

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Título de disertación:

“Impacto de las condiciones climáticas en paneles fotovoltaicos con
envejecimiento simulado”

Disertación previa a la obtención del título de Químico/a

Nombre del estudiante: Bernardo N. Tapia Del Pino

Quito, 2023

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de disertación, posterior a la obtención del título de Químico/a, del estudiante Bernardo Nicolás Tapia Del Pino ha sido concluido de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentado para el proceso de calificación correspondiente.

Dr. José Luis Piñeiros Mendoza

Director de la disertación

Quito, 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, pilar fundamental para mí, quienes siempre me han apoyado de forma incondicional. A las personas que siempre estuvieron para mí en los momentos buenos y malos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mis padres; Carmita Del Pino y Marco Antonio Tapia a mi hermano, Eduardo Tapia, Susana Pérez y a mi perrito Tobías; por su apoyo constante, por darme el espacio y tiempo necesario para dedicarme a este proyecto y sobre todo por brindarme ese amor y aliento incondicional, los cuales fueron una fuente constante de motivación.

Quiero agradecer a mis amigos: Arianna Ostaíza, Doménica Guevara, Jorge Sánchez, Kevin Canchingre, Moisés Esquivel, Sebastián Martínez y Anghie Figueroa por su comprensión, apoyo, por estar a mi lado durante los momentos buenos, malos y de estrés, donde no solo me apoyaron en la Universidad sino también en mi vida.

Un agradecimiento especial a la Dra. Katherine Vaca, por ser ese pilar durante toda mi trayectoria universitaria, que además de ser una excelente maestra se convirtió en una buena amiga. Gracias por compartirme sus conocimientos, ideas, experiencias y colaboración las cuales fueron de gran valor para el desarrollo del profesional en el que me estoy convirtiendo.

Quiero agradecer a todas las personas que contribuyeron de forma significativa a la realización de este trabajo de titulación. Su apoyo incondicional fue fundamental para lograr los resultados obtenidos. Me gustaría expresar mi gratitud al Dr. Joseph Sánchez a mi tutor de tesis Dr. José Luis Piñeiros y a mis lectores de tesis, Dr. Hugo Navarrete y al Dr. Ernesto de la Torre; por su orientación experta, su paciencia y su valiosa retroalimentación a lo largo de todo el proceso. Sus guías y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	14
Abstract	15
Capítulo 1	16
Capítulo 2	20
1.INTRODUCCIÓN	20
1.1 Cambio Climático	20
1.2 Calentamiento Global	20
1.3 GEI	20
1.3.1 CO₂	20
1.3.2 Metano	21
1.3.3 Óxidos nitrosos y Gases Fluorados	21
1.4 Impactos	22
1.4.1 Sociales	22
1.4.2 Económicos	22
1.4.3 Ambientales	23
1.5 Energía	23
1.5.1 Aspectos Técnicos	24
1.5.1.1 Voltaje	24
1.5.1.2 Corriente	24
1.5.1.3 Corriente Continua	24
1.5.1.4 Resistencia	24
1.5.1.5 Potencia	25

1.5.2 Energías Alternativas.....	25
1.5.2.1 Tipos de Energías Renovables.....	25
1.5.3 Envejecimiento Simulado.....	26
1.5.3.1 Descripción.....	26
1.5.3.2 Métodos.....	26
Capítulo 3.....	28
2. Metodología.....	28
2.1 Materiales.....	28
2.2 Área de Estudio.....	28
2.3 Montaje del Panel Solar.....	29
2.3.1 Recolección de Datos.....	30
2.3.2 Tratamiento de Datos.....	30
2.3.3 Modelo Lineal Generalizado (GLM).....	31
2.4 Bases de Datos de contaminación de aire y variables atmosféricas.....	31
2.5 Diagramas de Flujo de la metodología propuesta.....	32
Capitulo 4.....	34
3. Resultados.....	34
3.1 Voltaje (V), corriente (A), potencia (W) y potencia por área (W/m²) de cada etapa de estudio.....	34
<i>3.1.1 Envejecimiento 1: Panel solar nuevo.....</i>	<i>34</i>
3.1.1.1 Voltaje.....	34
3.1.1.2 Corriente.....	35
3.1.1.3 Potencia.....	36
3.1.1.3 Potencia por Área.....	36

3.1.2 Envejecimiento 2: 5 años	37
3.1.2.1 Voltaje.....	37
3.1.2.2 Corriente.....	38
3.1.2.3 Potencia.....	38
3.1.2.2 Potencia por Área.....	39
3.1.3 Envejecimiento 3: 10 años	39
3.1.3.1 Voltaje.....	40
3.1.3.2 Corriente.....	40
3.1.3.3 Potencia.....	41
3.1.3.3 Potencia por Área.....	42
3.1.4 Envejecimiento 4: 15 años	42
3.1.4.1 Voltaje.....	43
3.1.4.2 Corriente.....	43
3.1.4.3 Potencia.....	44
3.1.4.3 Potencia por Área.....	45
3.1.5 Envejecimiento 5: 20 años	45
3.1.5.1 Voltaje.....	46
3.1.5.2 Corriente.....	46
3.1.5.3 Potencia.....	47
3.1.5.3 Potencia por Área.....	48
3.2 Comportamiento de las Variables Ambientales y factores meteorológicos	48
3.2.1 Factores Meteorológicos.....	49
3.2.1.1 Radiación.....	49
3.2.1.2 Temperatura.....	50

3.2.1.3 Velocidad del Viento	51
3.2.1.4 Precipitación	52
3.2.1.5 Humedad Específica	53
3.2.2 Contaminantes Ambientales	54
3.2.2.1 SO₂	54
3.2.2.2 SO₄	55
3.2.2.1 PM_{2.5}	56
Capítulo 5	62
4. Discusión de Resultados	62
Capitulo 6	66
5. Conclusiones	66
6. Recomendaciones	67
Bibliografía	68

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. ASTM G154 Ciclo A.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2. Lista de componentes y materiales principales.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 3. Fechas de recolección de datos de acuerdo con los envejecimientos.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 4. Variables meteorológicas y de contaminación de aire utilizados en la modelización de la energía producida por paneles fotovoltaicos.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5. Coeficientes de regresión del modelo generalizado para cada covariable estadísticamente significativa y criterios de evaluación del modelo.....</i>	<i>57</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Panel solar en la máquina de envejecimiento.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2. Punto de Recolección de Datos.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Montaje del panel y adaptación del panel para registro de valores.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Metodología utilizada para el panel solar nuevo.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5. Metodología utilizada para el panel solar envejecido 5, 10, 15 y 20 años.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 1.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 1.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 9. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 10. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 12. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 2.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 3.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 15. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 3.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 16. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 3.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 17. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 18. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 4.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 19. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 4.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 4.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 4.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 22. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 5.....</i>	<i>46</i>

<i>Figura 23. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 5</i>	46
<i>Figura 24. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 5</i>	47
<i>Figura 25. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 5</i>	48
<i>Figura 26. Radiación promedio en (W/m²) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	49
<i>Figura 27. Temperatura promedio en (K) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	50
<i>Figura 28. Velocidad del viento (m/s) promedio en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	51
<i>Figura 29. Precipitación promedio en (mm/H) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	52
<i>Figura 30. Humedad específica en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	53
<i>Figura 31. Concentración promedio de SO₂ en (kg/m³) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	54
<i>Figura 32. Concentración promedio de SO₄ en (kg/m³) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	55
<i>Figura 33. Material particulado (PM_{2.5}) promedio en (kg/m³) en función del tiempo de los 5 envejecimientos</i>	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1

<i>Tabla 1. Datos de la etapa 1 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 2. Datos de la etapa 2 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3. Datos de la etapa 3 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 4. Datos de la etapa 4 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 5. Datos de la etapa 5 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 6. Datos de la radiación en (W/m²) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 7. Datos de la temperatura en (K) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 8. Datos de la velocidad del viento en (m/s) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 9. Datos de la precipitación en (mm/H) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 10. Datos de la humedad específica promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 11. Datos de SO₂ (kg/m³) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 12. Datos de SO₄ (kg/m³) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 13. Datos del material particulado (PM_{2.5}) en (kg/m³) promedio por horas de las 5 etapas.....</i>	<i>88</i>

RESUMEN

La energía solar es una fuente de energía alternativa, limpia, segura, rentable y amigable con el medio ambiente. La manera de aprovechar esta energía es por medio de paneles solares. Estos convierten directamente la energía solar en energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos de silicio cristalino son los más usados por sus características de conductividad eléctrica y su bajo costo económico. Sin embargo, las condiciones climáticas (factores meteorológicos y contaminación atmosférica) interfieren en la producción de potencia útil producida por los paneles. Los factores meteorológicos y de contaminación del aire han sido estudiados por separado, sin embargo, son escasos los estudios que los estudian en conjunto.

