.20907					
1.2316	24.454	3.6856		0.18273					
1.2493	24.051	3.6918		0.18879					
1.0297	23.252	3.6622		0.15966					
0.92685	24.36	3.6384		0.13629					
TOTAL_PANELES_FV	POTENCIA_GENERADA_W	SALIDA_MICRO_VA		PERDIDAS_TOT_W		POTENCIA_INYECTADA_W			
18	3922.4	3984.3		144.69		3777.7			

Figura 37. Estimaciones por acometida GRIPV 2.

SISTEMA FV EIE									
ACOMETIDA	CANTIDAD_PANELES_FV	GRIPV#2		POTENCIA_GENERADA_W	SALIDA_MICRO_VA	CORRIENTE_A	PER_MICRO_W	PER_Cu_W	PER_TOT_W
		LONGITUD_m							
1	3	10.2		651.49	661.78	1.8369	22.802	1.0532	23.855
2	3	12.2		651.49	661.78	1.592	22.802	0.94615	23.748
3	3	14.2		651.49	661.78	1.8369	22.802	1.4662	24.268
4	1	8.1		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.1396	7.7403
5	1	7.1		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.12236	7.7231
6	1	6.1		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.10513	7.7058
7	1	9.5		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.16372	7.7644
8	1	8.5		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.14649	7.7472
9	1	7.5		217.16	220.59	0.91913	7.6007	0.12926	7.73
10	1	11.6		223.17	226.69	0.94455	7.8109	0.21113	8.022
11	1	10.6		223.17	226.69	0.94455	7.8109	0.19293	8.0038
12	1	9.6		223.17	226.69	0.94455	7.8109	0.17472	7.9856
PORCENTAJE_PERDIDAS		REG_V_PORCENTUAL							
3.6617		0.15914							
3.6452		0.16497							
3.725		0.22155							
3.5643		0.063282							
3.5563		0.05547							
3.5484		0.047657							
3.5754		0.07422							
3.5675		0.066407							
3.5595		0.058595							
3.5946		0.093133							
3.5864		0.085104							
3.5783		0.077076							
TOTAL_PANELES_FV	POTENCIA_GENERADA_W	SALIDA_MICRO_VA		PERDIDAS_TOT_W		POTENCIA_INYECTADA_W			
18	3927	3989		142.29		3784.7			

Figura 38. Estimaciones por acometida GRIPV-SEGUIDOR.

GRIPV#3-SEGUIDOR								
ACOMETIDA	CANTIDAD_PANELES_FV	LONGITUD_m	POTENCIA_GENERADA_W	SALIDA_MICRO_VA	CORRIENTE_A	PER_MICRO_W	PER_Cu_W	PER_TOT_W
1	1	28	211.64	214.99	0.89577	7.4075	0.45834	7.8659
PORCENTAJE_PERDIDAS	REG_V_PORCENTUAL	POTENCIA_INYECTADA_W						
3.7166	0.21319	203.78						

La Tabla 23 contiene un resumen de las impresiones del script para cada tipo de estimación.

Tabla 23. Impresión de resultados del programa GRP_SFV, según tipo de estimación.

CÁLCULOS DEL SCRIPT SEGÚN TIPO DE ESTIMACIÓN	
A partir de datos diarios	A partir de un valor determinado
Datos meteorológicos y específicos de la instalación FV: -Máxima temperatura ambiente °C. -Mínima temperatura ambiente °C. -Máxima Irradiancia W/m ² . -Total y marca de paneles FV -Área ocupada por los paneles FV	Por acometida: -Cantidad de paneles FV. -Longitud de la acometida m. -Potencia generada W. -Potencia a la salida del microinversor W. -Corriente A. -Pérdidas del cobre W. -Pérdidas transformación DC/AC W. -Pérdidas totales W. -Porcentaje de pérdidas %. -Regulación de tensión porcentual %.
Energía [kWh/día] -Generación ideal de los paneles FV. -Generación de los paneles FV considerando efecto térmico. -Energía a la salida del microinversor. -Energía inyectada al punto de conexión común.	Por GRIPV: -Total de paneles FV. -Potencia generada W. -Potencia de salida del microinversor VA. -Pérdidas totales W. -Potencia inyectada W.
Graficas -Curva de Irradiancia. -Curva de temperatura ambiente. -Curva de temperatura de operación de los paneles FV. -Curva de generación del sistema FV. -Curva potencia de salida del microinversor.	

CÁLCULOS DEL SCRIPT SEGÚN TIPO DE ESTIMACIÓN	
A partir de datos diarios	A partir de un valor determinado
-Curva de potencia inyectada a la red eléctrica.	
Según frecuencia de datos	
-Potencia generada del SFV W.	
-Potencia a la salida del microinversor W.	
-Pérdidas del cobre en acometidas W.	
-Potencia inyectada W.	

5.1.2 Verificación y análisis de resultados. La Tabla 24 presenta una comparación entre la estimación de energía del script y el reporte de generación online de la plataforma Enlighten²⁹. Allí se aprecia que el programa *GRP_SFV* se acerca a la realidad, pues la magnitud del error porcentual no supera el 4% para los casos mínimo, promedio y máximo del mes.

Tabla 24. Reporte en generación del sistema FV.

Reporte	Enlighten	GRP_SFV	Error porcentual %
Fecha	Generación [kWh/día]	Generación [kWh/día]	
29 de abril del 2018	23,3	23,6	1,29
13 de abril del 2018	45,1	43,6	3,33
15 de abril del 2018	54,7	54,1	1,10

La Tabla 25 muestra la afectación térmica en la generación diaria del sistema FV. El caso más crítico corresponde al 15 de Abril (día de mayor irradiación solar), pues redujo un 12.1% la generación ideal.

²⁹ GRIPV #2_ELECTRICA_UIS. Disponible en: https://enlighten.enphaseenergy.com/pv/public_systems/xnza752668/overview Disponible en:

Tabla 25. Efecto térmico en la generación FV.

Fecha	Generación Ideal [kWh/día]	Generación considerando efecto térmico [kWh/día]	Afectación [kWh/día]	Reducción [%]
29 de abril del 2018	24,5	23,6	0,9	3,67
13 de abril del 2018	47,5	43,6	3,9	8,21
15 de abril del 2018	65,3	57,4	7,9	12,1

La Tabla 26 lista los instantes en que se presentó mayor afectación térmica en la potencia generada del sistema FV. Esta afectación se describe como β en la expresión C.4 del Anexo C.

Tabla 26. Afectación térmica en la potencia generada del sistema FV.

Hora	Fecha	G [W/m ²]	Ta [°C]	Up solar Tcell [°C]	Canadian Solar Tcell [°C]	Trina Solar Tcell [°C]	Pg_ideal [W]	Pg_Real [W]	β [%]
09:50 a.m.	29 de Abril	612	24,7	45,355	45,355	44,59	5882,6	5358	95,97
10:20 a.m.	13 de Abril	996	25,3	58,915	58,915	57,67	9573,6	8150,7	85,14
11:50 a.m.	15 de Abril	1064	28,5	62,650	62,650	61	9612,1	8040,9	83,65

Se evidencia que a mayor radiación mayor temperatura y mayor disminución en la potencia generada comparada con la generación en condiciones STC³⁰.

³⁰ Standard test conditions: especifica una temperatura de a 25 °C y una irradiancia de 1000 W/m²

5.1.3 Cálculo de regulación de tensión y pérdidas en conductores del sistema FV. La regulación de tensión y pérdidas en conductores en las acometidas del sistema FV se determinaron en base a los valores de máxima irradiancia y temperatura de las 3 fechas de estudio. Las tablas 27, 28 y 29 muestran la estimación del script *GRP_SFV* respecto a estas variables. Las expresiones utilizadas se describen en la Sección 1.8 del Capítulo 1 y en el numeral b del Anexo C.

Tabla 27. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV#1.

GRIPV N°1						
ACOMETIDA	29 de abril		13 de abril		15 de abril	
	G=612 [W/m ²]	Ta=24.7 [°C]	G=996 [W/m ²]	Ta= 25.3 [°C]	G=1064 [W/m ²]	Ta= 28.5 [°C]
	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V %	PÉRDIDAS Cu [W]	REG. V %	PÉRDIDAS Cu [W]	REG. V %
1-3φ	0,6851	0,1572	1,6010	0,2403	1,5631	0,2374
2-3φ	0,6	0,1377	1,4022	0,2105	1,3689	0,208
3-3φ	0,5446	0,1215	1,2510	0,1842	1,2147	0,1815
4-3φ	0,5418	0,1243	1,2662	0,1901	1,2361	0,1878
5-3φ	0,45	0,1055	1,044	0,1608	1,0178	0,1587
6-3φ	0,4137	0,091	0,9426	0,1374	0,9127	0,1352

Tabla 28. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV#2.

GRIPV N°2						
ACOMETIDA	29 de abril		13 de abril		15 de abril	
	G=612 [W/m ²]	Ta=24.7 [°C]	G=996 [W/m ²]	Ta= 25.3 [°C]	G=1064 [W/m ²]	Ta= 28.5 [°C]
	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]
1-3φ	0,4567	0,1048	1,0673	0,1602	1,042	0,1583

GRIPV N°2						
ACOMETIDA	29 de abril		13 de abril		15 de abril	
	G=612 [W/m ²]	Ta=24.7 [°C]	G=996 [W/m ²]	Ta= 25.3 [°C]	G=1064 [W/m ²]	Ta= 28.5 [°C]
	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]
2-3φ	0,5463	0,1253	1,2766	0,1661	1,2464	0,1893
3-3φ	0,6358	0,1459	1,4859	0,2230	1,4507	0,2204
4-2φ	0,0201	0,04167	0,0471	0,0637	0,046	0,0629
5-2φ	0,0177	0,03653	0,0413	0,0558	0,0403	0,0552
6-2φ	0,0152	0,03138	0,0355	0,0480	0,0346	0,0474
7-2φ	0,0236	0,04887	0,0552	0,0747	0,0539	0,0738
8-2φ	0,0211	0,04373	0,0494	0,0669	0,0482	0,0661
9-2φ	0,0187	0,03859	0,0436	0,0590	0,0426	0,0583
10-2φ	0,0314	0,0622	0,0715	0,0939	0,0692	0,0924
11-2φ	0,0287	0,05686	0,0653	0,0858	0,0632	0,0845
12-2φ	0,026	0,05149	0,0591	0,0777	0,0573	0,0765

Tabla 29. Regulación de tensión y pérdidas en conductores GRIPV-Seguidor.

GRIPV SEGUIDOR						
ACOMETIDA	29 de abril		13 de abril		15 de abril	
	G=612 [W/m ²]	Ta=24.7 [°C]	G=996 [W/m ²]	Ta= 25.3 [°C]	G=1064 [W/m ²]	Ta= 28.5 [°C]
	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]	PÉRDIDAS Cu [W]	REG.V [%]
1-2φ	0,066666	0,14093	0,15473	0,21471	0,15078	0,21195

Aunque en la normativa colombiana no se especifique un porcentaje que limite la regulación de tensión en las acometidas de este tipo de instalaciones, se tomó el valor exigido en la NTC-2050, la cual señala debe estar por debajo del 3%. Tomando este valor de referencia para contrastar con los obtenidos en el aplicativo, se puede

concluir que la totalidad de acometidas cumplen con el requerimiento de la norma, pues se encuentra entre 0,0314 % y 0,02147 % para acometidas bifásicas y 0,091 % y 0,2403 % para acometidas trifásicas.

Se debe aclarar que los bajos porcentajes en la regulación se deben a la previa selección del calibre del conductor, donde se utilizó como limitante que las pérdidas de potencia por efecto Joule no superaran el 1 % en condiciones de operación nominal.

5.1.4 Proyección anual de la generación FV en el EIE. A partir de datos de irradiancia y temperatura de la ciudad de Bucaramanga, se realizó una proyección de la generación anual del sistema FV. Asimismo, se determinó la cantidad de pérdidas en los microinversores y conductores.

La Tabla 30 muestra la proyección mensual de energía del sistema FV obtenida del escalamiento de las estimaciones de una semana (7 días) por mes. Con estas estimaciones mensuales, se determinaron los valores anuales de pérdidas y generación.

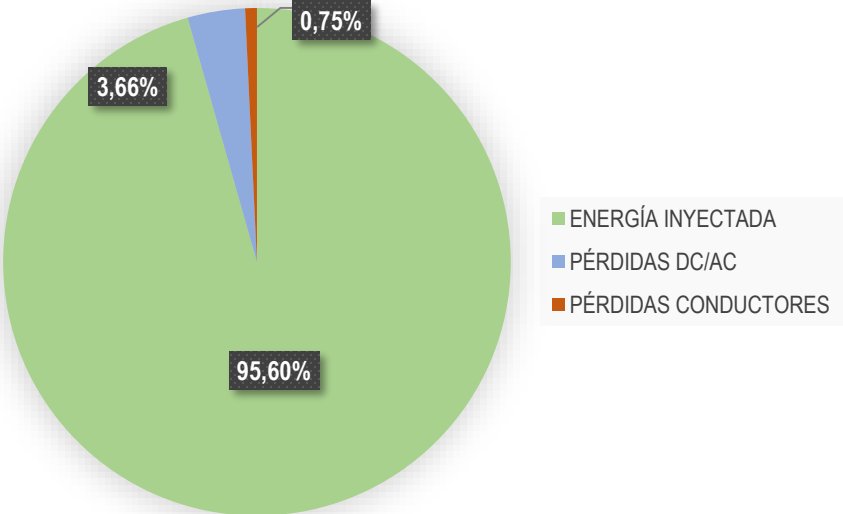
Tabla 30. Proyección de energía anual del sistema FV.