En el presente trabajo se analizó la influencia horaria de variables meteorológicas como la temperatura superficial (K), la radiación (w/m^2), la humedad específica (%), y la precipitación (mm/h); además, de los contaminantes atmosféricos, tales como: SO_4 (kg/m^3), SO_2 (kg/m^3), y $PM_{2.5}$ (kg/m^3). Las variables meteorológicas y atmosféricas se obtuvieron de información satelital. Estas variables se relacionaron con la producción de potencia en función del voltaje (voltios) y corriente (amperios) proporcionados por paneles fotovoltaicos en Ecuador, al norte de la Capital, Quito. La importancia de este trabajo radica en la resolución temporal horaria de análisis. Además del uso la técnica de envejecimiento artificial acelerado para evaluar el rendimiento del panel en 0, 5, 10, 15 y 20 años. Se determinó un modelo lineal generalizado (GLM) para cada una de las etapas de estudio con las variables estadísticamente significativas. Determinando que, de manera general las variables climáticas más significativas que influyen en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos son la radiación y la temperatura. Además, de acuerdo con cada etapa de envejecimiento existen variables que influyeron negativa o positivamente con la eficiencia del panel solar. La influencia de la contaminación atmosférica y variables meteorológicas sobre la potencia producida paneles fotovoltaicos fue modelizada utilizando un marco de Modelización Lineal General (GLM en inglés). Los datos de potencia siguieron una distribución binomial negativa, debido a su sobre-dispersión en el tiempo. El modelo obtenido alcanzó un índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) en cada etapa, valores cercanos a 1 y coeficientes de correlación de Pearson cercanos a 1. Por tanto, el modelo propuesto es capaz de seguir la variabilidad horaria de potencia entregada por un panel fotovoltaico en función del deterioro y de las variables atmosféricas y meteorológicas.

ABSTRACT

Solar energy is an alternative, clean, safe, profitable and environmentally friendly source of energy. The way to take advantage of this energy is through solar panels. These directly convert solar energy into electrical energy. Crystalline silicon photovoltaic panels are the most widely used due to their electrical conductivity characteristics and their low economic cost. However, climatic conditions (meteorological factors and air pollution) interfere with the production of useful power produced by the panels. Meteorological and air pollution factors have been studied separately, however, there are few studies that study them together.

In the present work, the hourly influence of meteorological variables such as surface temperature (K), radiation (w/m^2), specific humidity (%), and precipitation (mm/h) was analyzed; In addition, atmospheric pollutants, such as: SO_4 (kg/m^3), SO_2 (kg/m^3), and $\text{pm}_{2.5}$ (kg/m^3). The meteorological and atmospheric variables were obtained from satellite information. These variables were related to the power production as a function of voltage (volts) and current (amps) provided by photovoltaic panels in Ecuador, north of the capital, Quito. The importance of this work lies in the hourly temporal resolution of the analysis. In addition to the use of the accelerated artificial aging technique to evaluate the performance of the panel at 0, 5, 10, 15 and 20 years. A generalized linear model (GLM) was determined for each of the study stages with the statistically significant variables. Determining that, in general, the most significant climatic variables that influence the performance of photovoltaic panels are radiation and temperature. In addition, according to each stage of aging, there are variables that negatively or positively influenced the efficiency of the solar panel. The influence of air pollution and meteorological variables on the power produced by photovoltaic panels was modeled using a General Linear Modeling (GLM) framework. The power data followed a negative binomial distribution, due to its over-dispersion in time. The model obtained reached a Nash-Sutcliffe efficiency index (NSE) in each stage, values close to 1 and Pearson correlation coefficients close to 1. Therefore, the proposed model is capable of following the hourly variability of power delivered by a photovoltaic panel depending on the deterioration and the atmospheric and meteorological variables.

Capítulo 1

En el mundo, 1.700 millones de personas no tienen acceso a la electricidad. La falta de acceso a servicios energéticos modernos limita severamente el desarrollo socioeconómico y tecnológico de varios países (Vera & Langlois, 2007). La electricidad generada a partir de fuentes renovables ha mostrado un crecimiento notable en todo el mundo. Sin embargo, estas raras veces pueden dar una respuesta inmediata a la demanda, ya que no ofrecen un suministro regular (Ibrahim et al., 2008). Por tanto, la creciente amenaza del calentamiento global y el cambio climático ha centrado la atención en la relación entre el consumo de energía y los contaminantes ambientales (Lean & Smyth, 2010).

La energía solar es una fuente de energía alternativa, inacabable, limpia, segura, rentable y amigable con el medio ambiente (Yang et al., 2021). Actualmente, se han implementado nuevas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar (Kabir et al., 2018). De acuerdo con Crabtree & Lewis (2008) la potencia que entrega el sol al planeta tierra es de $1,2 \times 10^5$ terawatts. Valor que supera a cualquier otra fuente de energía renovable o no renovable. Por lo tanto, la energía solar puede ser aprovechada por medio de varios procesos, siendo las principales los métodos: fototérmicos, fotocatalíticos y el más conocido el proceso fotovoltaico (Gong et al., 2019).

Las celdas fotovoltaicas convierten directamente la energía solar en energía eléctrica por medio del efecto fotoeléctrico. Cuando los fotones de luz inciden sobre la celda, transfieren su energía a los portadores de carga. Gracias al campo eléctrico se separan los portadores de carga positiva fotogenerados de los electrones. Por este efecto, se extrae una corriente eléctrica que se utiliza como electricidad (Dincer et al., 2010). La generación de energía fotovoltaica es la más eficiente entre los recursos de energía renovable para expandir los suministros de energía distribuidos a pequeña escala, y se espera que continúe creciendo porque sus costos de generación de energía están disminuyendo más rápido (Son & Jung, 2020). Resultando ser una alternativa viable para mitigar el cambio climático.

Las celdas fotovoltaicas están compuestas por materiales semiconductores los cuales producen electricidad dependiendo de la intensidad de la radiación en su superficie (Bayrak et al., 2019). Para que las celdas fotovoltaicas sean útiles para su uso cotidiano deben ser económicamente accesibles. Esto se relaciona con los materiales que se los construye. Los paneles fotovoltaicos

poseen tres clasificaciones, silicio cristalino, silicio amorfo y otros paneles fotovoltaicos con tecnología de película delgada (Olofin et al., 2023). Siendo los más eficaces y fiables los de silicio cristalino. Estos a su vez se dividen en monocristalinos o policristalinos. A su vez, también, deben ser eficientes y tener una larga vida útil operativa. La vida útil de las celdas fotovoltaicas esta alrededor de los 20 años (Anderson, 1983).

La eficiencia de conversión fotovoltaica es el porcentaje de energía solar incidente que se transforma en energía eléctrica. La eficiencia de los paneles solares se puede aumentar implementando material altamente eficiente para la fabricación de celdas solares llegando desde el 15% hasta un 50% (University of Michigan, 2022).

Sin embargo, la eficiencia de los paneles solares está ligada a la ubicación geográfica. Es decir, que varía dependiendo de la latitud, el nivel del mar, la variación de la temperatura, las precipitaciones, el nivel del mar, la gravedad y la contaminación del aire (Principe & Takeuchi, 2019). Todos estos factores, afectan directamente en la cantidad de energía que se entrega. Además, estos factores meteorológicos no son independientes: los cambios en uno casi siempre coinciden con los cambios en otro. Existen correlaciones que no son triviales y pueden estar vinculadas por coincidencia o causalidad. Las variaciones del rendimiento de las células solares son funciones complejas de las condiciones de operación y dependen de la ubicación (Schweiger et al., 2017).

Por ello, resulta interesante realizar el estudio en un punto estratégico del mundo. Quito es un valle situado a 2860 msnm y se encuentra atravesado por la línea Equinoccial (Peñaherrera M., 2008). Quito, al estar situado en la mitad del mundo tiene un nivel de radiación solar alto durante todo el año, Además, de que los rayos del sol inciden de forma perpendicular (Carrión, 2016). En cuanto a los factores meteorológicos sobre la ciudad, los de mayor importancia son la radiación, la temperatura, y la humedad que considera la cantidad de precipitaciones al año. En cuanto a la temperatura de Quito es de 10°C a 20°C durante todo el año, humedad relativa de entre 65% a 85%; siendo noviembre y mayo los meses de mayor humedad y la radiación como se mencionó antes es alta y extremadamente alta (Canar et al., 2020). Factores como los procesos de congelamiento y descongelamiento no tienen influencia. Debido a que en la urbe capitalina solamente hay dos estaciones, invierno y verano (Zambrano-Barragán, Zevallos, et al., 2011).

La química y la producción de energía están concatenadas. Puesto que, sin química no podría producirse energía. Actualmente, se busca implementar energías renovables para reducir el impacto del calentamiento global. El investigar sobre los paneles solares es campo de estudio muy motivador. El potencial de los paneles solares para aprovechar la energía solar y transformarla en energía utilizable es un área de gran interés para los investigadores del mundo. Los paneles solares permiten la producción de energía descentralizada. Se pueden instalar en azoteas o en lugares remotos, proporcionando electricidad a comunidades que no están conectadas a la red eléctrica tradicional. Los químicos pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la eficiencia y la durabilidad de los paneles solares, haciéndolos más accesibles y confiables para aplicaciones fuera de la red. Además, el conocimiento que poseen los químicos es de gran utilidad para realizar investigaciones sobre las variables atmosféricas y meteorológicas que pueden afectar en la producción de energía que se obtiene del panel solar. Al participar activamente en investigaciones de paneles solares, los químicos pueden ayudar a mejorar el acceso a la energía y permitir la equidad en comunidades alejadas que no dispongan de energía tan fácilmente.

En el presente trabajo se analizó la influencia horaria de variables meteorológicas como la temperatura superficial (K), la radiación (w/m^2), la humedad específica (%), y la precipitación (mm/h); además, de los contaminantes atmosféricos, tales como: SO_4 (kg/m^3), SO_2 (kg/m^3), y $\text{PM}_{2.5}$ (kg/m^3). Las variables meteorológicas y atmosféricas se obtuvieron de información satelital. Estas variables se relacionaron con la producción de potencia en función del voltaje (voltios) y corriente (amperios) proporcionados por paneles fotovoltaicos en Ecuador, al norte de la Capital, Quito. Por tanto, se pretende determinar cuáles son las variables estadísticamente significativas que influyen directamente en la potencia y eficiencia del panel solar, a su vez, cuales son despreciables dada su naturaleza. La importancia de este trabajo radica en la resolución temporal horaria de análisis. Además del uso la técnica de envejecimiento artificial acelerado para evaluar el rendimiento del panel en 0, 5, 10, 15 y 20 años.

Los objetivos del trabajo fueron:

Objetivo General

Evaluar horariamente el rendimiento de la potencia energética en un panel fotovoltaico de silicio expuesto a condiciones climáticas extremas, mediante la corriente y voltaje, para establecer curvas

de eficiencia energética tomando en consideración factores meteorológicos y contaminantes ambientales según el tiempo de envejecimiento.

Objetivos Específicos

- Determinar las variables climáticas más significativas que influyen en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos.
- Analizar las variables que afectan a los paneles fotovoltaicos bajo condiciones de envejecimiento.

Capítulo 2

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Cambio Climático

El cambio climático se refiere a la variación de la temperatura del planeta Tierra. Evento que desencadena en la variación de las condiciones normales del planeta. Estas traen consigo una serie de eventos adversos para quienes lo habitamos. Es por eso por lo que se vuelve imperante hacer un análisis acerca de los eventos secundarios que coadyuvan con el cambio climático (Change, 2017). Entre los que se encuentran el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono y los gases de efecto invernadero. Mismos que repercuten de forma negativa en las condiciones de equilibrio del planeta.

1.2 Calentamiento Global

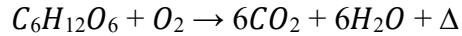
El calentamiento global es una problemática que aqueja al mundo desde el año 1850. Esta causa que se eleve la temperatura promedio del planeta Tierra. El calentamiento global se da principalmente a causa de actividades humanas como; la quema de combustibles fósiles. Aunque también se da por fenómenos naturales como es el caso de las erupciones volcánicas (Drake, 2014).

1.3 GEI

Los gases de efecto invernadero, GEI, son aquellos que retienen parte de la radiación infrarroja que emite la Tierra tras ser calentada por el sol. De forma general, el planeta tiene un balance radiactivo. Es decir, tiene un equilibrio entre la cantidad de radiación que recibe y la que emite en forma de radiación infrarroja. Los GEI son atrapados por la radiación infrarroja de la Tierra, lo que causa que su concentración aumente y que se trate de reestablecer el equilibrio energético (Klein et al., 2008).

1.3.1 CO₂

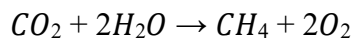
El dióxido de carbono es uno de los más importantes desde el punto de vista del cambio climático. Sin embargo, este no es el de mayor importancia. El dióxido de carbono ha aumentado notablemente su concentración en la atmósfera, de 203 partes por millón en 1800 a 418,90 partes por millón en el 2020. Esto a causa del desarrollo de la sociedad con la revolución industrial. De forma general, la producción de dióxido de carbono se da por la quema de combustibles fósiles y su reacción química se asemeja a la de la oxidación de la glucosa (Herzog, 2009).



(Ecuación 1. Reacción de la oxidación de la glucosa para la producción de dióxido de carbono, energía y agua)

1.3.2 Metano

Inicialmente, se creía que el metano se producía principalmente a partir de la ganadería. No obstante, desde los últimos años ha captado gran atención, dado que, su potencial de efecto invernadero es 25 veces más potente que el del dióxido de carbono; aunque, su tiempo de vida media es únicamente de 10 años. Cabe destacar también que el metano se produce de forma natural a través de la descomposición anaerobia de los humedales y los incendios forestales. Resultados muestran que el metano proviene un 18% las emisiones del petróleo, 17% de la emisión de los rumiantes, 10% del cultivo del arroz y 7% de la descomposición de la basura que se encuentra depositada en vertederos (Sahakian et al., 2010). Así mismo, se debe destacar que el metano se produce en la atmosfera tras la combinación entre el dióxido de carbono y el vapor de agua. De hecho, la producción de metano atmosférico se ha estudiado tan afondo que el GEI tiene un ciclo que explica su producción



(Ecuación 2. Reacción de producción de metano)

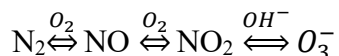


(Ecuación 3. Reacción del metano en la atmósfera)

1.3.3 Óxidos Nitrosos y Gases Fluorados

Los óxidos nitrosos, especialmente el NO₂ y los gases fluorados son de suma importancia entre los GEI. El óxido de nitrógeno se produce de forma natural 60% y antrópica 40%, y tiene un interés especial porque posee un potencial de efecto invernadero de 300 veces el CO₂; además, de que tiene una vida media de más de un siglo (Scarcello et al., 2020). Por otra parte, los gases fluorados son exclusivamente de origen antrópico. A pesar de que estos son una alternativa que busca reemplazar a los CFC, no quiere decir que estos no sean contaminantes. Estos gases son los encargados de formar el agujero de la capa de ozono y tienen un poder de GEI 22000 veces mayor

al del CO₂, Sin embargo, y ventajosamente su presencia en la atmosfera es mínima, menor al 2% (Altshuller, 1956).



(Ecuación 4. Reacción de producción de óxidos de nitrógeno y su descomposición)

1.4 Impactos

Los gases de efecto invernadero, GEI, son una problemática que impacta de diversas formas en el entorno. Entre estos destacan los impactos; sociales, económicos y ambientales

1.4.1 Sociales

Junto con el calentamiento global y el cambio climático, los gases de efecto invernadero tienen impactos adversos en la salud humana. Las emisiones de GEI contribuyen a la contaminación del aire, lo que puede provocar problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares y otros problemas de salud. Las poblaciones más vulnerables, como los niños, los ancianos y las personas con condiciones preexistentes, están particularmente en riesgo (Naiyer & Abbas, 2022).

El cambio climático a su vez se relaciona con la seguridad alimentaria. El cambio climático afecta la productividad agrícola, lo que lleva a una reducción del rendimiento de los cultivos, una mayor presión de plagas y enfermedades y cambios en la disponibilidad de recursos hídricos. Estos factores pueden afectar la producción de alimentos, lo que lleva a la escasez de alimentos y al aumento de los precios de los alimentos (Hasegawa et al., 2018).

1.4.2 Económicos

Los eventos climáticos extremos causados por el cambio climático, como huracanes, inundaciones e incendios forestales, pueden dañar infraestructura crítica como carreteras, puentes y redes eléctricas. La reconstrucción y reparación de la infraestructura es costosa y desvía recursos de otras áreas. Además, los impactos negativos afectarán mayoritariamente en países más pobres, cálidos y de baja altitud (Tol, 2018).

Los eventos relacionados con el cambio climático pueden interrumpir las cadenas de suministro, afectar la producción agrícola y generar mayores costos de seguro. Estas interrupciones pueden resultar en pérdidas económicas para las empresas y mayores cargas financieras para las personas (Balafoutis et al., 2017).

Los impactos en la salud asociados con la contaminación del aire y la propagación de enfermedades transmitidas por vectores causadas por el cambio climático pueden conducir a mayores costos de atención médica. El tratamiento y la gestión de estos problemas de salud ejercen una presión adicional sobre los sistemas de atención médica (Chen et al., 2013).

1.4.3 Ambientales

El cambio climático afecta a los ecosistemas, lo que lleva a la degradación del hábitat, la extinción de especies y la alteración del equilibrio ecológico. Estos impactos pueden tener efectos en cascada sobre la biodiversidad, interrumpiendo las cadenas alimentarias naturales y los procesos ecológicos (Harrould-Kolieb & Herr, 2012). Las emisiones de GEI contribuyen al calentamiento global, lo que altera los patrones climáticos y afecta la provisión de servicios de los ecosistemas, como la purificación del agua, la polinización y el secuestro de carbono. Los cambios en estos servicios pueden tener implicaciones de largo alcance para las sociedades humanas. Los océanos absorben el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, lo que da como resultado la acidificación de los océanos. Esta acidificación representa una amenaza significativa para la vida marina (Billé et al., 2013)

Abordar los impactos sociales, económicos y ambientales de las emisiones de GEI requiere acción colectiva, esfuerzos de mitigación y la transición a fuentes de energía sostenibles.