MES	GENERACIÓN [kWh/mes]	ENERGÍA SALIDA DEL MICRO [kWh/mes]	ENERGÍA INYECTADA [kWh/mes]	PÉRDIDAS DC/AC [kWh/mes]	PÉRDIDAS CONDUCTORES [kWh/mes]
ENERO	1495,09	1441,50	1430,43	53,59	11,07
FEBRERO	1474,00	1399,20	1386,00	74,80	13,20
MARZO	1582,77	1526,53	1514,13	56,24	12,40
ABRIL	1544,14	1490,14	1476,86	54,00	13,29
MAYO	1095,19	1056,66	1050,01	38,53	6,64
JUNIO	1052,57	1016,14	1010,14	36,43	6,00
JULIO	1436,19	1386,14	1374,63	50,04	11,51

MES	GENERACIÓN [kWh/mes]	ENERGÍA SALIDA DEL MICRO [kWh/mes]	ENERGÍA INYECTADA [kWh/mes]	PÉRDIDAS DC/AC [kWh/mes]	PÉRDIDAS CONDUCTORES [kWh/mes]
AGOSTO	1309,97	1263,91	1254,17	46,06	9,74
SEPTIEMBRE	1257,00	1212,86	1203,43	44,14	9,43
OCTUBRE	1397,66	1348,94	1337,87	48,71	11,07
NOVIEMBRE	1274,14	1228,71	1220,57	45,43	8,14
DICIEMBRE	1082,79	1045,59	1038,50	37,20	7,09
	GENERACIÓN [kWh/año]	ENERGÍA SALIDA DEL MICRO [kWh/año]	ENERGÍA INYECTADA [kWh/año]	PÉRDIDAS DC/AC [kWh/año]	PÉRDIDAS CONDUCTORES [kWh/año]
TOTAL	16001,50	15416,33	15296,74	585,17	119,59

En la Figura 39 se aprecia el porcentaje equivalente a las pérdidas en microinversores, conductores, y el porcentaje de energía inyectada a la red. Según estos resultados, el sistema FV tendría un 95,6% de eficiencia en este periodo, donde la mayor parte de pérdidas se debe a los microinversores con un 3,66% y solo el 0,75% representado por las pérdidas en los conductores

Figura 39. Porcentaje anual de energía inyectada y pérdidas del sistema FV



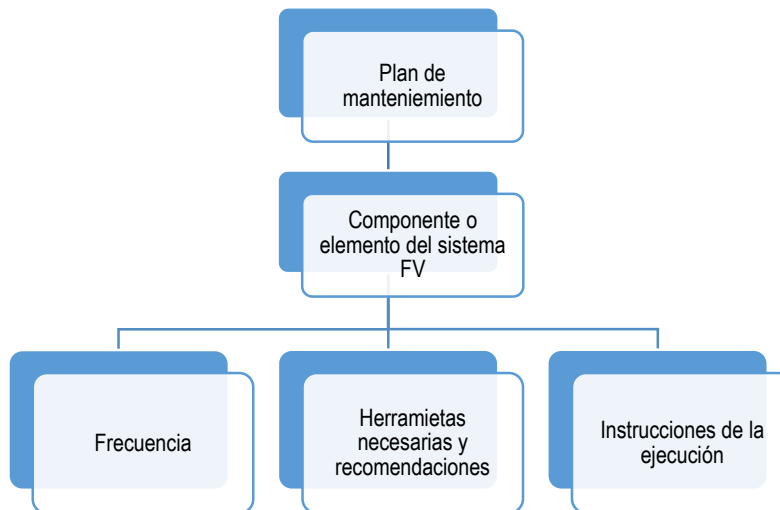
6. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA TERRAZA DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

El plan de mantenimiento se elabora con la función de prever, detectar daños y formular un documento que sirva de guía a los estudiantes o auxiliares que deban desempeñar labores de mantenimiento en las instalaciones FV del EIE.

Teniendo en cuenta los propósitos expuestos, se construyó el plan de mantenimiento con instrucciones basadas en los manuales de operación y mantenimiento de los equipos, y del análisis de posibles fallos en la instalación. También, se crearon herramientas de inspección, como plantillas, que facilitan la intervención y optimizan la actividad (Anexo D).

La intervención de cada equipo y elemento en el mantenimiento preventivo de la instalación FV, se divide en tres secciones, presentadas en la Figura 40 y desarrolladas en el Anexo D.

Figura 40. Desarrollo del plan de mantenimiento por cada elemento que compone el sistema FV



La Tabla 31 expone por cada elemento del sistema FV, los objetivos y frecuencia del mantenimiento.

Tabla 31. Objetivos del mantenimiento preventivo para el sistema FV de la terraza del EIE.

ELEMENTOS	FRECUENCIA	OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO
Paneles FV	2 - 3 meses	Mantener eficiencia en la producción e inyección de potencia
Microinversores	6 meses	Mantener conexión con los paneles y con el barraje, asegurando la inyección de potencia y buen funcionamiento del dispositivo
Envoy	6 meses	Corroborar la conectividad y envió de datos a la interfaz de Enlighten.
Ductos	6 meses	Mantener y examinar la impermeabilidad de los ductos con fin de proteger los conductores de agentes corrosivos y riesgo, como agua, humedad y tierra.

ELEMENTOS	FRECUENCIA	OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO
Conductores	6 meses	Preservar la integridad de los conductores, tal como es su aislamiento y empalmes.
Estructuras GRIPV 1, GRIPV 2 y seguidor	12 meses	Hacer seguimiento de la integridad física a la estructura en aluminio galvanizado, llevando control de la oxidación, ajuste de tuercas y la lubricación del sistema seguidor con motores.
Tableros eléctricos	6 meses	Revisar el estado de la estructura y conexión de conductores con los barrajes principales
Protecciones	6 meses	Reportar y registrar anomalías del estado de los dispositivos de protección
Puesta a tierra	6 meses	Mantener correctas conexiones con las estructuras y dispositivos que necesitan protección contra grandes descargas.

6.1 PLANTILLAS PARA REALIZAR EL MANTENIMIENTO DEL SFV

Para realizar una inspección eficiente en el mantenimiento del sistema FV, es de gran ayuda tener claros los procedimientos a realizar, por lo cual se diseñaron 8 plantillas que evalúan los componentes que se indican en la Tabla 23.

Las plantillas se elaboraron con el propósito de valorar el estado de los elementos y equipos de la instalación FV, de acuerdo a las actividades sugeridas en el instructivo de mantenimiento.

Tabla 32. Descripción de plantillas para mantenimiento del sistema FV de la terraza del edificio de ingeniería eléctrica.

PLANTILLA	ELEMENTO	TAREAS APLICADAS EN CADA PLANTILLA
1	Panel FV, microinversores y Envoy - GRIPV 1	Realizar limpieza general en paneles y microinversores. Comprobar la inyección correcta de potencia, a través del indicador led en microinversores.
2	Panel FV, microinversores y Envoy - GRIPV 2 y seguidor	Verificar la comunicación remota en tiempo real a través de la herramienta Enlighten, lo cual asegura el correcto funcionamiento del Envoy.
3	Antes – Después	Registrar observaciones generales del sistema FV e importantes hallazgos, haciendo contraste entre el antes y después de la intervención.
4	Conductores y ductos	Comprobar integridad, tal como es el desgaste del aislante en conductores, oxidación e impermeabilidad completa a lo largo de las canalizaciones.
5	Estructuras	Revisar el estado de cada una de las estructuras que componen los diferentes GRIPV; oxidación, ajuste de tuercas y lubricación del sistema móvil en el seguidor solar.
6	Protecciones	Comprobar el estado actual en fusibles y breakers, teniendo en cuenta que no existan agentes que puedan interferir cuando se activen.
7	Tablero	Mantener el interior de los gabinetes en completa pulcritud, perfecta conexión de conductores a los barrajes principales y revisar a partir de medidas las tensiones de línea y fase; corrientes de línea, neutro y tierra; desbalance y resistencia de aislamiento.
8	Puesta a tierra	Asegurar la conexión de los conductores a tierra en el barraje principal y con todos los elementos expuestos a descargas eléctricas como son las estructuras de los GRIPV, marcos metálicos de los paneles y la tierra perteneciente a cada acometida.

6.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN EN EL EIE

Durante el primer semestre de 2018, se realizaron las intervenciones en el orden cronológico ilustrado en la Figura 41. Adicionalmente, se presentan los principales hallazgos en cada actividad con la fecha respectiva en la Tabla 33.

Dichos mantenimientos se registraron en las plantillas, y fueron clasificadas de acuerdo a la labor ejecutada en un folder A-Z. Allí se puede consultar las evidencias fotográficas de los elementos intervenidos; en qué fecha fue la intervención; las observaciones del estado en el cual se encontraban y la evaluación de resultados luego de la intervención.

Figura 41. Línea del tiempo de los mantenimientos realizados



Tabla 33. Reporte de hallazgos de mantenimientos preventivos ejecutados.

FECHA	ACTIVIDAD	HALLAZGOS
6-7 de Febrero	Limpieza de Paneles FV	El icopor usado entre paneles FV, aunque impermeabilizaba la zona del cultivo, soltaba partículas que se adherían en la superficie de los paneles. Se halló presencia de sustancias grasosas sobre la superficie de algunos de los paneles del GRIPV#1 que fueron irremovibles.

FECHA	ACTIVIDAD	HALLAZGOS
		La actividad tuvo que desarrollarse con cuidado debido que los instrumentos de limpieza no eran los adecuados, la espuma de la escobilla estaba deteriorada representando un riesgo para la superficie de los paneles FV.
22 de Marzo	Limpieza de Paneles	<p>Por causa de los trabajos de horticultura se realizó una nueva limpieza, con mejores resultados, debido a la adquisición de nuevos elementos de limpieza (escobillas, paños de micro fibra, guantes y jabón de PH neutro).</p> <p>La sustancia grasosa fue irremovible y el icopor continuaba con el desprendimiento de partículas sobre los paneles haciendo que los mismos se ensuciaran con mayor rapidez.</p>
4 de Abril	Mantenimiento General	<p>El sistema en su mayoría se encontraba en buen estado, solo se hallaron y fue necesaria la remoción de suciedad, telarañas, tierra, y otras partículas en los microinversores, las estructuras e interior de gabinetes.</p> <p>Las protecciones estaban en perfectas condiciones.</p> <p>Se reemplazó un empalme mal asegurado en la unidad seguidora.</p> <p>Conductores y ductos estaban en perfecto estado a excepción de un conductor a tierra, ya que una pequeña sección estaba desnuda y oxidada.</p> <p>El espacio entre paneles fue cubierto con láminas de plástico.</p>

Los sistemas fotovoltaicos no requieren de gran intervención en mantenimiento³¹, así lo evidencia la valoración en el mantenimiento general, pues todos los componentes se encontraban en buenas condiciones debido a que la instalación fue realizada recientemente.

³¹ DELGADO RUIZ, Fernando; CAMPOS FERNÁNDEZ, Manuel. Manual de mantenimiento - Planta solar fotovoltaica de 500kW sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla. Universidad de Sevilla, 2017

Este conjunto de tareas preventivas, se realizaron con la intención de mantener un correcto funcionamiento, alargar al máximo la vida útil del sistema fotovoltaico y revelar posibles fallas a futuro que resulten en costosas pérdidas de equipos o reparaciones.

En instalaciones fotovoltaicas conectados a la red, como el caso de la instalación en el Edificio de Ingeniería Eléctrica, los paneles FV son los que requieren mayor mantenimiento, en términos de frecuencia, pues la producción de potencia y eficiencia se ve disminuida debido a la continua acumulación de capas de polvo y obstrucción de radiación solar a causa de cualquier tipo de objeto y/o sustancias sobre la superficie.

7. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo de grado permitió describir de forma técnica la instalación y operación en estado estable del sistema FV del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Asimismo, establecer el impacto de la generación FV en la demanda eléctrica de la edificación. Del cumplimiento de los 4 objetivos específicos evidenciados en los capítulos 2, 3, 4 y 5 se concluyó lo siguiente:

- Determinar la arquitectura actualizada de cualquier tipo de red eléctrica es muy importante, ya que es la representación gráfica de las ubicaciones y características de los diferentes equipos y dispositivos que conforman la instalación eléctrica. El levantamiento eléctrico del sistema FV del EIE permite identificar características propias de los GRIPV e instalación en general, a partir de un inventario de los equipos y la elaboración de diagramas unifilares que ayudan a optimizar los tiempos de ejecución y entrega de trabajos futuros.
- Se caracterizó el consumo energético del EIE, el cual evidencia estar directamente ligado a la actividad académica y administrativa dentro de la edificación. Dicho comportamiento se representó en 3 curvas.

La curva entre semana revela las horas donde se concentra mayor consumo de energía por jornada, en la mañana corresponde al intervalo de 8:30 a 11:40 y en la tarde de 16:00 a 18:00, en este último se presenta la demanda máxima (24,68 kW). El consumo promedio diario corresponde a 340 kWh.

Los sábados, cuentan con máximo consumo en horas de la mañana (08:00-12:00), por cursos extracurriculares, clases de maestría y especializaciones. Mientras en la tarde el consumo se mantiene cerca de la demanda promedio (238,442 kWh).

Los domingos no hay ningún tipo de actividad en el Edificio, por lo cual se mantiene oscilante cerca de un valor constante de demanda promedio durante todo el día (172,422kWh).

- Durante el periodo de estudio (14 de febrero-14 de abril) el aporte de la generación FV oscila entre el 7,81 % y el 30,48 % de la demanda eléctrica del EIE. El rango de estos aportes se debe principalmente a la volatilidad de las condiciones ambientales (radiación solar y temperatura).
- De acuerdo a la proyección anual, el consumo actual del EIE aumento un 33 % (60.000 kWh/año a 100.000 kWh/año) debido principalmente a la integración de A.A. en los racks, los cuales demandan continuamente una cantidad significativa de energía.
- El script GRP_SFV desarrollado en Matlab permite hacer estimaciones de la potencia inyectada, regulación de tensión y pérdidas de la instalación FV a partir de variables según las condiciones climáticas como la irradiación solar y la temperatura ambiente.

A través del Script GRP_SFV se verificó que los conductores en las acometidas cumplen los límites técnicos en regulación de tensión. Se describieron los cálculos por acometidas y se validaron con la normativa de la ESSA según el Numeral 2.1.4, de tal forma se garantiza la seguridad de las personas y de la instalación.

Asimismo, se realizó la estimación anual de la generación del sistema FV a partir de simulaciones, obteniendo 15296,74 kWh de energía en el punto de inyección. Según la evaluación de resultados el sistema se comporta con una elevada eficiencia de 95,6%, pues las pérdidas asociadas a microinversores y por efecto Joule en los conductores presentaron valores de 585,17 kWh y 119,59 kWh, correspondientes al 4,4% de la potencia generada a la salida de los paneles. Se

debe señalar que los resultados de generación diaria obtenidos, presentan errores porcentuales por debajo de 4% respecto a los expuestos en la plataforma online Enlighten. Esto evidencia la buena estimación de las variables en cuestión y la posible utilización del Script en la proyección de energía generada por el sistema de generación FV del EIE.

- Se elaboró un plan de mantenimiento preventivo con la frecuencia, recomendaciones, herramientas e instrucciones, con el cual se evaluó el estado de los elementos y equipos del sistema de generación fotovoltaico, encontrando la mayoría de ellos en buen estado, exceptuando dos paneles del GRIPV1 con una sustancia grasosa adherida a la superficie.

BIBLIOGRAFÍA

BANYERAS, Luís Jutglar. Energía Solar. In Energía Solar, 1st ed., Barcelona, España: Ceac, 2004, p. 22.

CANADIAN SOLAR (USA) INC. PV Module Product Datasheet. 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/na/Canadian_Solar-Datasheet-CS6PP-SmartDC_v5.4_na.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018].

CENNELSA S.A. RETIE: Regulación de tensión en instalaciones eléctricas. in RETIE: Regulación de tensión en instalaciones eléctricas, Colombia, 2005, p. 8.

DELGADO RUIZ, Fernando; CAMPOS FERNÁNDEZ, Manuel. Manual de mantenimiento - Planta solar fotovoltaica de 500kW sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla. Universidad de Sevilla, 2017.