1.5 Energía

Se ha dicho que la energía es la única moneda universal, ya que, en sus múltiples formas, transformándose de una en otra, hace que brille el Sol, que la Tierra gire, que crezcan las plantas, que nosotros nos movamos y que nuestras civilizaciones se desarrollen. Además, como en todo sistema monetario, de su estabilidad y buen uso depende la calidad de vida de las comunidades humanas. Por ello, la "educación energética" adquiere una enorme importancia en nuestros días. Desde el punto de vista técnico, la energía se define como la capacidad de realizar un trabajo, una vez definido el trabajo como el producto de la fuerza aplicada y la distancia recorrida. Claro que previamente se dice qué es la fuerza, a la que sentimos muy cercana cuando se manifiesta como un empujón. Ya cuando se llega a discutir física moderna, aprendemos que la energía y la masa son equivalentes. (Tagueña & Martínez, 2000). La energía que se genera por el movimiento de los electrones se denomina energía eléctrica. Cuanto más rápido es el movimiento de las cargas, su energía es mayor. La energía eléctrica se mide en Julio o vatio/segundo. La engería eléctrica es la

encargada de la producción de electricidad mediante el flujo de los electrones a través de un cable conductor (Bailey & Lefton, 2006).

1.5.1 Aspectos Técnicos

1.5.1.1 Voltaje

El voltaje o diferencia de potencial eléctrico, es la diferencia que existe entre dos puntos. En un campo eléctrico estático, corresponde al trabajo necesario por unidad de carga para mover una carga de prueba entre dos puntos. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad derivada de voltaje se llama voltio (BIMP, 2019).

1.5.1.2 Corriente

La corriente es la velocidad a la que los electrones pasan a través del pin en un circuito eléctrico completo. En su forma más básica, actual = cadena. El amperio (A) o ampere es la unidad universal de corriente. Indica la cantidad de electrones (a veces llamados "carga eléctrica") que pasan por un punto del circuito en un tiempo determinado (Fischer-Cripps, 2004). Una corriente de 1 amperio significa que 1 culombio de electrones, es decir, 6240 millones de billones ($6,24 \times 10^{18}$) de electrones, pasa por un solo punto de un circuito en 1 segundo.

1.5.1.3 Corriente Continua

La corriente continua (DC) es una corriente eléctrica que es unidireccional, por lo que el flujo de carga es siempre en la misma dirección. A diferencia de la corriente alterna, la dirección y el amperaje de las corrientes continuas no cambian (Paynter & Boydell, 2013). Se utiliza en muchos aparatos electrónicos del hogar y en todos los dispositivos que usan baterías.

1.5.1.4 Resistencia

Cuando una corriente eléctrica está presente en un material, los electrones libres se mueven a través de él y de vez en cuando chocan con los átomos. Estas colisiones hacen que los electrones pierdan parte de su energía, restringiendo su movimiento. Cuantas más colisiones, más restringido es el flujo de electrones. Este límite varía según el tipo de material. La propiedad de un material de limitar o impedir el flujo de electrones se llama resistencia, R (Alberth & Padilla, n.d.). La resistencia es la oposición a la corriente. Se mide en unidades de ohmios (Ω)

1.5.1.5 Potencia

Potencia es la cantidad de energía transferida o convertida por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de potencia es el vatio (Watts), equivalente a un julio por segundo (Hill, 1994). Se calcula por medio de la multiplicación entre el voltaje y la corriente.

1.5.2 Energías Alternativas

De acuerdo con (Mohtasham, 2015), la energía renovable se deriva de procesos naturales que se reponen constantemente. En sus diversas formas, deriva directamente del sol, el viento, la lluvia, las mareas del océano, la biomasa y los recursos geotérmicos del calor generado en las profundidades la tierra. En 2008, alrededor del 19 % del consumo mundial de energía final provino de fuentes renovables, con un 13 % procedente de biomasa tradicional, y un 3,2% de hidroelectricidad. La cuota de las energías renovables en la generación de electricidad ronda el 18%. De cual, el 15% de la electricidad global proveniente de la hidroelectricidad y el 3% de las nuevas formas de energía renovable. La energía renovable reemplaza los combustibles convencionales en cuatro áreas distintas: generación de energía, agua caliente, combustibles para el transporte y rural (fuera de la red).

A diferencia de las fuentes convencionales, el uso de fuentes de energía renovable tiene múltiples beneficios, incluidos; una mayor seguridad energética, un crecimiento económico sostenible, y una reducción de la contaminación, en particular, de las emisiones de gases de efecto invernadero (Can Şener et al., 2018). A su vez, también es importante elegir la fuente de energía a utilizar considerando las necesidades de la población, el costo, la estabilidad, la eficiencia y los efectos ambientales (Kothari et al., 2010). La energía renovable tiene diversos tipos y se obtienen de todo a nuestro alrededor.

1.5.2.1 Tipos de Energía Renovables

La energía renovable tiene diversos tipos y se obtienen de todo a nuestro alrededor. Como la Energía Eólica, la cual proviene del movimiento de masa de aire es decir del viento; Energía fotovoltaica, es la transformación directa de la radiación solar en electricidad; Solar térmica o termo solar, es aquella que aprovecha la energía de los rayos del sol para generar calor de forma limpia y respetuosa con el medio ambiente; Hidráulica, es electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento; Nuclear, es la energía en el núcleo de un átomo, se puede utilizar para producir electricidad, se puede obtener de dos formas: fusión nuclear y fisión nuclear

(Spiegeler & Cifuentes, 2016).

1.5.3 Envejecimiento Simulado

El envejecimiento artificial acelerado (AA) se usa con el fin de evaluar las propiedades físicas y químicas de los equipos en función de su rendimiento. En las máquinas de AA se manipulan condiciones de temperatura, radiación y humedad relativa. Tratando de simular las condiciones ambientales de un lugar determinar en un tiempo determinado (Zambrano-Barragán, C., et al., 2011).

1.5.3.1 Descripción

El envejecimiento se realizó con una cámara de envejecimiento acelerado; donde se controlaron factores climáticos como; la humedad, la temperatura y la radiación UV. El Accelerated weathering tester – Modelo QUV Basic.

1.5.3.2 Métodos

Las condiciones y el tiempo de envejecimiento fueron determinados mediante el software Solver, desarrollado por el Ing. Alarcón en la PUCE. El programa funciona mediante un algoritmo que determina las condiciones de los ciclos de envejecimiento. Cada ciclo fue constituido por tres partes; Primero, 25°C durante 1200min y humedad relativa del 70%. Segundo 35°C con humedad relativa del 50% durante 800min. Tercero, 20°C con humedad relativa del 50% por 1250 min. (Pazos Castillo, 2018) La radiación a la que se vio expuesto el panel dependió de; la radiación emitida por las seis lámparas (4050 W/m^2), la temperatura de la cámara y las condiciones de heliofanía (Cárdenas Freire & Cárdenas Freire, 2010). En función de las condiciones empleadas se consideró que un período de 13 días del material dentro de la cámara de envejecimiento corresponde al paso de 20 años. Cada 83,5 horas equivalente a 5 años de exposición. Con la intención de simular 20 años, se envejeció por un total de 334 horas.

Tabla 1. ASTM G154 Ciclo A

Paso	Función	Irradiancia (W/m^2)	Temperatura (°C)	Tiempo (hh:mm)
1	UV	0,89	60	8:00
2	Condensación	N/A	50	4:00
3	Repetir paso 1	-	-	-



Figura 1. Panel solar en la máquina de envejecimiento

Capítulo 3

2. Metodología

2.1 Materiales

Los principales elementos y materiales utilizados para este estudio fueron: el panel solar, un multímetro, una resistencia y Accelerated weathering tester. En la tabla 2 se muestran los componentes y la razón de su selección.

Tabla 2. Lista de componentes y materiales principales

Componente	Especificaciones	Motivo de selección
Panel Solar	Marca: CCLAMP Modelo: CL-1615 Tipo: Módulo fotovoltaico solar a base de silicio Tamaño: 36,5 x 25 x 2,5 cm	Captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica (Voltaje, corriente).
Multímetro	Marca: Truper Modelo: MUT 830 Tamaño: 150 x 70 x 24 mm	Para tomar lectura de corriente y voltaje directamente del panel.
Resistencia	Potencia: 10W Ohmios: 200	Para crear el circuito que permita realizar la medida de la corriente.
Accelerated weathering tester	Marca: QUV Modelo: Basic Parámetros: UV y condensación	Máquina mediante la cual en pocos días o semanas se puede simular años al aire libre.

2.2 Área de Estudio

La investigación y recopilación de datos se realizó en la azotea de la vivienda del autor en Quito, Ecuador.