ECO TECH SOLUTIONS. Sistema interconectado a la RED o 'GRID-TIED. [En línea]. Disponible en: <https://ecotechgeccai.wordpress.com/sistema-interconectado-a-la-red-o-grid-tied/>. [Fecha de consulta: 02-Apr-2018].

EL OFICIAL. Mantenimiento de estructuras metálicas. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.eloficial.ec/mantenimiento-de-estructuras-metalicas/>. [Fecha de consulta: 20-Jul-2018].

ELECTRICAPLICADA. Como realizar mantenimiento a los interruptores eléctricos en baja tensión. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.electricaplicada.com/como-realizar-mantenimiento-a-los-interruptores->

electricos-en-baja-tension/. [Fecha de consulta: 01-Jul-2018].

ENPHASE ENERGY INC. Data Sheet Enphase Microinverters M250. 2017. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/M250_DS_EN_60Hz.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018].

_____. Enlighten y aplicaciones. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/enlighten-y-aplicaciones>. [Fecha de consulta: 29-Jan-2018].

_____. Envoy Communications Gateway Installation and Operation Manual. Petaluma, EE.UU: Enphase Energy Inc, 2015.

_____. Envoy Communications Gateway. 2015. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/Envoy_DS_EN_60Hz.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jan-2018].

_____. Technical Brief - Power Line Filter Solutions for Single-Phase Applications. 2016. [En línea]. Disponible en: https://enphase.com/sites/default/files/Power_Line_Filter_Single-Phase_TechBrief.pdf. [Fecha de consulta: 06-Mar-2018].

_____. Manual de instalación y funcionamiento - Microinversores Enphase M250 y M215. Petaluma, EE.UU: Enphase Energy Inc, 2016.

FEMINA, Nicola; PETRONE, Giovanni; SPAGNUOLO, Giovanni. Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaics Systems. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013

FERNÁNDEZ BARRERA, Manuel. Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica. in Energía Solar: Electricidad Fotovoltaica, Madrid. España: Liberfactory, 2010, p. 17.

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Kelly Alexandra; CARRILLO CRUZ, Johan Sebastian. Análisis de la curva de demanda eléctrica para usuarios residenciales estrato 4 en la ciudad de Bogotá ante diferentes escenarios de los hábitos de consumo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.

HONSBURG, Christiana; BOWDEN, Stuart. Mismatch Effects. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules/mismatch-effects>. [Fecha de consulta: 06-Mar-2018].

MAGGI SILVA, Sebastián Andres. Modelamiento térmico de un panel fotovoltaico con disipador de calor operando en el Norte De Chile. Universidad de Chile, 2010.

MÉNDEZ MUÑIZ, Javier María; CUERVO GARCÍA, Rafael. Energía Solar Fotovoltaica. In Energía Solar Fotovoltaica, 2 Ed., Madrid. España: FC Editorial. Fundación Confemetal, 2007, pp. 28–29.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE 2013. 2013, pp. 117–118.

MIRANDA GUERRA, Jota Mario; TAMAYO ARGÜELLO, Jhon Jaime; BARRIOS SÁNCHEZ, Jorge Manuel. Diseño e implementación de la estrategia de movimiento para una unidad experimental de seguimiento solar con dos grados de libertad aplicado a generación fotovoltaica. Universidad Industrial de Santander, 2016.

OSMA PINTO, Germán Alfonso; ORDÓÑEZ PLATA, Gabriel. Piloto de Edificación Verde como laboratorio vivo en la Universidad Industrial De Santander. in World Engineering Education Forum (WEEF), Cartagena, 2013, p. 9.

RANGEL URREA, Walter. Aplicación de la irradiación gamma. [En línea]. Disponible en: [http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Aplicacion de la irradiacion.pdf](http://inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Aplicacion%20de%20la%20irradiacion.pdf). [Fecha de consulta: 04-Apr-2017].

RUFES MARTINEZ, Pedro. Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento. in Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento, 1st ed., Barcelona, España: Marcombo, 2010, pp. 17–18.

S.L OPEXENERGY OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas. [En línea]. Disponible en: http://opex-energy.com/fotovoltaica/mantenimiento_fotovoltaico.html. [Fecha de consulta: 26-Jan-2018].

TAMES, Eliseo Sebastian. Radiacion solar, irradiancia, insolación. 2018. [En línea]. Disponible en: <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>. [Fecha de consulta: 02-Apr-2018].

TRINA SOLAR LIMITED. Manual de usuario. Trina solar Ltd, 2008.

_____. The Allmax Module. 2016. [En línea]. Disponible en: http://exelsolar.com/Documentos/Productos/TSM-270PT_DocumentoTecnico.pdf. [Fecha de consulta: 24-Jun-2018].

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados. Ingeniería, vol. 20, no. 2, pp. XX–XX, 2015.

UP SOLAR. Polycrystalline PV module 60 cells. 6” Black Series. 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.solar-voltaics.com/wp-content/uploads/brand-datasheets/Upsolar_M250P-B_Datasheet--Solar-Voltaics-201506.pdf. [Fecha de

consulta: 24-Jan-2018].

VERGARA-BARRIOS, Pedro Pablo; REY-LÓPEZ, Juan Manuel; OSMA-PINTO, Germán Alfonso; ORDÓÑEZ-PLATA, Gabriel. Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Revista UIS Ingenierías, vol. 13, pp. 49–57, 2014.

WOODFORD, Chris. Solar Cells. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.explainthatstuff.com/solarcells.html>. [Fecha de consulta: 24-Jun-2018].

XM. Históricos de demanda. Curva de demanda promedio en Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/historico-de-demanda.aspx>. [Fecha de consulta: 01-Jul-2018].

ANEXOS

ANEXO A. Plano unifilar del sistema de generación fotovoltaico de la terraza del edificio de ingeniería eléctrica

El Anexo A está en formato DWG, contiene los unifilares de cada GRIPV y tableros de distribución que hacen parte del sistema de generación fotovoltaico del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander (“SISTEMA FV DEL EIE”). Asimismo, el plano donde se muestra el punto de conexión del sistema FV con la red de BT del EIE (“UNIFILAR DEL EIE”).

ANEXO B. Libro de Excel para análisis de demanda y generación

Los datos entregados por los diferentes medidores de potencia, se organizaron en dos libros de Excel para realizar los análisis de la demanda y generación del sistema fotovoltaico en el EIE, presentados en el Capítulo 4.

En las tablas A4 y A5, se describe el contenido de las hojas de cálculo usadas en cada libro.

Tabla B1. Descripción del contenido en el libro de Excel “ANALISIS_DE_LA_DEMANDA”.

LIBRO “ANÁLISIS_DE_LA_DEMANDA”	
HOJAS DE CÁLCULO	DESCRIPCIÓN
ACTIVA 14 FEB - 14 ABRIL	Contiene los datos objeto de estudio (Potencia activa), tomados entre el 14 de febrero y 14 de abril, los cuales pertenecen a la demanda del EIE. Se encuentran ordenados por fecha y hora, con frecuencia de 10 minutos.
LUNES, MARTES, MIÉRCOLES, JUEVES, VIERNES, SÁBADO, DOMINGO	Se clasificaron los datos de las fechas correspondientes a cada día de la semana (144 datos por día), los cuales fueron seleccionados de “ACTIVA 14 FEB-14 ABRIL” e identificando con colores los que correspondían a días festivos.
PROM POR DÍAS	Se presentan una serie de columnas nombradas con los días de la semana. Contienen el cálculo del promedio de las fechas identificadas en las hojas LUNES, MARTES, MIÉRCOLES, JUEVES, VIERNES, SÁBADO, DOMINGO. Finalmente, en las tres últimas columnas se hallaron los datos usados para la construcción de las curvas características de la demanda, graficadas al final de la lista de datos.
PARÁMETROS CURVA DEMANDA	Se encuentran en tablas las principales características de cada una de las curvas, el promedio de demanda, el valor máximo y mínimo de potencia durante el día. Identificando las horas en las cuales se presentaron.
CONSUMO DIARIO	En esta hoja, se asocia a cada fecha la cantidad de energía consumida durante el día, haciendo posible ver la tendencia que caracteriza el

LIBRO "ANÁLISIS_DE_LA_DEMANDA"	
HOJAS DE CÁLCULO	DESCRIPCIÓN
	comportamiento de la demanda en el EIE, evidenciado gráficamente con el diagrama de barras.
CLASIFICACIÓN SEGÚN TIPO DE DEMANDA	Se expone una tabla, en la cual se ordenaron los periodos de receso y actividad académica. Fue calculado el número de días según la clasificación de la demanda tipo y adicionalmente, se calcularon los datos característicos para la demanda proyectada en un año.

Tabla B2. Descripción del contenido en el libro de Excel "GENERACIÓN".

LIBRO "GENERACIÓN"	
HOJAS DE CÁLCULO	DESCRIPCIÓN
ACTIVA 14 FEB - 14 ABRIL	Contiene los datos objeto de estudio (potencia activa), tomados entre el 14 de febrero y 14 de abril, los cuales pertenecen a la potencia generada por el sistema FV. Se encuentran ordenados por fecha y hora, con frecuencia de 10 minutos.
LUNES, MARTES, MIÉRCOLES, JUEVES, VIERNES, SÁBADO, DOMINGO	Se clasificaron los datos de las fechas correspondientes a cada día de la semana (144 datos por día), los cuales fueron seleccionados de "ACTIVA 14 FEB-14 ABRIL" e identificando con colores los que correspondían a días festivos.
CONSUMO DIARIO	Por columna se clasifico la generación diaria y el consumo diario de potencia, de tal forma hallar el aporte en kW y porcentaje del sistema fotovoltaico a la demanda del edificio

ANEXO C. SCRIPT GRP_SFV

Las expresiones utilizadas y las líneas de código desarrollado se presentan a continuación

a) POTENCIA GENERADA DEL SISTEMA FV DEL EIE

Para estimar la generación del sistema FV, se empleó como expresión base la eficiencia eléctrica del panel solar, la cual relaciona la potencia eléctrica generada versus la cantidad de energía solar incidente sobre la superficie del mismo (Ecuación C.1). Sin embargo, también se adiciono la influencia de la temperatura de operación en el rendimiento del sistema FV, pues, aunque las características técnicas de un panel están dadas para 25°C, temperatura estándar, lo esperado es que el panel FV opere por encima de este valor.

Las expresiones nombradas se definen matemáticamente así[32]:

Eficiencia eléctrica de un panel FV³².

$$\eta_{panel} = \frac{P_{g'}}{G * A} \longrightarrow P_{g'} = A * G * \eta_{panel} \quad (C.1)$$

A : Área superficial del panel [m²]

G : Radiación solar incidente [W/m²]

P_{g'} : Potencia eléctrica generada[W]

³²P_{g'}: Potencia generada de un panel FV sin considerar efectos térmicos “modelo estático”.

Relación de la potencia generada y temperatura de operación de la celda.

$$P_g = P_{g'} \left(1 - \frac{\gamma}{100} (T_{celda} - 25) \right) \quad (C.2)$$

T_{celda} : Temperatura de la celda [°C]

γ : Coeficiente térmico de potencia [%/°C]

P_g : Potencia generada por el panel FV [W]

Reemplazando la ecuación C.1 en la C.2, se obtiene la expresión 5.3 usada en el script para estimar generación en DC del sistema FV.

Potencia eléctrica generada del sistema FV considerando temperatura de operación.

$$P_g = A * G * \eta_{panel} * \beta \quad (C.3)$$

Donde β y la temperatura de la celda son determinadas por C.4 y C.5 respectivamente [33].

$$\beta = \left(1 - \frac{\gamma}{100} (T_{celda} - 25) \right) \quad (C.4)$$

$$T_{celda} = T_a + G * \frac{(TONC-20)}{800} \quad (C.5)$$

T_a : Temperatura ambiente [°C]

$TONC$: Temperatura de operación nominal de la celda [°C]

El coeficiente térmico de potencia " γ ", indica la disminución de potencia porcentual del panel por cada °C superior a la temperatura estándar, este valor varía según el fabricante y oscila entre el 0.4 %/°C y 0.5 %/°C.

Los datos propios de los dispositivos fueron extraídos de las respectivas hojas de datos y están Anexos en las tablas 3 y 4 del Capítulo 2, mientras la información de la irradiación solar y temperatura ambiente fue tomada de la estación meteorológica instalada en la cubierta verde del sexto nivel del EIE.

b) PÉRDIDAS DE POTENCIA DEL SISTEMA FV

Debido a la eficiencia del microinversor y efecto joule en los conductores, la potencia generada por los paneles se ve aminorada en el trayecto hasta el tablero de distribución, por lo cual se cuantificó esta pérdida de potencia y energía, hasta el punto de conexión común.

Las pérdidas totales en el sistema de generación FV se ilustran en la Figura A.13 y está representada matemáticamente por la siguiente expresión:

Pérdidas de potencia del sistema FV

$$P_{P_StmaFV} = P_{P_condDC} + P_{P_Micro} + P_{Cu_acometidas} \quad [W] \quad (C.5)$$

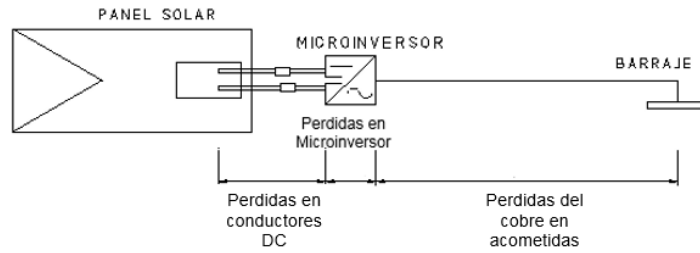
P_{P_StmaFV} : Pérdidas del Sistema FV

P_{P_condDC} : Pérdidas DC en conductores

P_{P_Micro} : Pérdidas del Microinversor, conversión DC/AC

$P_{Cu_acometidas}$: Pérdidas del cobre en acometidas

Figura C1. Pérdidas de potencia por tramos en el sistema FV de la terraza del EIE



Las pérdidas asociadas al conductor entre panel y microinversor se consideraron despreciables, pues el tramo recorrido es de aproximadamente un metro, por dicha razón no fueron incluidas en el script.

Por último, las pérdidas del cobre en los conductores dependen de la longitud, hasta el punto de conexión común y el tipo de conexión, si es bifásica o trifásica. Las longitudes de los conductores están descritas en las tablas 6 y 7 del Capítulo 2. Las expresiones usadas se presentan a continuación.