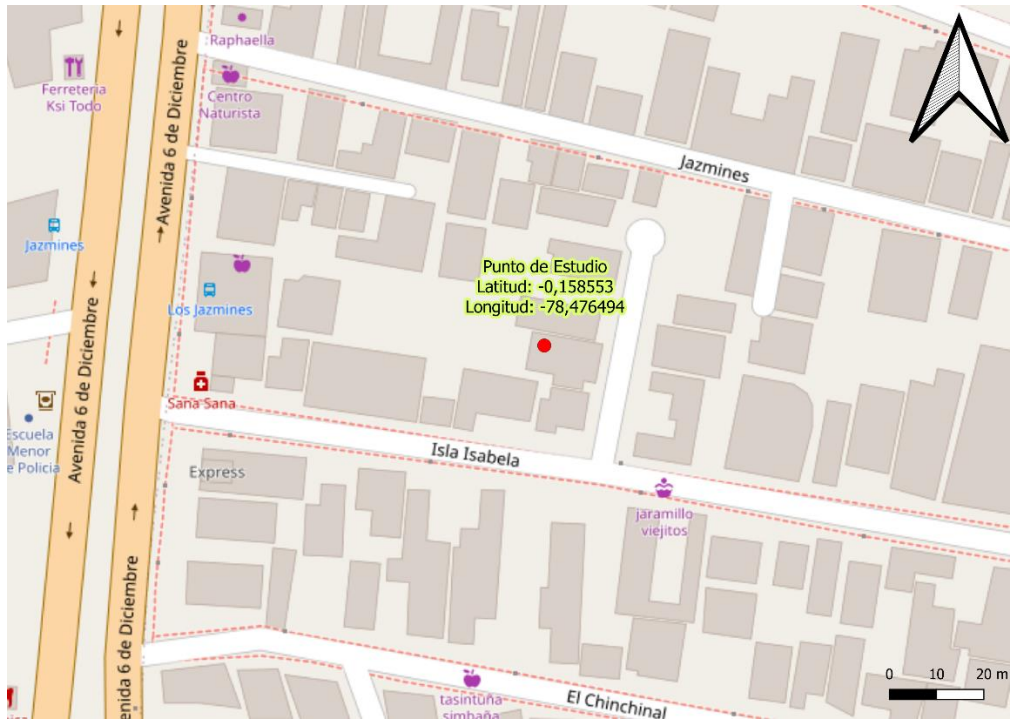


Figura 2. Punto de recolección de datos

2.3 Montaje del Panel Solar

El panel solar CCLAMP modelo CL-1615 fue adaptado por medio de un cable conectado a una resistencia de 10 ohmios para que, por medio del multímetro, se registren los valores de corriente y voltaje. Se lo colocó en la azotea donde no existía ninguna estructura que evitara que la radiación solar incidiera directamente en el panel.



Figura 3. Montaje del panel y adaptación del panel para registro de valores

2.3.1 Recolección de Datos

El panel solar se lo ubicó en el punto determinado y se tomaron medidas desde las 6 AM hasta las 18 PM en intervalos de cada hora. Con la ayuda del multímetro se registraba el valor de voltaje (voltios) y el de corriente (amperios). Se tomaron medidas 20 días y se registraron los datos para calcular la potencia obtenida cada hora. En la recolección de datos, en algunas horas no se recolectaron de voltaje (v) y corriente (A) debido al clima. Para ello, a los datos faltantes, se los completó por medio de un modelo de imputación.

Finalizado el primer proceso se realizó el primer proceso de envejecimiento. Se procedió a recolectar nuevamente datos de voltaje y amperaje en el mismo punto de estudio por 2 días de 6 AM a 18 PM. Este proceso se repitió cada vez que se completaba las 83,5 horas de envejecimiento hasta la culminación de las 334 horas es decir 20 años de simulación.

Tabla 3. Fechas de recolección de datos de acuerdo con los envejecimientos

Envejecimiento	Fechas de recolección de datos	Horas por Etapa
5 años	01/02/2023 – 02/02/2023	396
10 años	08/02/2023 – 09/02/2023	24
15 años	22/02/2023 – 23/02/2023	24
20 años	04/03/2023 – 05/03/2023	24

2.3.2 Tratamiento de Datos

Los datos horarios recolectados para voltaje y corriente eléctrica tuvieron un comportamiento similar a una curva parabólica o función cuadrática

Ec. 4
$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Donde $f(x)$ era el voltaje o la corriente eléctrica (voltios o amperios). La variable dependiente, x , es el tiempo en horas; a , b y c son los coeficientes de regresión.

Para la potencia de cada hora producida por los paneles fotovoltaicos se calculó utilizando la siguiente relación:

Ec. 5
$$\text{Potencia (Watts)} = \text{Voltaje(voltios)} \times \text{Corriente (Amperios)}$$

Finalmente, utilizando el área de incidencia de radiación solar en el panel fotovoltaico, la potencia por área es:

$$Ec. 6 \quad \text{Potencia} \left(\frac{\text{Watts}}{\text{m}^2} \right) = \frac{[\text{Voltaje(voltios)} \times \text{Corriente (Amperios)}]}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

2.3.3 Modelo Lineal Generalizado (GLM)

Para evaluar la energía producida por la celda fotovoltaica en función de los datos meteorológicos y de contaminación del aire, se usó un modelado lineal (GLM) tomando en consideración el criterio AIC, el cual se refiere a las variables estadísticamente significativas. Luego, a los resultados del modelo con covariables estadísticamente significativas se les aplica el criterio de evaluación, correlación NSE y Person.

2.4 Bases de Datos de contaminación del aire y variables atmosféricas

Los datos meteorológicos y de contaminación del aire se compilaron por medio de un sistema satelital de recolección de datos meteorológicos. Para los modelos matemáticos se utilizó Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2 (MERRA-2). Las variables compiladas están descritas en la tabla 4.

Tabla 4. Variables meteorológicas y de contaminación de aire utilizados en la modelización de la energía producida por paneles fotovoltaicos.

Variable	Unidades	Fuente	Medidas	Resolución espacial
Datos Meteorológicos				
Radiación	$W \cdot m^{-2}$	MERRA-2: M2T1NXRAD	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
Temperatura	K	MERRA-2: M2I1NXLFO	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
Velocidad del aire	$m \cdot s^{-1}$	MERRA-2: M2T1NXFLX	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
Precipitación	$mm \cdot h^{-1}$	MERRA-2: M2T1NXFLX	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
Humedad específica	-	MERRA-2: M2I1NXLFO	Cada hora	0.50°×625° lat- lon

Datos de contaminación del aire

PM2.5	$kg \cdot m^{-3}$	MERRA-2: M2T1NXAER	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
SO ₂	$kg \cdot m^{-3}$	MERRA-2: M2T1NXAER	Cada hora	0.50°×625° lat- lon
SO ₄	$kg \cdot m^{-3}$	MERRA-2: M2T1NXAER	Cada hora	0.50°×625° lat- lon