Potencia de salida del microinversor y pérdidas en conversión DC/AC.

$$\eta_{micro} = \frac{P_{Out_micro}}{P_{g_panel}} \longrightarrow P_{Out_micro} = \eta_{micro} * P_g \quad (C.6)$$

$$P_{P_Micro} = P_g - P_{Out_micro} \quad (C.7)$$

P_{Out_micro} : Potencia a la salida del microinversor [W]

η_{micro} : Eficiencia del microinversor

P_g : Potencia generada por el panel [W]

P_{P_Micro} : Pérdidas de potencia transformación DC/AC [W]

Pérdidas de potencia por efecto joule en las acometidas.

$$P_{P3\phi_condAC} = 3 * (I^2 * R * l * 10^{-3}) \quad (C.8)$$

$$P_{P2\phi_condAC} = 2 * (I^2 * R * l * 10^{-3}) \quad (C.9)$$

$P_{P3\phi_condAC}$: Pérdidas del cobre en acometidas trifásicas [W]

$P_{P2\phi_condAC}$: Pérdidas del cobre en acometidas bifásicas [W]

I : Corriente en la acometida [A]

R : Resistencia del conductor [Ω/km]

l : Longitud de la acometida [m]

Inyección de potencia.

$$P_{In} = P_{Out_{micro}} - P_{Cu_acometidas} \quad (C.10)$$

P_{In} : Potencia inyectada al punto de conexión comun [W]

$P_{P_{Cu_acometidas}}$: Pérdidas del cobre de acometidas [W]

Porcentaje de pérdidas

$$P_{p\%} = \frac{P_{P_Micro} + P_{cu_{condAC}}}{P_g} * 100\% \quad (C.11)$$

$P_{p\%}$: Porcentaje de perdidas [%]

$P_{cu_{condAC}}$: Pérdidas del cobre de acometidas [W]

c) REGULACIÓN DE TENSIÓN

La caída porcentual de tensión fue calculada para las acometidas con la ecuación 2.4, mencionada en la sección 2.8 del marco teórico.

d) CÓDIGO

```
clc, clear all
fprintf '
                                UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER\n                ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICO DEL EDIFICIO DE INGENIERIA ELÉCTRICA\n'
fprintf '\n'
fprintf '\nAUTORES: CARLOS ARTURO PÁEZ RICO'
fprintf '\n                CESAR AUGUSTO ROJAS SILVA'
fprintf '\n                DIRECTOR:DR.GERMAN ALFONSO OSMA PINTO'
fprintf '\n\n'
fprintf '
                                ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA INYECTADA,
REGULACIÓN Y PÉRDIDAS DEL SISTEMA FV DEL EIE'
fprintf '\n\n'
disp('Este programa estima la inyección de potencia del sistema FV del
EIE, las pérdidas de energía en conductores y la regulación ')
disp('de tensión en las acometidas según el nivel de irradiación solar y
temperatura de operación de los paneles FV.')
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
PARÁMETROS DE LOS DISPOSITIVOS%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
AREAS PANELES m2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
CANADIAN SOLAR, UP SOLAR, TRINA SOLAR%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
AC=1638*982*10^-6 ;
AU=1640*992*10^-6 ;
AT=1650*992*10^-6 ;
%%EFICIENCIA PANELES
Eu=0.154;
Et=0.165;
Ec=0.1585;
%%EFICIENCIA MICROINVERSOR
Em=0.965;
vf=240;
vl=208;
fpm=0.95;
%%NOCT--TEMPERATURA NOMINAL DE LA CELULA °C
Noc=47;
Nou=47;
Not=46;
%%Z EFECTIVA OHM/m%%
r=10.2;
fprintf '\n'
disp('Nota: Para hacer la estimación a partir de datos diarios debe
adjuntar los datos de temperatura')
disp('                ambiente e irradiancia solar en el archivo Excel
IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA')
```

```

fprintf '\n'
C=input('¿DESEA HACER ESTIMACIONES A PARTIR DE DATOS DIARIOS?  Sí=1 NO=2: ');
if C==1
I =xlsread('IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA','Hoja1','C:C');
T =xlsread('IRRADIANCIA_TEMPERATURA_DIARIA','Hoja1','B:B');
k=I;
I(I>1000)=1000;
fprintf '\n'
j=input('FRECUENCIA CON LA QUE SE ADJUNTARON LOS DATOS EN [MIN]: ');
t = duration(0,0:j:1435,0);
%%ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN%%%%%%%%
fprintf '\n'
G=input('GRIPV A ESTIMAR ENERGÍA INYECTADA.
GRIPV#1=1,GRIPV#2=2,GRIPV#SEGUIDOR=3,SFV=4: ');
if G==1
%%PARÁMETROS GRIPV1%%%%%%%%
%%NÚMERO DE PANELES
lg=13.4;
NC=10;
NU=3;
NT=5;
end
if G==2
%%%%%%%%PARÁMETROS GRIPV#2%%%%%%%%
%%NÚMERO DE PANELES
lg=12.2;
NC=10;
NU=0;
NT=8;
end
if G==3
%%%%%%%%PARÁMETROS GRIPV-S%%%%%%%%
%%NÚMERO DE PANELES
lg=28;
NC=0;
NU=1;
NT=0;
end
if G==4
%%%%%%%%PARÁMETROS SFV%%%%%%%%
%%NÚMERO DE PANELES
lg=18;
NC=20;
NU=4;
NT=13;
end
%%IMPRESIÓN DE DATOS%%%%%%%%
NP=NC+NU+NT;
fprintf '\n'
disp ('TOTAL DE PANELES FV')
disp(NP)
disp('CANTIDAD DE PANELES CANADIAN SOLAR')
disp(NC)

```

```

disp('CANTIDAD DE PANELES UP SOLAR')
disp(NU)
disp('CANTIDAD DE PANELES TRINA SOLAR')
disp(NT)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%AREA Y GENERACIÓN
A=NC*AC+NU*AU+NT*AT;
%%TEMPERATURA DE OPERACIÓN
Tc=T+I*(Noc-20)/800;
Tu=T+I*(Nou-20)/800;
Tt=T+I*(Not-20)/800;
%%DELTA DE TEMPERATURA
Dc=Tc-25;
Dc(Dc<0)=0;
Du=Tu-25;
Du(Du<0)=0;
Dt=Tt-25;
Dt(Dt<0)=0;
%%PÉRDIDAS DE POTENCIA POR TEMPERATURA
Bc=(1-0.0041*Dc);
Bu=(1-0.0043*Du);
Bt=(1-0.005*Dt);
%%GENERACIÓN POR MARCA DE PANEL CON AFECTACIÓN DE TEMPERATURA
Gen_pu=I*Eu*NU*AU.*Bu;
Gen_pt=I*Et*NT*AT.*Bt;
Gen_pc=I*Ec*NC*AC.*Bc;
%%GENERACIÓN TOTAL EN CC kWh/DIA
Gen_p=Gen_pu+Gen_pt+Gen_pc;
TG=sum(Gen_p)*j/(60*10^3);
%%GENERACIÓN SIN AFECTACIÓN DE TEMPERATURA
Gen_i=Gen_pu./Bu+Gen_pt./Bt+Gen_pc./Bc;
Gi=sum(Gen_i)*j/(60*10^3);
%%POTENCIA A LA SALIDAD DEL MICRO kWh/DIA
Gen_m=Gen_p*Em;
Tm=sum(Gen_m)*j/(60*10^3);
%%GENERACIÓN TOTAL SALIDA DEL MICRO EN AC
Gen_AC=Gen_p*Em/fpm;
TA=sum(Gen_AC)*j/(60*10^3);
%%PÉRDIDAS
Ii3=27/37*Gen_AC/(sqrt(3)*208);
Ii2=10/37*Gen_AC/240;
pp3=(Ii3.^2)*(r*lg*10^-3);
pp2=(Ii2.^2)*(r*lg*10^-3);
pp=pp3+pp2;
%%ENERGIA INYECTADA kWh/DIA
PI=Gen_m-pp;
Ti=sum(PI)*j/(60*10^3);
%%DATOS IRRADIANCIA
M=max(k);
m=min(k);
disp('MÁXIMA IRRADIANCIA SOLAR DEL DÍA [W/m^2]')
disp(M)
%%DATOS DE TEMPERATURA
Mt=max(T);

```

```

mt=min(T);
disp('MÁXIMA TEMPERATURA AMBIENTE DEL DÍA [°C]')
disp(Mt)
disp('MÍNIMA TEMPERATURA AMBIENTE DEL DÍA [°C]')
disp(mt)
%%CALCULO DEL AREA
disp('ÁREA OCUPADA POR LOS PANELES FV [m^2]')
disp(A)
fprintf('GENERACIÓN IDEAL DE LOS PANELES FV [kWh/día] :\n %6.1f\n',Gi)
fprintf('\nGENERACIÓN DE LOS PANELES FV CONSIDERANDO EFECTO TERMICO
[kWh/día] :\n %6.1f\n',TG)
fprintf('\nENERGÍA ESTIMADA A LA SALIDA DEL MICROINVERSOR [kWh/día] :\n
%6.1f\n',Tm)
fprintf('\nENERGÍA INYECTADA AL PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN (BARRAJE)
[kWh/día] :\n %6.1f\n',Ti)
%%GRAFICAS GENERACIÓN E IRRADIANCIA
fprintf '\n'
k=input('OBTENER CURVAS IRRADIANCIA,GENERACIÓN Y TEMPERATURA. SÍ=1,NO=2:
');
if k==1
%%GRAF.IRRADIANCIA
subplot(3,1,1)
plot(t,I,'r')
grid on
title 'IRRADIANCIA SOLAR'
xlabel 'Tiempo [h]'
ylabel 'W/m^2'
%% GRAF. TEMPERATURA
subplot(3,1,2)
plot(t,T,'g')
grid on
title ' TEMPERATURA AMBIENTE'
xlabel 'Tiempo [h]'
ylabel '°C'
%% GRAF. TEMPERATURA OPERACIÓN PANELES
subplot(3,1,3)
plot(t,Tc)
grid on
title 'TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LOS PANELES FV'
xlabel 'Tiempo [h]'
ylabel '°C'
hold on
plot(t,Tu)
hold on
plot(t,Tt)
legend('TEMPERATURA CANADIAN SOLAR','TEMPERATURA UP SOLAR','TEMPERATURA
TRINASOLAR')
figure(2)
%% GRAF. GENERACION EN CC
subplot(3,1,1)
plot(t,Gen_i)
grid on
title 'GENERACIÓN PANELES FV'
xlabel 'Tiempo [h]'

```

```

ylabel 'W'
hold on
plot(t,Gen_p)
legend('GENERACIÓN IDEAL','GENERACIÓN CONSIDERANDO EFECTO TERMICO')
%%% GRAF. SALIDA DEL MICROINVERSOR
subplot(3,1,2)
plot(t,Gen_m,'g')
grid on
title 'POTENCIA DE SALIDA AC'
xlabel 'Tiempo [h]'
ylabel 'W'
%%% GRAF. POTENCIA INYECTADA
subplot(3,1,3)
plot(t,PI,'k')
grid on
title 'POTENCIA INYECTADA'
xlabel 'Tiempo [h]'
ylabel 'W'
end
fprintf '\n'
re=input('OBTENER VALOR DE GENERACIÓN PARA CADA INTERVALO SI=1 NO=2: ');
if re==1
fprintf '\n'
n={'HORA','GENERACION_DC_W','Pout_MICROINVERSOR_W','PER_Cu_W','P_INYECTAD
A_W'};
tbl = table(t',Gen_p,Gen_m,pp,PI,'VariableNames',n);
disp(tbl)
% nTer=
{'HORA','T_amb','T_Can','T_UP','T_Tri','Afec_Can','Afec_UP','Afec_Trina',
'Gen_ideal','Gen_Real'};
% Ter = table(t',T,Tc,Tu,Tt,Bc,Bu,Bt,Gen_i,Gen_p,'VariableNames',nTer);
% disp(Ter)
end
end
fprintf '\n'
a=input('CALCULAR GENERACIÓN, PÉRDIDAS Y REGULACIÓN DE TENSIÓN POR
ACOMETIDA SI=1 NO=2: ');
if a==1
if C==1
fprintf '\n'
e=input('CALCULAR REGULACIÓN Y PÉRDIDAS PARA MÁXIMA IRRADIANCIA Y
TEMPERATURA REGISTRADA SI=1 NO=2: ');
if e==1
Mi=M;
Ta=Mt;
end
end
if a==1 && C==2 || a==1 && e==2
fprintf '\n'
d=input('DIGITE LA IRRADIANCIA EN W/m^2: ');
fprintf '\n'
Tm=input('DIGITE LA TEMPERATURA AMBIENTE EN °C: ');
Mi=d;
Ta=Tm;

```

```

end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% GENERACIÓN POR
ACOMETIDA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf '\n'
p=input('PARA GRIPV#1=1 GRIPV#2=2 GRIPV#SEGUIDOR=3 SFV=4: ');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CALCULO TEMPERATURA DE OPERACIÓN POR PANELES%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%RESTRICCIÓN MAX POTENCIA PICO
if Mi>1000
    Mi=1000;
end
%%TEMPERATURA DE OPERACIÓN
Toc=Ta+Mi*(Noc-20)/800;
Tou=Ta+Mi*(Nou-20)/800;
Tot=Ta+Mi*(Not-20)/800;
%%DELTA DE TEMPERATURA
dc=Toc-25;
if dc<0
    dc=0;
end
du=Tou-25;
if du<0
    du=0;
end
dt=Tot-25;
if dt<0
    dt=0;
end
%%PÉRDIDAS DE POTENCIA POR TEMPERATURA
bc=(1-0.0041*dc);
bu=(1-0.0043*du);
bt=(1-0.005*dt);
fprintf '
SISTEMA FV EIE '
fprintf '\n'
if p==1 || p==4
fprintf '                                     GRIPV#1 '
fprintf '\n'
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% ACOMETIDA 1%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
l1=15.3;
NC1=3;
NU1=0;
NT1=0;
N1=NC1+NU1+NT1;
G1w=Mi*Ec*NC1*AC*bc+Mi*Eu*NU1*AU*bu+Mi*Et*NT1*AT*bt;
G1=G1w*Em/fpm;
I1=G1/(sqrt(3)*v1);
%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 1
Pm1=G1w*(1-Em);
Pcu1=3*(I1^2)*(r*l1*10^-3);
Rv1=(r*I1*sqrt(3)*l1*10^-3/v1)*100;
Pt1=Pm1+Pcu1;
Pp1=(Pt1/G1w)*100;
%% ACOMETIDA 2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

l2=13.4;
NC2=3;
NU2=0;
NT2=0;
N2=NC2+NU2+NT2;
G2w=Mi*Ec*NC2*AC*bc+Mi*Eu*NU2*AU*bu+Mi*Et*NT2*AT*bt;
G2=G2w*Em/fpm;
I2=G2/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 2
Pm2=G2w*(1-Em);
Pcu2=3*(I2^2)*(r*12*10^-3);
Rv2=(r*I2*sqrt(3)*12*10^-3/v1)*100;
Pt2=Pm2+Pcu2;
Pp2=(Pt2/G2w)*100;
%%% ACOMETIDA 3%%
l3=11.5;
NC3=1;
NU3=0;
NT3=2;
N3=NC3+NU3+NT3;
G3w=Mi*Ec*NC3*AC*bc+Mi*Eu*NU3*AU*bu+Mi*Et*NT3*AT*bt;
G3=G3w*Em/fpm;
I3=G3/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 3
Pm3=G3w*(1-Em);
Pcu3=3*(I3^2)*(r*13*10^-3);
Rv3=(r*I3*sqrt(3)*13*10^-3/v1)*100;
Pt3=Pm3+Pcu3;
Pp3=(Pt3/G3w)*100;
%%% ACOMETIDA 4%%
l4=12.1;
NC4=3;
NU4=0;
NT4=0;
N4=NC4+NU4+NT4;
G4w=Mi*Ec*NC4*AC*bc+Mi*Eu*NU4*AU*bu+Mi*Et*NT4*AT*bt;
G4=G4w*Em/fpm;
I4=G4/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 4
Pm4=G4w*(1-Em);
Pcu4=3*(I4^2)*(r*14*10^-3);
Rv4=(r*I4*sqrt(3)*14*10^-3/v1)*100;
Pt4=Pm4+Pcu4;
Pp4=(Pt4/G4w)*100;
%%% ACOMETIDA 5%%
l5=10.5;
NC5=0;
NU5=3;
NT5=0;
N5=NC5+NU5+NT5;
G5w=Mi*Ec*NC5*AC*bc+Mi*Eu*NU5*AU*bu+Mi*Et*NT5*AT*bt;
G5=G5w*Em/fpm;
I5=G5/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 5