2.5 Diagramas de Flujo de la metodología propuesta

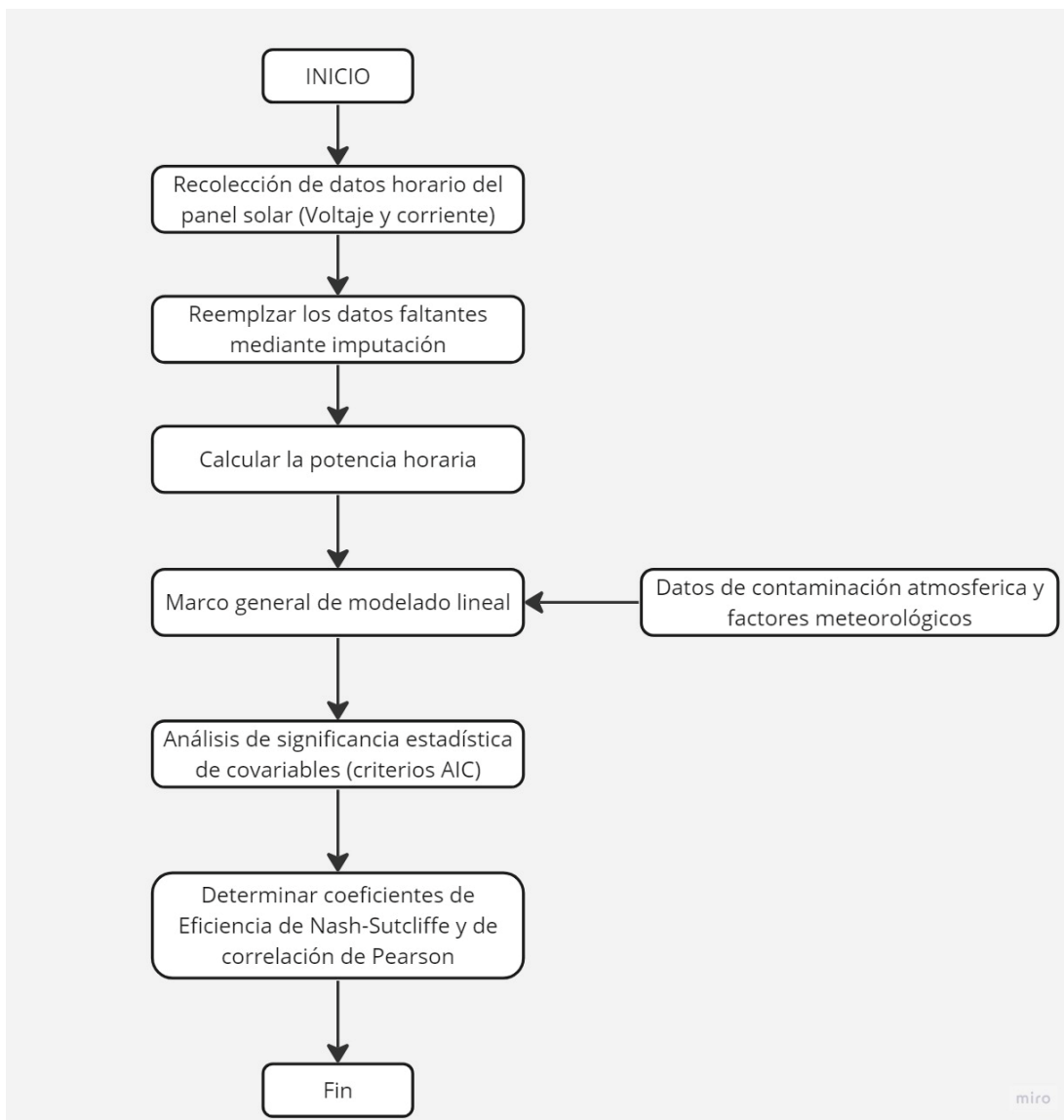


Figura 4. Metodología utilizada para el panel solar nuevo

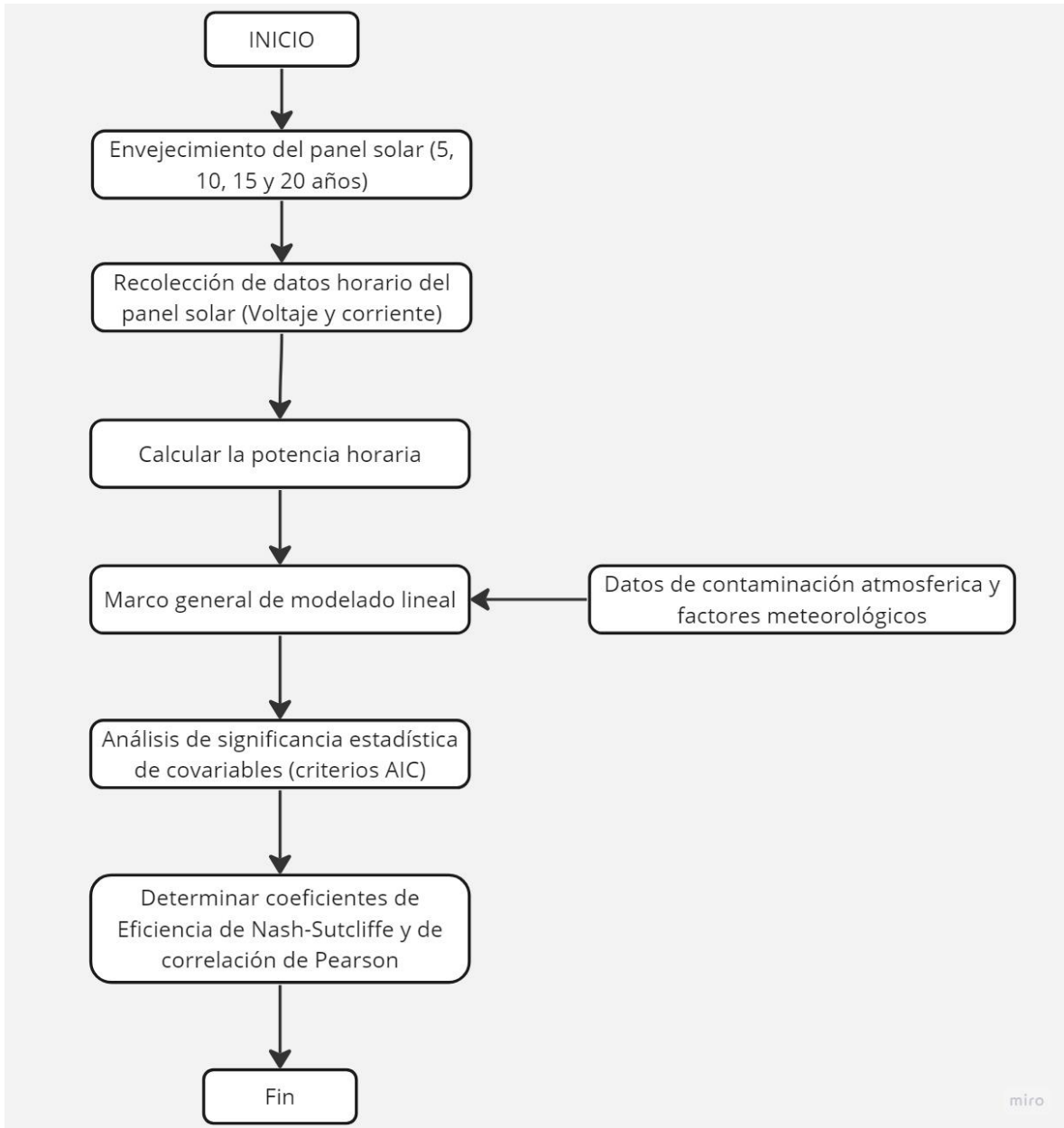


Figura 5. Metodología utilizada para el panel solar envejecido 5, 10, 15 y 20 años

Capítulo 4

3 Resultados

3.1 Voltaje (V), corriente (A), potencia (W) y potencia por área (W/m²) de cada etapa de estudio.

3.1.1 Envejecimiento 1: Panel solar nuevo

Para esta etapa de análisis se tomaron datos de un total de 396 horas. Se determinaron las medidas de voltaje, corriente, potencia y potencia por área que generó el panel solar del 22/12/2023 hasta el 23/01/2022.

3.3.1.1 Voltaje

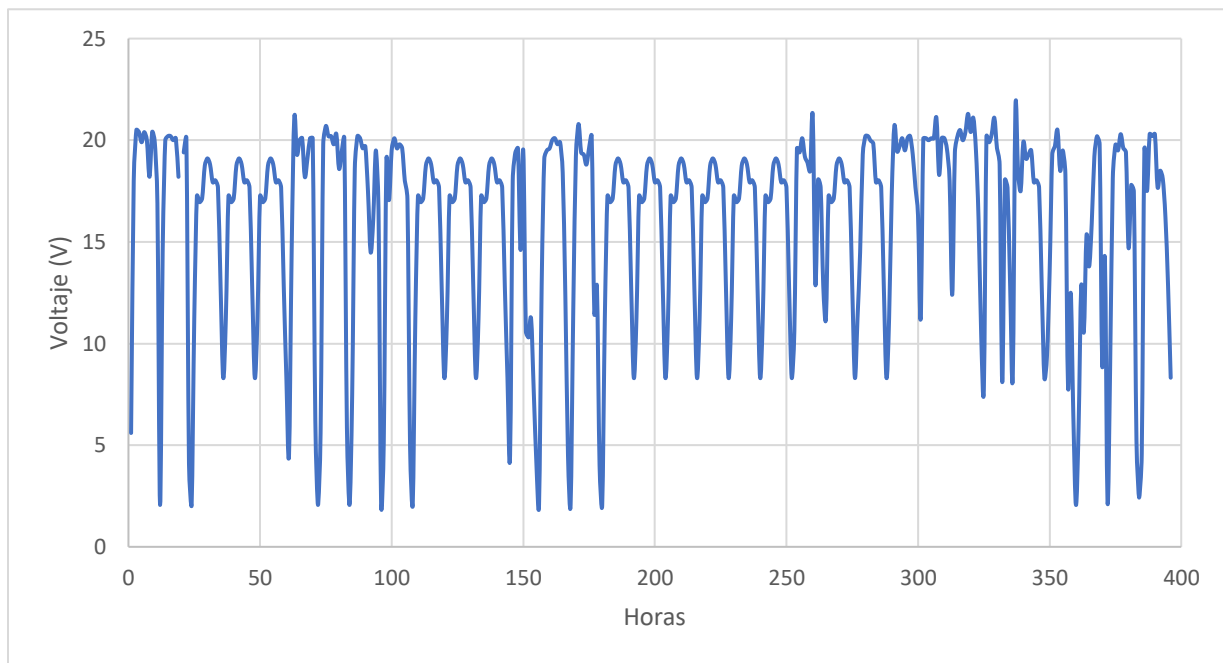


Figura 6. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 1

En la figura 6 se observa el comportamiento del voltaje en función de las horas totales de trabajo. Es notorio el incremento del voltaje en las primeras horas, llegando hasta un punto máximo en donde se mantiene constante; aparentemente, se tiene un comportamiento parabólico. Luego de cierta hora disminuye el voltaje hasta llegar a un punto mínimo de energía. Esto está relacionado con el ciclo del día. El incremento del voltaje va de 7h00 a las 13h00 7 aproximadamente, posterior a esto el voltaje decae hasta la última toma de datos que son las 18h00. De acuerdo con los datos, para este caso, el voltaje más alto registrado en este rango de trabajo fue de 21.6 V, el 19/01/2023 a las 7h00. Además, el valor del voltaje mínimo fue de 2.06 V, mismo que representa el punto mínimo de la gráfica, debido a la imputación de datos.