```

```

Pm5=G5w*(1-Em);
Pcu5=3*(I5^2)*(r*15*10^-3);
Rv5=(r*I5*sqrt(3)*15*10^-3/vl)*100;
Pt5=Pm5+Pcu5;
Pp5=(Pt5/G5w)*100;
%%% ACOMETIDA 6%%
l6=8.5;
NC6=0;
NU6=0;
NT6=3;
N6=NC6+NU6+NT6;
G6w=Mi*Ec*NC6*AC*bc+Mi*Eu*NU6*AU*bu+Mi*Et*NT6*AT*bt;
G6=G6w*Em/fpm;
I6=G6/(sqrt(3)*vl);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 6
Pm6=G6w*(1-Em);
Pcu6=3*(I6^2)*(r*16*10^-3);
Rv6=(r*I6*sqrt(3)*16*10^-3/vl)*100;
Pt6=Pm6+Pcu6;
Pp6=(Pt6/G6w)*100;
%%%TABLA-2%%
Acom=[1 2 3 4 5 6]';
Num_Pan=[N1 N2 N3 N4 N5 N6]';
Gen_w=[G1w G2w G3w G4w G5w G6w]';
Gen_VA=[G1 G2 G3 G4 G5 G6]';
L_m= [l1 l2 l3 l4 l5 l6]';
I_A=[I1 I2 I3 I4 I5 I6]';
PCu_W=[Pcu1 Pcu2 Pcu3 Pcu4 Pcu5 Pcu6]';
Pm=[Pm1 Pm2 Pm3 Pm4 Pm5 Pm6]';
Pt=[Pt1 Pt2 Pt3 Pt4 Pt5 Pt6]';
Pp=[Pp1 Pp2 Pp3 Pp4 Pp5 Pp6]';
Porcentaje_Rv=[Rv1,Rv2,Rv3,Rv4,Rv5,Rv6]';
na={'ACOMETIDA','CANTIDAD_PANELES_FV',
'LONGITUD_m','POTENCIA_GENERADA_W','SALIDA_MICRO_VA',
'CORRIENTE_A','PER_MICRO_W','PER_Cu_W','PER_TOT_W','PORCENTAJE_PER_Cu','R
EG_V_PORCENTUAL'};
tbl2 =
table(Acom,Num_Pan,L_m,Gen_w,Gen_VA,I_A,Pm,PCu_W,Pt,Pp,Porcentaje_Rv,'Var
iableNames',na);
disp (tbl2)
%%%CALCULO TOTAL INYECTADO GRIPV-1%%
Tg1_pan=sum(Num_Pan);
Tg1_w=sum(Gen_w);
Tg1_va=sum(Gen_VA);
Tg1_per=sum(Pt);
Tg1_iny=Tg1_w-Tg1_per;
%%%TABLA
na5={'TOTAL_PANELES_FV','POTENCIA_GENERADA_W','SALIDA_MICRO_VA','PERDIDAS
_TOT_W','POTENCIA_INYECTADA_W'};
tbl5 = table(Tg1_pan,Tg1_w,Tg1_va,Tg1_per,Tg1_iny,'VariableNames',na5);
disp (tbl5)
end
if p==2 || p==4
fprintf ' GRIPV#2 '

```

```

fprintf '\n'
%%% ACOMETIDA 1%
l7=10.2;
NC7=3;
NU7=0;
NT7=0;
N7=NC7+NU7+NT7;
G7w=Mi*Ec*NC7*AC*bc+Mi*Eu*NU7*AU*bu+Mi*Et*NT7*AT*bt;
G7=G7w*Em/fpm;
I7=G7/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 1
Pm7=G7w*(1-Em);
Pcu7=3*(I7^2)*(r*17*10^-3);
Rv7=(r*I7*sqrt(3)*17*10^-3/v1)*100;
Pt7=Pm7+Pcu7;
Pp7=(Pt7/G7w)*100;
%%% ACOMETIDA 2%
l8=12.2;
NC8=3;
NU8=0;
NT8=0;
N8=NC8+NU8+NT8;
G8w=Mi*Ec*NC8*AC*bc+Mi*Eu*NU8*AU*bu+Mi*Et*NT8*AT*bt;
G8=G8w*Em/fpm;
I8=G8/(sqrt(3)*vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 2
Pm8=G8w*(1-Em);
Pcu8=3*(I8^2)*(r*18*10^-3);
Rv8=(r*I8*sqrt(3)*18*10^-3/v1)*100;
Pt8=Pm8+Pcu8;
Pp8=(Pt8/G8w)*100;
%%% ACOMETIDA 3%
l9=14.2;
NC9=3;
NU9=0;
NT9=0;
N9=NC9+NU9+NT9;
G9w=Mi*Ec*NC9*AC*bc+Mi*Eu*NU9*AU*bu+Mi*Et*NT9*AT*bt;
G9=G9w*Em/fpm;
I9=G9/(sqrt(3)*v1);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 3
Pm9=G9w*(1-Em);
Pcu9=3*(I9^2)*(r*19*10^-3);
Rv9=(r*I9*sqrt(3)*19*10^-3/v1)*100;
Pt9=Pm9+Pcu9;
Pp9=(Pt9/G9w)*100;
%%%BIFASICAS%
%%% ACOMETIDA 4%
l10=8.1;
NC10=1;
NU10=0;
NT10=0;
N10=NC10+NU10+NT10;
G10w=Mi*Ec*NC10*AC*bc+Mi*Eu*NU10*AU*bu+Mi*Et*NT10*AT*bt;

```

```

G10=G10w*Em/fpm;
I10=G10/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 4
Pm10=G10w*(1-Em);
Pcu10=2*(I10^2)*(r*l10*10^-3);
Rv10=(2*r*I10*l10*10^-3/vf)*100;
Pt10=Pm10+Pcu10;
Pp10=(Pt10/G10w)*100;
%%%ACOMETIDA 5%
l11=7.1;
NC11=1;
NU11=0;
NT11=0;
N11=NC11+NU11+NT11;
G11w=Mi*Ec*NC11*AC*bc+Mi*Eu*NU11*AU*bu+Mi*Et*NT11*AT*bt;
G11=G11w*Em/fpm;
I11=G11/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 5
Pm11=G11w*(1-Em);
Pcu11=2*(I11^2)*(r*l11*10^-3);
Rv11=(2*r*I11*l11*10^-3/vf)*100;
Pt11=Pm11+Pcu11;
Pp11=(Pt11/G11w)*100;
%%%ACOMETIDA 6%
l12=6.1;
NC12=1;
NU12=0;
NT12=0;
N12=NC12+NU12+NT12;
G12w=Mi*Ec*NC12*AC*bc+Mi*Eu*NU12*AU*bu+Mi*Et*NT12*AT*bt;
G12=G12w*Em/fpm;
I12=G12/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 6
Pm12=G12w*(1-Em);
Pcu12=2*(I12^2)*(r*l12*10^-3);
Rv12=(2*r*I12*l12*10^-3/vf)*100;
Pt12=Pm12+Pcu12;
Pp12=(Pt12/G12w)*100;
%%%ACOMETIDA 7%
l13=9.5;
NC13=1;
NU13=0;
NT13=0;
N13=NC13+NU13+NT13;
G13w=Mi*Ec*NC13*AC*bc+Mi*Eu*NU13*AU*bu+Mi*Et*NT13*AT*bt;
G13=G13w*Em/fpm;
I13=G13/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 7
Pm13=G13w*(1-Em);
Pcu13=2*(I13^2)*(r*l13*10^-3);
Rv13=(2*r*I13*l13*10^-3/vf)*100;
Pt13=Pm13+Pcu13;
Pp13=(Pt13/G13w)*100;
%%%ACOMETIDA 8%

```

```

l14=8.5;
NC14=1;
NU14=0;
NT14=0;
N14=NC14+NU14+NT14;
G14w=Mi*Ec*NC14*AC*bc+Mi*Eu*NU14*AU*bu+Mi*Et*NT14*AT*bt;
G14=G13w*Em/fpm;
I14=G13/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 8
Pm14=G14w*(1-Em);
Pcu14=2*(I14^2)*(r*l14*10^-3);
Rv14=(2*r*I14*l14*10^-3/vf)*100;
Pt14=Pm14+Pcu14;
Pp14=(Pt14/G14w)*100;
%%%ACOMETIDA 9%
l15=7.5;
NC15=1;
NU15=0;
NT15=0;
N15=NC15+NU15+NT15;
G15w=Mi*Ec*NC15*AC*bc+Mi*Eu*NU15*AU*bu+Mi*Et*NT15*AT*bt;
G15=G15w*Em/fpm;
I15=G15/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 9
Pm15=G15w*(1-Em);
Pcu15=2*(I15^2)*(r*l15*10^-3);
Rv15=(2*r*I15*l15*10^-3/vf)*100;
Pt15=Pm15+Pcu15;
Pp15=(Pt15/G15w)*100;
%%%ACOMETIDA 10%
l16=11.6;
NC16=0;
NU16=0;
NT16=1;
N16=NC16+NU16+NT16;
G16w=Mi*Ec*NC16*AC*bc+Mi*Eu*NU16*AU*bu+Mi*Et*NT16*AT*bt;
G16=G16w*Em/fpm;
I16=G16/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 10
Pm16=G16w*(1-Em);
Pcu16=2*(I16^2)*(r*l16*10^-3);
Rv16=(2*r*I16*l16*10^-3/vf)*100;
Pt16=Pm16+Pcu16;
Pp16=(Pt16/G16w)*100;
%%%ACOMETIDA 11%
l17=10.6;
NC17=0;
NU17=0;
NT17=1;
N17=NC17+NU17+NT17;
G17w=Mi*Ec*NC17*AC*bc+Mi*Eu*NU17*AU*bu+Mi*Et*NT17*AT*bt;
G17=G17w*Em/fpm;
I17=G17/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 11

```

```

Pm17=G17w*(1-Em);
Pcu17=2*(I17^2)*(r*117*10^-3);
Rv17=(2*r*I17*117*10^-3/vf)*100;
Pt17=Pm17+Pcu17;
Pp17=(Pt17/G17w)*100;
%%%ACOMETIDA 12%%
l18=9.6;
NC18=0;
NU18=0;
NT18=1;
N18=NC18+NU18+NT18;
G18w=Mi*Ec*NC18*AC*bc+Mi*Eu*NU18*AU*bu+Mi*Et*NT18*AT*bt;
G18=G18w*Em/fpm;
I18=G18/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM 12
Pm18=G18w*(1-Em);
Pcu18=2*(I18^2)*(r*118*10^-3);
Rv18=(2*r*I18*118*10^-3/vf)*100;
Pt18=Pm18+Pcu18;
Pp18=(Pt18/G18w)*100;
%%%TABLA-3%%
Acom2=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12]';
Num_Pan2=[N7 N8 N9 N10 N11 N12 N13 N14 N15 N16 N17 N18]';
L2_m=[17 18 19 110 111 112 113 114 115 116 117 118]';
Gen2_w=[G7w G8w G9w G10w G11w G12w G13w G14w G15w G16w G17w G18w]';
Gen2_va=[G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18]';
I2_A=[I7 I8 I9 I10 I11 I12 I13 I14 I15 I16 I17 I18]';
p2m=[Pm7 Pm8 Pm9 Pm10 Pm11 Pm12 Pm13 Pm14 Pm15 Pm16 Pm17 Pm18]';
PCu2_W=[Pcu7 Pcu8 Pcu9 Pcu10 Pcu11 Pcu12 Pcu13 Pcu14 Pcu15 Pcu16 Pcu17 Pcu18]';
P2t=[Pt7 Pt8 Pt9 Pt10 Pt11 Pt12 Pt13 Pt14 Pt15 Pt16 Pt17 Pt18]';
P2p=[Pp7 Pp8 Pp9 Pp10 Pp11 Pp12 Pp13 Pp14 Pp15 Pp16 Pp17 Pp18]';
Porcentaje_RV=[Rv7,Rv8,Rv9,Rv10,Rv11,Rv12,Rv13,Rv14,Rv15,Rv16,Rv17,Rv18]';
;
na2={'ACOMETIDA','CANTIDAD_PANELES_FV','LONGITUD_m',
'POTENCIA_GENERADA_W','SALIDA_MICRO_VA',
'CORRIENTE_A','PER_MICRO_W','PER_Cu_W','PER_TOT_W','PORCENTAJE_PERDIDAS',
'REG_V_PORCENTUAL'};
tbl3 =
table(Acom2,Num_Pan2,L2_m,Gen2_w,Gen2_va,I2_A,p2m,PCu2_W,P2t,P2p,Porcenta
je_RV,'VariableNames',na2);
disp(tbl3)
%%%CALCULO TOTAL INYECTADO GRIPV-2%%
Tg2_pan=sum(Num_Pan2);
Tg2_w=sum(Gen2_w);
Tg2_va=sum(Gen2_va);
Tg2_per=sum(P2t);
Tg2_iny=Tg2_w-Tg2_per;
%%%TABLA
na6={'TOTAL_PANELES_FV','POTENCIA_GENERADA_W','SALIDA_MICRO_VA','PERDIDAS
_TOT_W','POTENCIA_INYECTADA_W'};
tbl6 = table(Tg2_pan,Tg2_w,Tg2_va,Tg2_per,Tg2_iny,'VariableNames',na6);
disp(tbl6)
end

```

```

if p==3 || p==4
fprintf '
fprintf '\n'
%%% ACOMETIDA SEGUIDOR%%%%%%%%
l19=28;
NC19=0;
NU19=1;
NT19=0;
N19=NC19+NU19+NT19;
G19w=Mi*Ec*NC19*AC*bc+Mi*Eu*NU19*AU*bu+Mi*Et*NT19*AT*bt;
G19=G19w*Em/fpm;
I19=G19/(vf);
%%%PÉRDIDAS Y REGULACIÓN ACOM SEGUIDOR
Pm19=G19w*(1-Em);
Pcu19=2*(I19^2)*(r*l19*10^-3);
Rv19=(2*r*I19*l19*10^-3/vf)*100;
Pt19=Pm19+Pcu19;
Pp19=(Pt19/G19w)*100;
%%%CALCULO P INYECTADA
Tgs=G19w-Pt19;
%%%%%%%%%%%%%TABLA-4%%%%%%%%
Acom_s=1;
na3={'ACOMETIDA', 'CANTIDAD_PANELES_FV', 'LONGITUD_m',
'POTENCIA_GENERADA_W', 'SALIDA_MICRO_VA',
'CORRIENTE_A', 'PER_MICRO_W', 'PER_Cu_W', 'PER_TOT_W', 'PORCENTAJE_PERDIDAS',
'REG_V_PORCENTUAL'};
tbl4=table(Acom_s,N19,l19,G19w,G19,I19,Pm19,Pcu19,Pt19,Pp19,Rv19,'VariableNames',na3);
disp(tbl4)
nas={'POTENCIA_INYECTADA_W'};
tbls=table(Tgs,'VariableNames',nas);
disp(tbls)
end
end

```

GRIPV#3-SEGUIDOR '

ANEXO D. Manual de mantenimiento preventivo para la instalación fotovoltaica del edificio de ingeniería eléctrica

Por medio de una serie de medidas descritas a lo largo de este Anexo, se busca encontrar y prevenir posibles causas de fallas en los equipos del sistema de generación FV, las cuales se basan en los manuales de instalación, documentos de tesis y páginas web de empresas dedicadas a esta tarea.

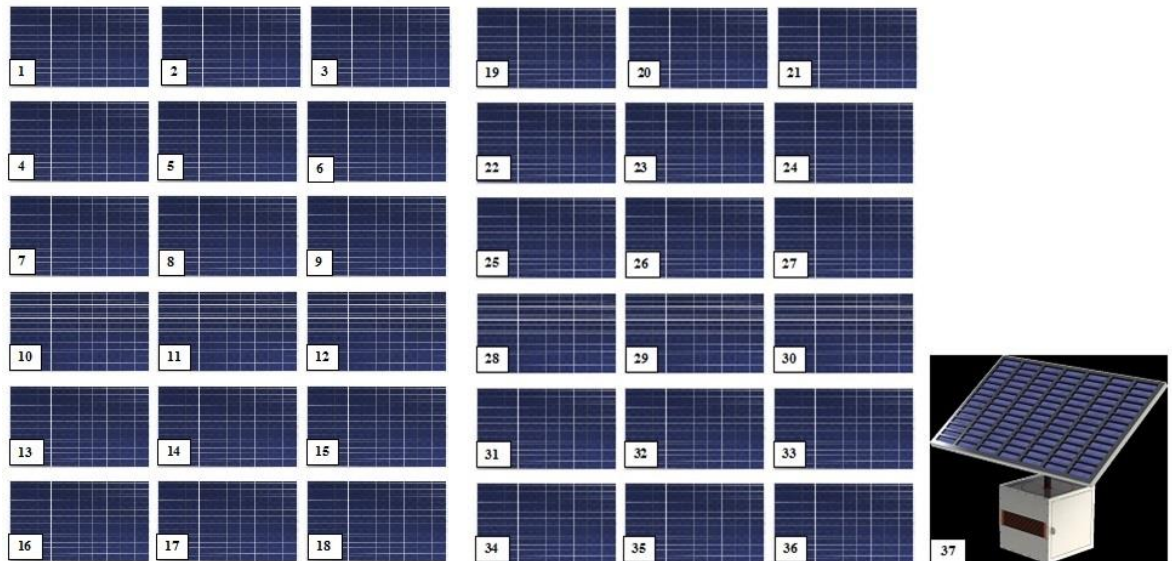
Para optimizar las intervenciones de mantenimiento se diseñaron plantillas y se encuentran adjuntas en formato PDF.

D.1 INSTRUCTIVO PARA LLENADO DE PLANTILLAS

Es importante leer este documento antes de llenar cualquiera de los formatos, no se aceptan tachones, ni enmendaduras. Utilizar tinta negra y letra legible. En caso de tramitar las plantillas en forma digital usar la fuente Times New Roman.

Para el correcto diligenciamiento de las plantillas, se debe tener en cuenta la Figura A1, allí se asignó un número del 1 al 37 a cada uno de los módulos fotovoltaicos y microinversores pertenecientes al sistema fotovoltaico del EIE. Esto con el fin de identificar fácilmente su ubicación e individualizar la condición física y funcional de cada uno de los elementos.

Figura D1. Izquierda a derecha: GRIPV 1, GRIPV 2, GRIPV Seguidor.



D.1.1 Procedimiento general para todas las plantillas. Existen trámites comunes y obligatorios, que se llevan a cabo en cada una de las plantillas de mantenimiento, estos se listan a continuación:

- Registrar en el espacio pertinente la fecha y hora inicial en la cual se realiza el mantenimiento.
- Confirmación por parte del supervisor que la indumentaria y el listado de herramientas para cada tarea este completo.
- Antes de realizar cualquier intervención, recoger la firma del supervisor, el cual debe dar un reporte de los problemas y observaciones de los pasados mantenimientos. De lo contrario el operario deberá revisar de antemano la instalación, previendo posibles atribuciones de daño en el sistema de generación a quien no corresponde.

- Las casillas de observaciones y observaciones generales son para especificar y dar detalles de los motivos por los cuales hubo que realizar una intervención u ofrecer recomendaciones para mejorar el aspecto y cuidado del elemento al cual se haya hecho mantenimiento.
- Al finalizar el mantenimiento, el auxiliar y el supervisor deberán confrontar el trabajo realizado, señalando la hora de culminación y firmando la plantilla de trabajo en la parte inferior del formato, formalizando la labor realizada.

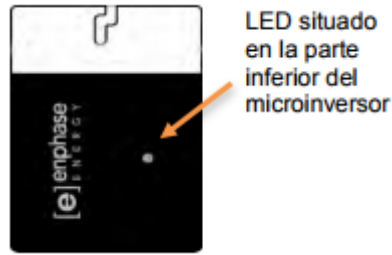
D.1.2 Plantillas N°1 y N°2 – Paneles FV y microinversores. Es necesario conocer algunos conceptos que permiten categorizar por niveles de suciedad los módulos FV, la clasificación se presenta en la Tabla A1.

Tabla D1. Clasificación de suciedad en los paneles FV.

ESTADO DEL PANEL	DESCRIPCIÓN
Limpio	Visualmente no hay suciedad presente.
Leve	Capa delgada de polvillo sobre la superficie del panel.
Medio	Capa delgada de polvillo, con excremento de aves.
Alta	Capa gruesa de polvillo, con excremento de aves, grasa o sustancias que requieran el uso de detergentes para retirarlos de los módulos.

El operario reconocerá y notificará al supervisor de mantenimiento, el estado en que se encuentran los paneles solares antes de realizar la intervención, además previamente verificará la correcta operación de los microinversores en la inyección de potencia a la red. Para lo que servirá de apoyo el led indicador situado en la parte inferior del dispositivo, tal como se expone en la Figura A2.

Figura D2. Microinversor EnphaseM250.



El color del led nos indica una posible descripción del estado de operación del microinversor, las características de cada tonalidad se extrajeron del manual de instalación y se describen en la Tabla A2.

Tabla D2. Indicaciones del LED después del inicio.

COLOR DEL LED	ESTADO	SIGNIFICADO
Verde	Intermitente	Funcionamiento normal. El funcionamiento de la red eléctrica de CA es normal y hay comunicación con el Envoy.
Naranja	Intermitente	El funcionamiento de la red eléctrica de CA es normal, pero no hay comunicación con el Envoy.
Rojo	Intermitente	La red eléctrica de CA no está presente o dentro de las especificaciones.
Rojo	Fijo	Hay un fallo activo que precisa de intervención.

El auxiliar de mantenimiento observará el color led del microinversor y marcará con una “X” el color correspondiente en la casilla de la plantilla.

Para respaldar la evaluación del funcionamiento, es necesario conocer la correcta operación de los microinversores y el Envoy ingresando a la plataforma Enlighten. Esto permitirá observar el rendimiento del sistema en línea y obtener mecanismos de valoración para el usuario y personal de mantenimiento. Si hay algún problema

con un microinversor, indicadores en la interfaz del software señalarán el estado de funcionamiento, origen del inconveniente y expondrá consejos para solucionarlo. En caso que se presente alguno de los eventos mencionados en los microinversores y/o Envoy, se debe registrar en la columna de reporte Enlighten.

Las plantillas 1 y 2 se llenarán en dos etapas, en la primera se reporta el estado antes de la intervención y en la segunda el resultado una vez se dé por terminada la limpieza a los módulos FV y la evaluación de funcionamiento de los microinversores.

En la Figura A3 encerrado con azul se denotan las casillas que serán chequeadas en el formato para esta primera etapa. El supervisor revisará las celdas debidamente rotuladas con “Antes”, la hora de inicio y dará el primer visto bueno, aceptando el estado en que se encuentran los módulos FV y microinversores.

Figura D3. Diligenciamiento de la Plantilla N°1 y Plantilla N°2.

- Primera etapa
- Segunda etapa

GRIPV#1	FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____		HORA INICIO: _____		HORA FINAL: _____		FUNCIONAMIENTO MICROINVERSORES						REPORTE ENLIGHTEN
	SUCIEDAD-PANELES			ANTES			DESPUES			REPORTE ENLIGHTEN			
	ANTES	DESPUES		NORMAL	IRREGULAR	INCORRECTO	NORMAL	IRREGULAR	INCORRECTO	NORMAL	IRREGULAR	INCORRECTO	
	Limpio	Limpio		Luz Intermitente verde	Luz intermitente naranja	Luz intermitente e roja	Luz Intermitente e verde	Luz intermitente naranja	Luz intermitente e roja	Luz Intermitent e roja	Luz intermitent fija roja		
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____	Aprobación para iniciar (Visto bueno)
Firma supervisor de mantenimiento: _____	

Seguidamente, se procederá a realizar la limpieza en la superficie de los módulos, y al término de esta, se llenarán las casillas con la nueva valoración de suciedad en los paneles y la verificación de un funcionamiento normal en los microinversores. Asimismo, se apuntará el diagnóstico presentado en el indicador de estado que se reporta en la interfaz del Enlighten. Por último, se toman las firmas del auxiliar y supervisor del mantenimiento. Los nuevos espacios a llenar se resaltan con recuadros rojos en la Figura A3.

D.1.3 Plantilla N° 3 – Antes y después. El objeto principal de la plantilla N°3 es adjuntar una memoria o evidencia visual del estado general en que se encuentra tanto el sistema FV, como de cualquier componente del sistema fotovoltaico, antes y después de intervenirlo.

Es necesario anexar la fecha y hora en la que se tomaron las evidencias con el fin de extraer la información más valiosa y verídica posible.

A continuación, se presentarán los lineamientos y recomendaciones para diligenciar satisfactoriamente la plantilla.

1. El operario debe especificar la fecha y hora en la cual se inició y culminó la intervención de mantenimiento.
2. Es obligatorio adjuntar el registro fotográfico del antes y después de los componentes del sistema FV en los cuales hubo una intervención que consideró el operario relevante, tal como reportes de daño, reemplazo de piezas o mal funcionamiento en la inyección de potencia.
3. En la columna de observaciones el auxiliar de mantenimiento debe indicar las razones por las cuales consideró importante adjuntar las fotografías describiendo el estado en que encontró el componente.

4. De ser posible adjuntar en la columna de observaciones una sugerencia o solución a un problema o situación detectada.

La Plantilla sirve de apoyo a los operarios para conocer de forma gráfica los problemas, intervenciones y reportes previos. A continuación, se presenta el diseño de la plantilla en la Figura A4, compuesto de recuadros en los cuales se deben anexar las fotografías y observaciones respectivas a cualquier elemento que compone el sistema fotovoltaico.

Figura D4. Planilla Antes y Después.

"PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA FV EIE"
 PLANILLA N°3 -EVIDENCIAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____ HORA INICIO: _____ HORA FINAL: _____

EVIDENCIAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA FV EIE			
GRUPO O ELEMENTO DEL SFV	FOTOGRAFIA ANTES DE LA INTERVENCION	FOTOGRAFIA DESPUES DE LA INTERVENCION	OBSERVACIONES V/O SUGERENCIAS DE MEJORA
GRUPV #1		HORA _____ FECHA _____ HORA _____ FECHA _____	
GRUPV# 2		HORA _____ FECHA _____ HORA _____ FECHA _____	

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____
 Firma supervisor de mantenimiento: _____

D.1.4 Plantilla N°4 – Ductos y conductores. La plantilla tiene como objetivo categorizar de acuerdo a tres condiciones específicas, descritas en la Tabla A3, el estado de los conductores de las acometidas y las canalizaciones o ductos (bien, regular y mal). Se marcará con una X la casilla que mejor retrata el estado en el que se encuentre el objeto de evaluación.

Tabla D3. Clasificación del estado de los ductos y conductores en el sistema FV

ESTADO	CONDUCTORES	DUCTOS
Bien	-Presenta buena apariencia, encauchetado íntegro y empalmes seguros. -Terminales asegurados al tablero.	-El ducto cumple con todas las condiciones para mantener los conductores aislados de factores del ambiente que implican riesgo eléctrico
Regular	-Parte de cinta sin adherir en los empalmes. -Regiones del conductor raídos	-Desajuste en las prensaestopas a los extremos del ducto. -Evidencia de desgaste en el material.
Mal	-Posible fractura de conductor o por desligamiento de un empalme. -Cables altamente raídos	-Presencia de porosidad y grandes grietas, que fácilmente permiten la filtración de agua y tierra.

Puesto que hay acometidas que comparten canalización, el diseño de la plantilla lo demuestra con las casillas combinadas, tal como se demuestra en la Figura A5.

Figura D5. Plantilla de mantenimiento para conductores y ductos.

FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____ **HORA INICIO:** _____ **HORA FINAL:** _____

	CONDUCTORES Y DUCTOS							OBSERVACIONES
	ACOMETIDAS	Estado- Conductores			Estado-Ductos			
		Bien	Regular	Mal	Bien	Regular	Mal	
GRIPV#1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
GRIPV#2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
GRIPV SEGUIDOR	1							

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____ Aprobación para iniciar _____
 (Visto bueno)

Firma supervisor de mantenimiento: _____

D.1.5 Plantilla N° 5 – Estructuras Esta plantilla cuenta con cuadros por cada GRIPV, los cuales listan los objetos a intervenir y las actividades que se precisan ejecutar durante el mantenimiento, señaladas con recuadros azules en la Figura A6. Se seleccionará con una X las casillas que definen y describen cual era el estado de la estructura, y las posibles medidas que se tomaron en la intervención, señaladas con los recuadros rojos en la Figura A6.