3.3.1.2 Corriente

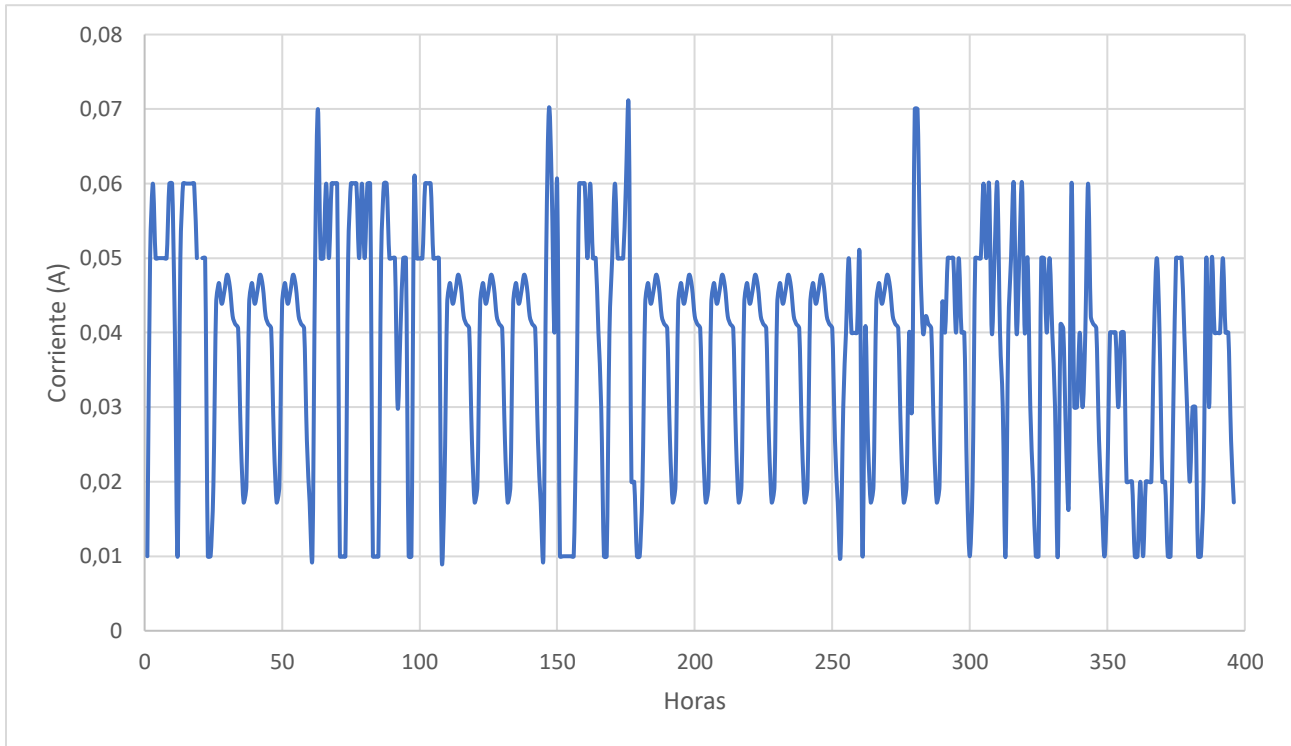


Figura 7. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 1

En la figura 7 se observa que la corriente sigue un patrón similar a de la figura 4. Es decir, la corriente incrementa en horas de la mañana, llega a un punto en el que se mantiene relativamente constante y decae con el paso de las horas. Esto se debe a que el voltaje y la corriente son proporcionales para la producción de potencia del panel solar. La corriente máxima fue de 0.07 A registrada en varios días del experimento, y la corriente mínima fue de 0.01 A. El tiempo total de estudio de esta etapa fue de 396 horas es decir 33 días de análisis.

Una vez obtenido los valores de voltaje y corriente es posible obtener la potencia de cada hora que se registraron medidas.

3.3.1.3 Potencia

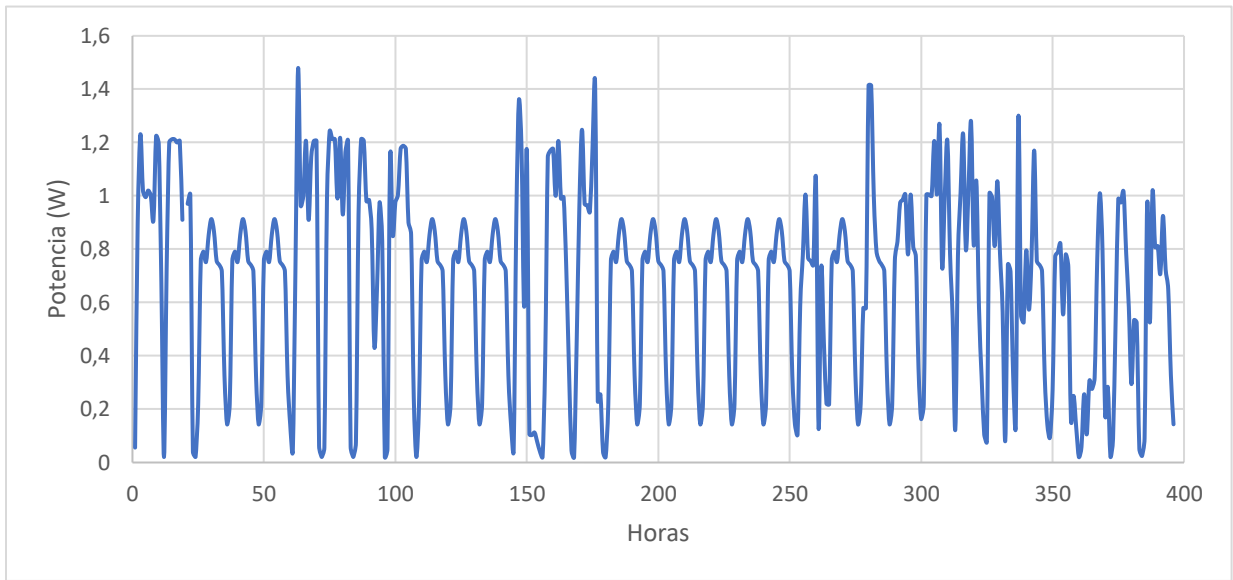


Figura 8. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 1

En cuanto a la figura 8, se observa la potencia generada por el panel solar. Es decir, el voltaje obtenido multiplicado por la corriente registrada horariamente. El comportamiento sigue con la misma tendencia parabólica, creciente en la mañana, luego constante y finalmente decrece. Así sucesivamente a lo largo de las horas de trabajo del panel solar. La potencia máxima generada por el panel solar fue de 1.477 W el 27/12/2022 a las 9h00.

3.3.1.4 Potencia por Área

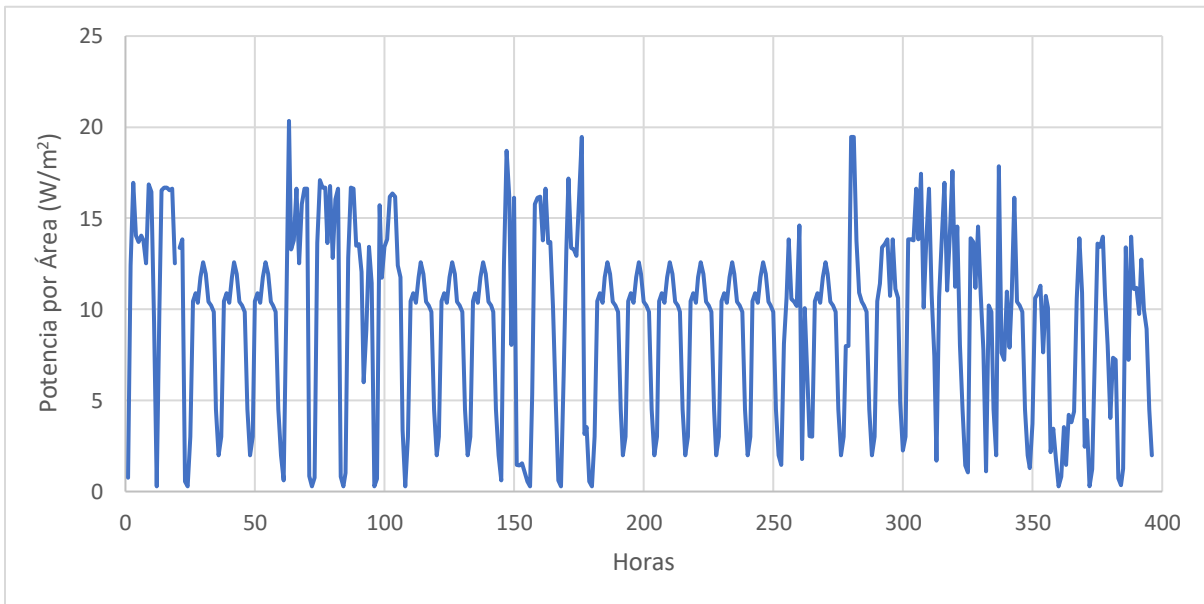


Figura 9. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 1

En la figura 9 se indica la potencia por área; este parámetro indica la cantidad de energía que circuló en la superficie del panel solar. Como se puede observar su comportamiento sigue la tendencia descrita en las figuras anteriores. La potencia por área máxima calculada es de 20.344 W/m² el 27/12/2022 a las 9h00. Por otra parte, el punto mínimo de dicha variable es de 0.287 W/m².

3.1.2 Envejecimiento 2: 5 años

Una vez concluido el primer envejecimiento simulado de 5 años, se realizó la recolección de datos para observar si existen cambios en alguna de las variables. Los datos fueron tomados del 01/02/2023 al 02/02/2023.