Figura D6. Plantilla para mantenimiento de estructuras.

FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____ HORA INICIO: _____ HORA FINAL: _____

IMPLEMENTOS COMPLETOS	SI	NO	Lanilla o limpión, juego de Llaves o llave Inglesa, Cascos y guantes, lija
-----------------------	----	----	--

MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS					
ESTADO ESTRUCTURA GRIPV ____					OBSERVACIONES
La estructura presenta:	Grietas ____	Deformaciones ____	Oxidos ____	Otro: ____	Ninguno ____
Tornillería	No necesito intervención: ____	Fue ajustada sin perances ____	Nº de tornillos cambiados ____		
Fijación de paneles y microinversores	No necesito intervención: ____	Nº de panel o paneles que necesitaron de ajuste: ____	Nº de microinversor que necesito de ajuste: ____		
En la limpieza se removió:	Polvo: ____	Suciedad general: ____	Oxido: ____		

MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS					
ESTADO ESTRUCTURA GRIPV ____					OBSERVACIONES
La estructura presenta:	Grietas ____	Deformaciones ____	Oxidos ____	Otro: ____	Ninguno ____
Tornillería	No necesito intervención: ____	Fue ajustada sin perances ____	Nº de tornillos cambiados ____		
Fijación de paneles y microinversores	No necesito intervención: ____	Nº de panel o paneles que necesitaron de ajuste: ____	Nº de microinversor que necesito de ajuste: ____		
En la limpieza se removió:	Polvo: ____	Suciedad general: ____	Oxido: ____		

MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS					
ESTADO ESTRUCTURA GRIPV ____					OBSERVACIONES
La estructura presenta:	Grietas ____	Deformaciones ____	Oxidos ____	Otro: ____	Ninguno ____
Tornillería	No necesito intervención: ____	Fue ajustada sin perances ____	Nº de tornillos cambiados ____		
Fijación de paneles y microinversores	No necesito intervención: ____	Nº de panel o paneles que necesitaron de ajuste: ____	Nº de microinversor que necesito de ajuste: ____		
En la limpieza se removió:	Polvo: ____	Suciedad general: ____	Oxido: ____		
MANTENIMIENTO UNIDAD DE GIRO					
INTERVENCIÓN	Lubricación sistema de transmisión: ____	Limpieza general: ____	lijado: ____	Engrase de motor: ____	Ninguna: ____

Observaciones Generales	
-------------------------	--

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____

Visto bueno para empezar: _____

Firma supervisor de mantenimiento: _____

D.1.6 Plantilla N° 6 – Tableros. A lo largo de la plantilla se presentan una serie de preguntas que evalúan las condiciones y funcionamiento del tablero. Estas se responden señalando con una “X” la opción que corresponda.

Puesto que se requiere tomar medidas eléctricas se da espacio para verificar la condición de los instrumentos que deben implementarse en el mantenimiento. Por otra parte, se evalúa si los diagramas unifilares de los tableros entregan la información actualizada y correcta de las conexiones, ya que es de utilidad para los operarios conocer y estudiar los circuitos de, antemano y durante la intervención en los tableros de distribución (Figura A7, recuadro verde).

La inspección mecánica (Figura A7, recuadro naranja) plantea varias preguntas que hacen énfasis al estado de apariencia en que él se encontró el tablero eléctrico y el resultado luego de la intervención, teniendo como principales medidas de evaluación el nivel de polución y la integridad de las piezas dentro del gabinete.

La inspección eléctrica (Figura A7, recuadro azul) se remite a la toma de medidas en los barrajes del tablero eléctrico, las cuales evalúan la magnitud de los valores de tensión y corriente, complementando con el cálculo de desbalance que esté presentando el sistema trifásico de paneles fotovoltaicos y el valor de resistencia en el aislamiento.

Figura D7. Plantilla N°6, secciones para la inspección mecánica y eléctrica en los tableros del sistema FV.

Marque con una X según corresponda y complete en la casilla de observaciones con las aclaraciones y/o recomendaciones pertinentes. Leer el instructivo para más información

IMPLEMENTOS COMPLETOS		SI	NO	EQUIPOS DE MEDIDA (MULTIMETRO, MEGGER), INDUMENTARIA PERSONAL (GUANTES, CASCO, BOTAS), JUEGO DE DESTORNILLADORES, BROCHA SUAVE DEBIDAMENTE AISLADA.			OBSERVACIONES
TABLERO GRIPV	¿Se desenergizó el tablero?	SI	NO	Casco	Gafas	Guantes	Botas
	Señale los equipos de protección personal usados	SI	NO				
	¿Los equipos de medición están en buen estado?	SI	NO				
	¿Las características eléctricas y físicas del tablero corresponden al diagrama unifilar vinculado?	SI	NO				
INSPECCION MECANICA							
Integridad del tablero eléctrico (tapa, degradaciones, tornillos, espacios para protecciones).	Excelente	Buena	Regular	Mala			
Señale el nivel de suciedad al interior del tablero, antes de la intervención.	Ninguno	Leve	Medio	Alto			
Señale el estado del tablero eléctrico después de la intervención o limpieza.	Impecable	Parcialmente limpio	Parcialmente limpio con manchas de óxido				
Ajuste de tornillos, pernos, tomas y prensas estopas.	SI	NO					
¿Se realizó el cambio de alguna pieza?	SI	NO					
Señale el estado de los empalmes.	Correctamente aislados	Buen contacto	¿Se necesitó de alguna intervención?	SI	NO		
INSPECCION ELECTRICA							
Mediciones fase a fase barrajes de tableros	$V_{ab} =$	$V_{bc} =$	$V_{ac} =$				
Mediciones fase-neutro barrajes de tableros	$V_{an} =$	$V_{bn} =$	$V_{cn} =$				
Mediciones corrientes de alimentadores	$I_a =$	$I_b =$	$I_c =$	$I_n =$			
Desbalance de corriente del tablero	D =	Resistencia de aislamiento			R =		
Observaciones Generales							

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____ Aprobación para iniciar _____
(Visto bueno)

Firma supervisor de mantenimiento: _____

D.1.7 Plantilla N° 7 – Protecciones. Las tablas para mantenimiento de protecciones se identifican con el número del interruptor y fusible como muestra la Figura A8.

Figura D8. Numeración de protecciones del GRIVP N°1 y GRIPV N°2 para identificación en la plantilla de mantenimiento para protecciones.



PROTECCIONES	
Breaker	Fusible
1	1
	2
2	3
	N1
3	4
	5
4	6
	N2
5	7
	8
6	9
	N3
7	10
	11
8	12
	N4
9	13
	14
10	15
	N5
11	16
	17
12	18
	N6



Breaker	Fusible
1	1
	2
2	3
	N1
3	4
	5
4	6
	N2
5	7
	8
6	9
	N3
7	10
	11
8	12
	N4
	13
	14
	15
	N4
	16
	17
9	18
	N5
	19
10	20
	21
	N5
	22
11	23
	24

La tabla está dividida por columnas, donde se mencionan las principales razones del mantenimiento preventivo dedicado a protecciones (Recuadro azul, Figura A9). Se señala con una X las actividades que hayan sido ejecutadas tanto en breakers como en fusibles, y el registro de la posición (abierta o cerrada) en que se encontraban los interruptores.

Si no hubo necesidad de intervención, preferiblemente dar una observación general especificando las razones por las que se realizó, y describir el estado general de las protecciones.

Figura D9. Plantilla para mantenimiento de protecciones del SFV.

FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____ HORA INICIO: _____ HORA FINAL: _____

IMPLEMENTOS COMPLETOS	Si	No	Brocha de cerdas suaves, destornillador
-----------------------	----	----	---

INTERVENCION- GRIPV#1												
PROTECCIONES		LIMPIEZA		AJUSTE DE TORNILLOS		REEMPLAZO DE PIEZA		CAMBIO DE ETIQUETA		BREAKER		OBSERVACIONES Y/O HALLAZGOS
Breaker	Fusible	Breaker	Fusible	Breaker	Fusible	Breaker	Fusible	Breaker	Fusible	ABIERTO	CERRADO	
1	1											
	2											
2	3											
	N1											
3	4											
	5											
4	6											
	N2											
5	7											
	8											
6	9											
	N3											
7	10											
	11											
8	12											
	N4											
9	13											
	14											
10	15											
	N5											
11	16											
	17											
12	18											
	N6											

D.1.8 Plantilla N° 8 – Puesta a tierra En el mantenimiento para sistema de puesta a tierra, se hace un diagnóstico de los conductores asociados a las estructuras y los propios de cada acometida hasta los barrajes en los tableros de distribución de la terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Como varias de las plantillas construidas a lo largo del plan de mantenimiento, cuenta con las posibles razones por las cuales se lleva a cabo la intervención (recuadro naranja, Figura A10), e inmediatamente en seguida la medida que debió ser tomada para conservar y cuidar el óptimo funcionamiento de la puesta a tierra, (recuadro azul, Figura A10)

Figura D10. Plantilla para mantenimiento de puesta a tierra del sistema FV.

FECHA DEL MANTENIMIENTO: _____ HORA INICIO: _____ HORA FINAL: _____

REVISIÓN PREVENTIVA A PUESTAS A TIERRA DEL SISTEMA FV				OBSERVACIONES
Actividad	OPCIONES: Marque con una X según corresponda			
Ajuste de los terminales de los conductores a tierra, con tuercas, tornillos al bastidor y a la estructura de los módulos FV	No necesario de intervención (todo debidamente ajustado): _____	Ajustados sin percalces: _____	Ajustados con cambio de piezas : _____	
Conexión entre la carcasa del tablero de distribución y conductores a tierra de cada acometida al barraje a tierra.	No necesario de intervención (Buen estado de la conexión) : _____	Conexión en estado regular: _____	Mal estado de la conexión: _____	
Estado de los conductores de puesta a tierra.	Buen estado : _____	Corrosión: _____	Derretimiento del encauchetado: _____ Otro: _____	

Observaciones Generales	
--------------------------------	--

Firma auxiliar(es) de mantenimiento: _____ Aprobación para iniciar _____
 Firma supervisor de mantenimiento: _____ (Visto bueno)

D.2 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO POR ELEMENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El mantenimiento fue dividido, definiendo la frecuencia, las herramientas y los procedimientos a realizar por cada elemento que compone el sistema de generación fotovoltaico en el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander

PANELES FOTOVOLTAICOS

La eficiencia de los paneles se ve reducida por las capas de polvo y objetos que obstaculizan la irradiación directa sobre la superficie de los mismos, el objetivo es remover estos agentes que provocan la reducción en la generación de potencia. Es un procedimiento sencillo, que se debe realizar periódicamente dependiendo la presencia de los agentes que ensucian la superficie de los módulos.

Frecuencia de mantenimiento

➤ 2 o 3 meses.

Implementos de uso y recomendaciones

- Escobilla de largo alcance con espuma suave para el contacto con superficies.
- Manguera de más de 30 metros de largo
- Control de chorro para manguera
- Ropa e indumentaria adecuada (guantes, botas, overol, casco)
- Trapos de microfibra y esponjas suaves
- Jabón suave
- Escaleras
- Baldes

- Asegurarse que el agua usada sea de buena calidad, es decir no tomada de pozos o alta concentración de minerales.
- Cuidar el techo verde pisando mayormente sobre los pasos de caucho.
- Realizar la limpieza en horas de poca radiación, es decir temprano en la mañana, en el atardecer o noche [3].
- Usar preferiblemente solo agua para la limpieza cuando los paneles FV tengan un nivel de suciedad leve. En caso que tengan sustancias o partículas más complejas de remover, es aconsejable aplicar jabones con PH neutro o detergentes suaves [3].
- Tener a mano la Plantilla N°1 y Plantilla N°2 para registrar la evaluación de la intervención en los paneles.

Instrucción de mantenimiento

- a. Retirar cualquier objeto de la superficie de los paneles que interrumpa el paso de luz sobre los mismos, tal como hojarascas o terrones de tierra.
- b. Remojar la superficie de los paneles con agua, para reducir y aflojar las capas de polvo, evitando el riesgo de rayaduras al frotarlas.
- c. Mientras están mojados los paneles, restregar suavemente su superficie con los paños de microfibra o escobas con espuma en el extremo.
- d. Para sustancias difíciles de remover como grasa o suciedad de aves muy adherida, se puede emplear el uso de jabones suaves o con PH neutro.
- e. Limpiar continuamente los trapos o espumas empleados en la limpieza.
- f. Arrojar agua nuevamente, removiendo la suciedad restante.

- g. Dejar secar o ayudar en este proceso eliminando el empozamiento de agua en las zonas inferiores de cada módulo.

MICROINVERSORES Y ENVOY

Los microinversores, además de cumplir la función principal de convertir tensión DC/AC, están instalados para gestionar la mayor producción de potencia y monitorizar la generación por cada panel FV.

Su buen funcionamiento permite el flujo constante de potencia hacia la red y cargas en el edificio; sin embargo, este no requiere de una intervención minuciosa, debido a que el índice de hermeticidad de los capuchones es IP67; esta calificación específica indica que el conector está protegido contra todas las partículas de polvo y su inmersión en líquidos.

La carcasa del dispositivo tiene clasificación ambiental NEMA 6, la cual indica protección interior y/o exterior contra caída de suciedad, chorro de agua y entrada de agua a causa de la inmersión parcial, limitada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo [1].

El equipo Envoy, portal comunicación del sistema, hace posible el reconocimiento remoto de problemas en el rendimiento y tomar medidas frente a estos. El dispositivo tiene una clasificación de carcasa NEMA 1, es decir, únicamente sirve de protección contra la suciedad, por lo que debe estar instalado en interiores [2].

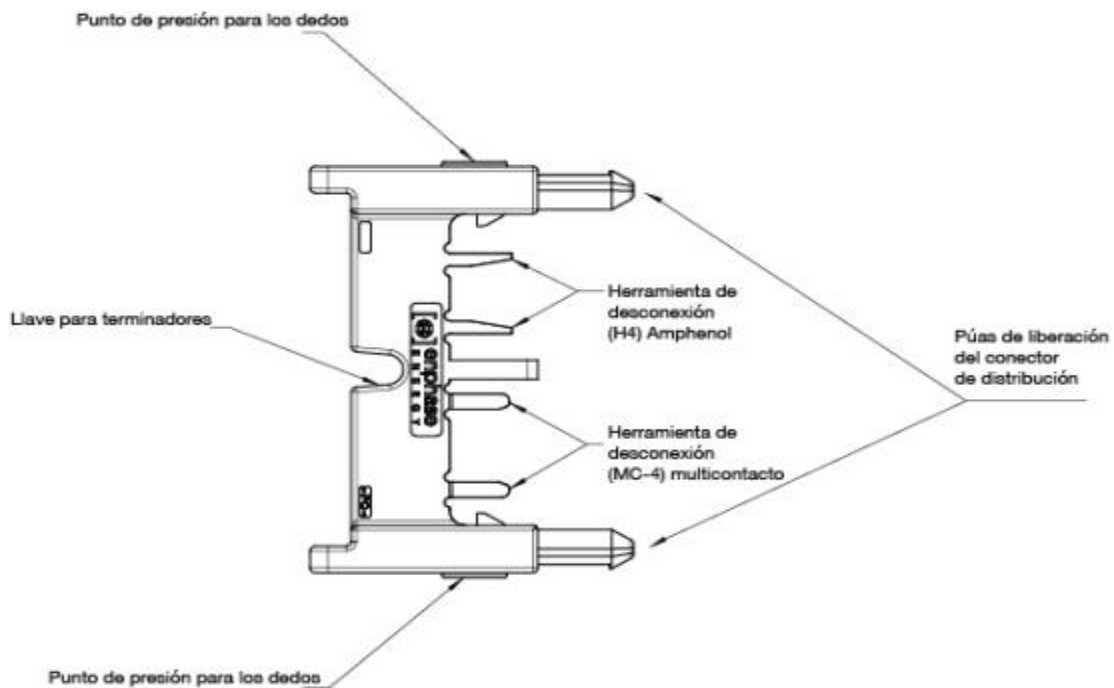
Frecuencia de mantenimiento:

- De forma remota: Una vez por semana y/o cada vez que se solicite.
- De forma física: Cada 6 meses.

Recomendaciones

- El cuerpo del microinversor de Enphase es el disipador de calor. En condiciones normales de funcionamiento, la temperatura está 15 °C por encima de la temperatura ambiente, pero en condiciones extremas, el microinversor puede alcanzar una temperatura de 80 °C. Tener cuidado cuando se trabaje con los microinversores para reducir el riesgo de sufrir quemaduras.
- No exponer el conector de CA a tensión continua, como tampoco la tensión mecánica debido a tirones o dobleces del cable junto a la conexión.
- No exponer las conexiones del cable a líquido dirigido o presurizado (chorros de agua, etc.)
- Si tiene que retirar un protector de sellado, debe utilizar la herramienta de desconexión Enphase (Figura A11) o un destornillador Phillips nº 3.

Figura D11. Herramienta de desconexión Enphase.

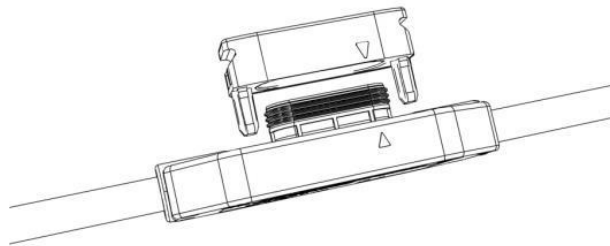


Fuente: Manual de instalación y funcionamiento. Microinversores Enphase M250 y M215. Disponible en <https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/M215-M250-manual-ES-LAC.pdf>

Instrucción de mantenimiento

- Verificar que haya capuchones (Figura A12.) de sellado en todos los conectores de CA sin usar, pues estos conectores se cargan cuando la red eléctrica suministra energía al sistema generando un riesgo de descarga eléctrica.

Figura D12. Capuchones de sellado para los conectores AC.



Fuente: Manual de instalación y funcionamiento. Microinversores Enphase M250 y M215. Disponible en <https://enphase.com/sites/default/files/downloads/support/M215-M250-manual-ES-LAC.pdf>

- Comprobar las conexiones de CC entre el microinversor y el módulo fotovoltaico. Es posible que la conexión se tenga que apretar o afianzar. Si la conexión está deteriorada o dañada, es posible que se deba sustituir.
- Inspeccionar a través de observación las carcasas del dispositivo, verificando si hay marcas de deterioro.
- Verificar la inyección de potencia y buen funcionamiento, a partir de la observación del led indicador y el informe del software Enlighten.

- Diligenciar las plantillas N°1 y N°2 para registrar el mantenimiento a los microinversores y registrar el informe Enlighten.

DUCTOS Y CONDUCTORES

Los conductores deben estar siempre en buenas condiciones para garantizar la continuidad en el transporte de energía eléctrica, por lo cual la buena elección de los mismos, es donde recae la mayor responsabilidad.

En cuanto a los ductos, son los encargados de contener los conductores para aislarlos del medio, protegiéndolos de agentes que pueden influir en su deterioro y vida útil (agua, humedad, tierra, roedores).

Los conductores y ductos requieren de poca intervención, sin embargo, durante su mantenimiento se debe revisar, el buen estado, desgaste e integridad de los mismos.

Frecuencia de mantenimiento:

- 5 meses

Implementos de uso y recomendaciones previas

- Cinta aislante
- Destornillador
- Revisar la organización de las acometidas por los ductos y a que protecciones se conectan en el tablero eléctrico.

Instrucción de mantenimiento

- a. Mantener las etiquetas de reconocimiento de las acometidas en perfectas condiciones, de tal forma que se mantengan legibles.
- b. Verificar el estado de los conductores de extremo a extremo, revisando los empalmes entre conductores, ajuste con los barrajes y el desgaste o deterioro del encauchetado garantizando el aislamiento. Intervenir si es necesario, cambiando la cinta de empalmes deteriorados o notificando el mal estado.
- c. Inspeccionar posibles porosidades o grietas en los ductos.
- d. Llenar las plantillas de conductores y ductos de acuerdo al estado caracterizado por niveles (bien, regular y mal) propuesto en las plantillas y explicado con más detalle en el instructivo (Anexo B).

ESTRUCTURAS GRIPV 1 Y 2

Las estructuras tienen la finalidad de soportar todos los esfuerzos ejercidos por los equipos del sistema fotovoltaico, como: módulos FV, microinversores, acometidas, ducterías, cajas de paso y sensores. Simultáneamente debe soportar velocidades del viento alrededor de 40 km/h en ciertas épocas del año, dato registrado con la estación meteorológica instalada en la terraza del EIE.

Fueron diseñadas para garantizar la coplanaridad de los subsistemas y asignar una inclinación de 10 grados, previendo estancamientos de agua y consiguiendo mayor rendimiento energético.

Las estructuras están fabricadas en acero, sin embargo, por su exposición a la atmosfera fue sometido al proceso de galvanizado en caliente reforzando su capacidad anticorrosiva y vida útil.

Frecuencia del mantenimiento

- Cada 6 meses

Implementos de uso y recomendaciones previas

- Lanilla o limpión.
- Juego de Llaves o llave Inglesa.
- Cascos y guantes.
- Leer previamente el instructivo para plantillas
- Lija N° 120 (opcional).
- Plantillas N° 7.

Instrucción de mantenimiento

- a. Realizar una inspección visual con el fin de detectar posibles degradaciones (deformaciones, grietas, óxidos, etc.) [4]
- b. Comprobar que la tornillería este correctamente apretada y sustituir algún elemento de fijación que se encuentren en mal estado.
- c. Comprobar el estado de fijación de los paneles solares y microinversores a la estructura.
- d. Limpiar polvo, suciedad en general y pulir las partes con oxido.

- e. Paralelamente a cada una de estas actividades se diligenciará la plantilla N°5, e informará al supervisor de mantenimiento los hallazgos relevantes.

ESTRUCTURA GRIPV SEGUIDOR

El soporte de este GRIPV es fabricado a base de ángulos de hierro de 1” en forma de H, lo cual permite soportar y asegurar el panel FV en disposición horizontal. El modulo base y de protección fue diseñado de un esqueleto en acero en forma de cubo, en su interior se encuentran los módulos encargados del movimiento y circuitos de control, por lo que se encuentra debidamente aislada de la intemperie por platinas en cada uno de sus lados.

El mantenimiento a realizar al soporte es idéntico al de estructuras de GRIPV 1 y 2, por lo que se especifica únicamente el mantenimiento a realizar a el modulo base y sus componentes.

Frecuencia del mantenimiento:

- Cada 12 meses.

Implementos de uso y recomendaciones previas

- Juego de destornilladores y llaves.
- Grasa o lubricante para motores y cadena.
- Lija número 80 y 120.
- Lanilla o limpión.
- Leer previamente el instructivo para plantillas

Instrucción de mantenimiento

- a. Se lubricará el juego de transmisión, fundamentalmente la cadena.

- b. Se realizará el proceso de lijado para remover corrosión en caso de presentarse y/o limpieza general.
- c. En el caso de los dos motorreductores (DFS10G-05) conocidas como unidades de giro, se desmontará cada unidad para quitar la grasa vieja, realizar la limpieza interior y por último añadir la grasa nueva.
- d. Paralelamente a cada actividad se tramitará la plantilla N°5 referente a las estructuras de soporte de los arreglos FV.

TABLEROS ELÉCTRICOS

El mantenimiento a efectuar es un procedimiento básico para la inspección general de los tableros eléctricos presentes en la terraza del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Por ende, es necesario en primer lugar cumplir medidas de seguridad, seguidamente se procede a realizar una inspección mecánica y eléctrica, tal como se describe en la sección a continuación instrucción de mantenimiento.

Frecuencia del mantenimiento:

- Cada 6 meses.

Implementos de uso y recomendaciones previas

- Diagrama unifilar de los tableros eléctricos.
- Equipos de medida. (multímetro, megger)
- Indumentaria personal (guantes, casco, botas)
- Juego de destornilladores
- Brocha suave debidamente aislada.
- Leer previamente el instructivo para plantillas

Inspección de seguridad

- a. Verificar con el supervisor si es factible desenergizar el tablero antes de su mantenimiento.
- b. Verificar que los equipos de protección personal este en buen estado (casco, lentes, guantes de cuero, botas.)
- c. Verificar que las herramientas y equipos de medición entregados estén en buen estado.
- d. Verificar que las características eléctricas y físicas del tablero correspondan al diagrama unifilar vinculado.
- e. Diligenciar la plantilla N°6 “Medidas de seguridad” para la verificación de los ítems antes mencionados.

Inspección mecánica.

- a. Revisar visualmente la integridad del tablero, es decir: estado de la tapa, degradaciones, cantidad de tornillos que sujetan la tapadera, espacios para circuitos y su respectiva protección.
- b. Limpiar con una brocha al interior del tablero removiendo partículas de polvo, escombros a causa de instalaciones o reparaciones anteriores.
- c. Comprobar que los interruptores termomagnéticos se encuentren correctamente enganchados a las barras de alimentación.

- d. Examinar el ajuste de tornillos o pernos en interruptores, tomas, prensas estopas y conductores de alimentación.
- e. Examinar los empalmes entre conductores y revisar que su cubierta en cinta aislante este en buenas condiciones.

Inspección eléctrica

- a. Realizar mediciones de voltaje en los barrajes de los tableros, entre fases, (A-B, B-C, A-C) fases y neutro, (A-N, B-N, C-N) y entre neutro y tierra.
- b. Realizar mediciones de corriente a los cables de alimentadores (A, B, C, T, N) y a los conductores de cada termomagnético.
- c. Calcular el desbalance por corriente del tablero.
- d. Si es posible desenergizar algún circuito realizar la medición de resistencia de aislamiento de cualquier conductor con respecto a tierra.
- e. Una vez terminado el procedimiento anterior y diligenciada la plantilla N°6 se da por terminado el mantenimiento y se asegura la tapadera del tablero con la llave correspondiente.

PROTECCIONES

Estos dispositivos cumplen la función de aislar las fallas que puedan presentarse en el sistema fotovoltaico, cortando el flujo de la corriente hacia las cargas y red. Generalmente los esquemas de protección están diseñados para requerir poca o nula intervención de mantenimiento a lo largo de su vida útil, sin embargo, es

necesario realizar una revisión con el propósito de cuidar estos dispositivos contra la corrosión y polución, a su vez llevar reporte de disparos imprevistos.

Frecuencia de mantenimiento:

➤ 6 meses

Implementos de uso y recomendaciones

- Brocha de cerdas suaves
- Destornillador
- Conocer los diagramas unifilares (Anexo A) y tabla o esquema de control de las protecciones para la desconexión de acometidas del sistema fotovoltaico (tablas 8 y 9).

Instrucción de mantenimiento

- a. Realizar la inspección visual, verificando el estado de las protecciones, si se han disparado y están bien aseguradas a los soportes del gabinete.
- b. Revisar el estado de polución (presencia de polvo, telarañas, pequeños insectos, etc.) y retirar los agentes que puedan llegar a inferir con su operación normal o reducción en la vida útil del elemento. Para esta operación se puede utilizar una pequeña brocha teniendo cuidado de no desconectar conductores u operar los interruptores [5].
- c. Cerciorarse que los terminales de los cables estén bien asegurados a las protecciones (borneras portafusibles e interruptores) con los tornillos propios de las mismas.

- d. Si existe un visible deterioro o anomalía en el dispositivo, notificar al supervisor o personal a cargo para evaluación de la misma y tomar la decisión si es necesario el reemplazamiento de la pieza.
- e. Revisar las etiquetas que identifican el control y la desconexión de las acometidas de los arreglos fotovoltaicos. En caso de estar deterioradas efectuar el cambio de las mismas.
- f. Entregar por escrito la evaluación de estado de las protecciones con soporte fotográfico.

A modo de recomendación, los interruptores que no se hayan activado en un periodo de 6 meses o más [5], se deben someter a una prueba mecánica abriendo y cerrando el dispositivo varias veces para revisar su funcionamiento y eliminar la acumulación de polvo o material extraño en las piezas móviles y los contactos. Notificar a los supervisores si se ha cumplido este periodo de tiempo para que ejecuten la acción mencionada anteriormente.

PUESTA A TIERRA

El sistema fotovoltaico tiene conductores puestos a tierra procedentes de la estructura metálica, los marcos de aluminio de cada módulo y propios de la conexión eléctrica por las acometidas. Son instalados para limitar posibles tensiones causadas por descargas atmosféricas o contactos accidentales con líneas energizadas, dándole un camino de baja impedancia a las corrientes que puedan presentarse, de tal forma que se garantice reducción de posibles daños en equipos, la instalación y seguridad para los usuarios[6].

Este punto del mantenimiento se basará en el cuidado, revisión, dictamen visual y reporte del estado del sistema de puesta a tierra en la instalación fotovoltaica.

Frecuencia de mantenimiento:

➤ 6 meses

Implementos de uso

- Llaves para tuercas.
- Cinta aislante.

Instrucción de mantenimiento

- a. Revisar los terminales de los conductores a tierra ajustados con tuercas y tornillos al bastidor y marcos de los módulos fotovoltaicos.
- b. Dentro del tablero de distribución cerciorarse que la conexión entre la carcasa del mismo y conductores a tierra provenientes de las acometidas estén debidamente conectados al barraje a tierra.
- c. Revisar el estado de los conductores, fijándose en signos de deterioro, tales como: corrosión, derretimiento de encauchetado en zonas del conductor u oxidación en los terminales.

Tomar registro del mantenimiento en la plantilla N°8 con apoyo fotográfico el caso de encontrar anomalías.