3.1.2.1 Voltaje

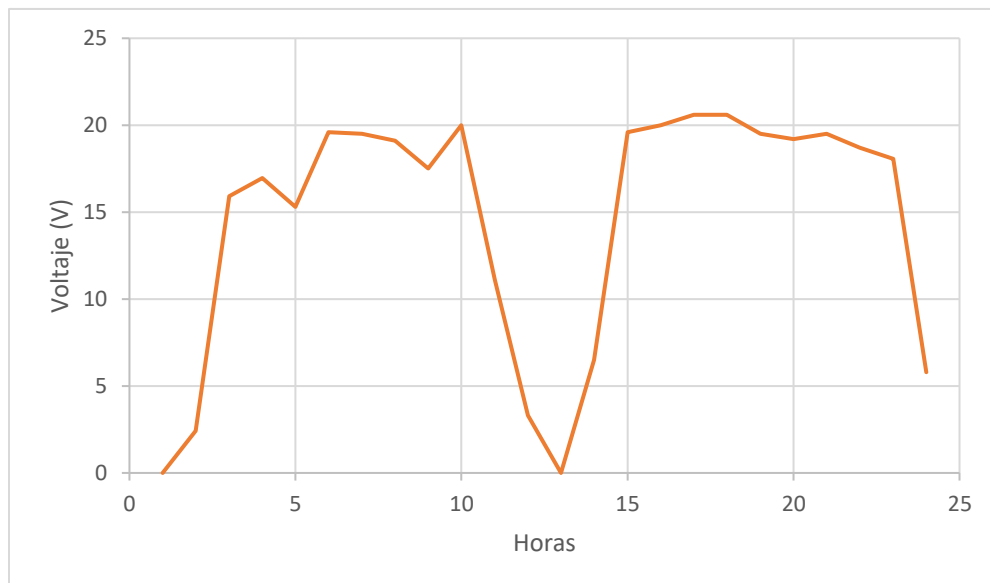


Figura 10. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 2

En cuanto a la figura 10 se muestra los datos de voltaje del envejecimiento de 5 años a lo largo de los 2 días de toma de datos. El voltaje no muestra ninguna variación en su comportamiento horario. Los puntos máximos ocurrieron el 02/02/2023 a las 10h00 y 11h00 con un valor de 20.6 V. En comparación con la figura 4 del panel nuevo el valor máximo del voltaje es más alto que el obtenido después del panel envejecido.

3.1.2.2 Corriente

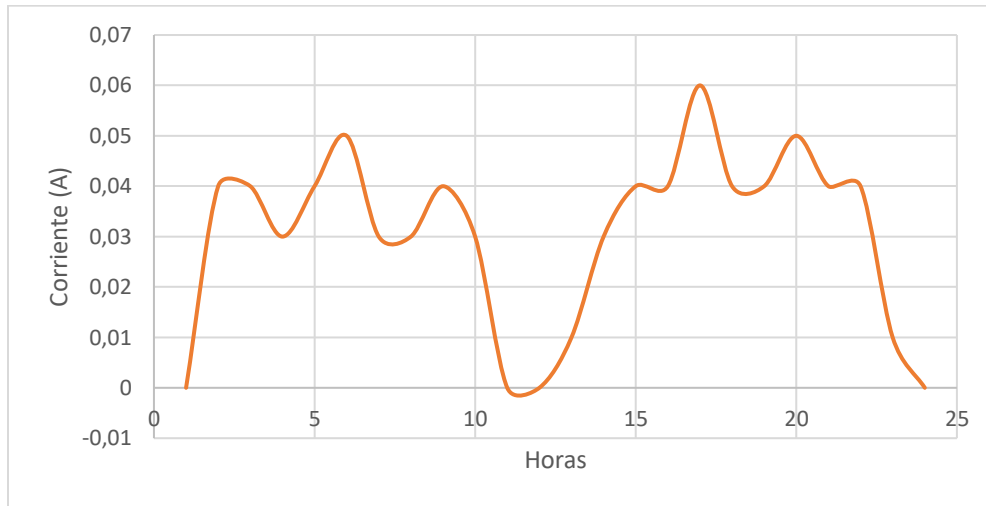


Figura 11. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 2

En la figura 11 se muestra la corriente que genera el panel solar después del envejecimiento de 5 años. Como se observa la corriente continua con la tendencia descrita hasta ahora. Para este caso la corriente máxima registrada es de 0.06 A registrada el 02/02/2023 a las 11h00. Cabe mencionar, que disminuyó levemente en comparación al valor máximo de corriente del panel solar nuevo.

3.1.2.3 Potencia

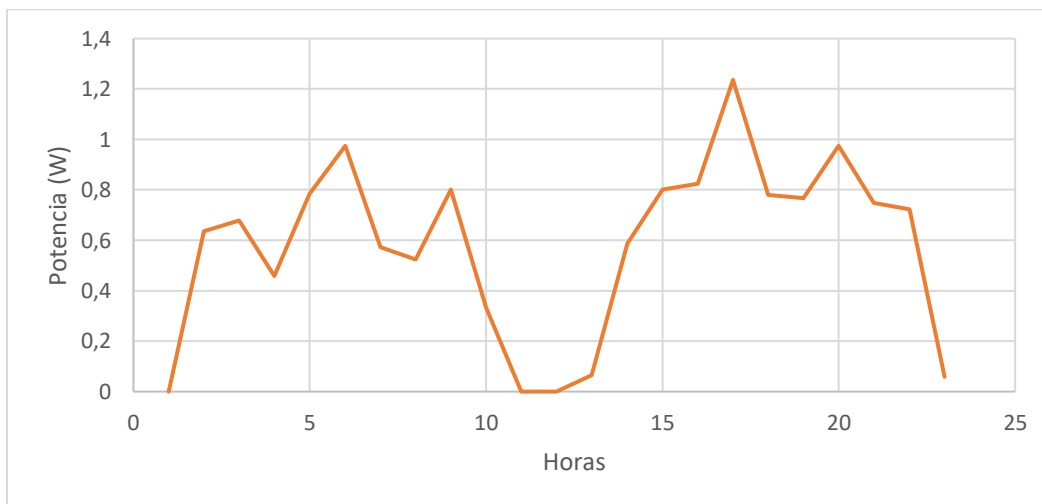


Figura 12. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 2

En la figura 12 se observa la potencia calculada en función del voltaje y la corriente obtenida de los 2 días de recolección de datos. La potencia presenta cierto parecido con la figura 11. Esto se debe a que son proporcionales. Para este caso la potencia máxima calculada fue de 1.236 (W) de

acuerdo con los valores del 02/02/2023 a las 11h00. Cabe destacar que la potencia máxima después del envejecimiento de 5 años disminuyó comparándola con la potencia máxima de la figura 8.

3.1.2.4 Potencia por Área

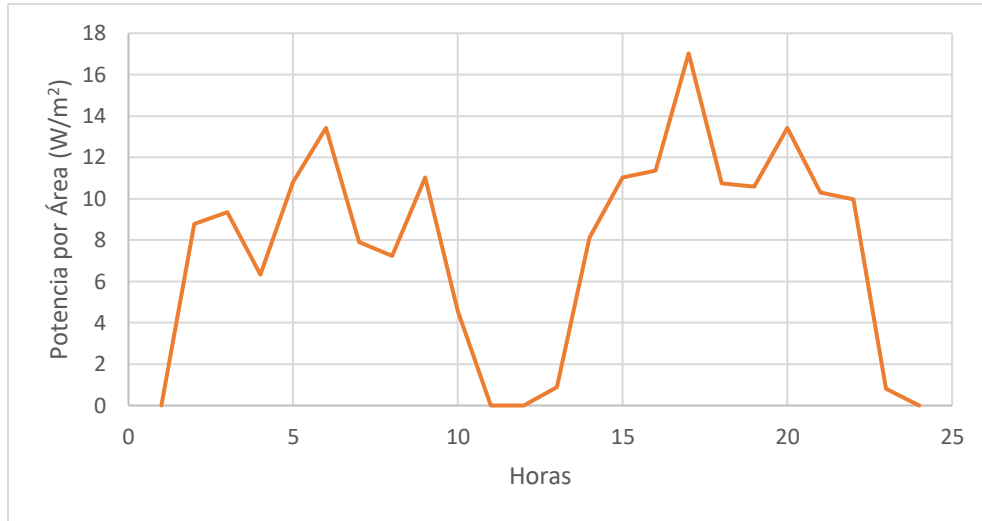


Figura 13. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 2

En la figura 13 se muestra la potencia por área calculada del panel solar después del envejecimiento de 5 años. La figura 13 resulta similar a la figura 12; es decir que la potencia que genera el panel es parecida a la que circula por la superficie del panel solar. La potencia por área máxima que se calculó fue de 17.03 W/m^2 a las 9h00 del día 02/02/2022. La potencia máxima por área que se calculó para el envejecimiento 2 es menor que la calculada en la figura 9.

3.1.3 Envejecimiento 3: 10 años

Finalizado el segundo envejecimiento simulado, es decir un total de 10 años, se realizó la recolección de datos para observar si existen cambios en alguna de las variables energéticas. Se continuo con la metodología de recolección de datos de 2 días, es decir 24 horas. Para este caso los datos fueron tomados del 08/02/2023 al 09/02/2023.

3.1.3.1 Voltaje

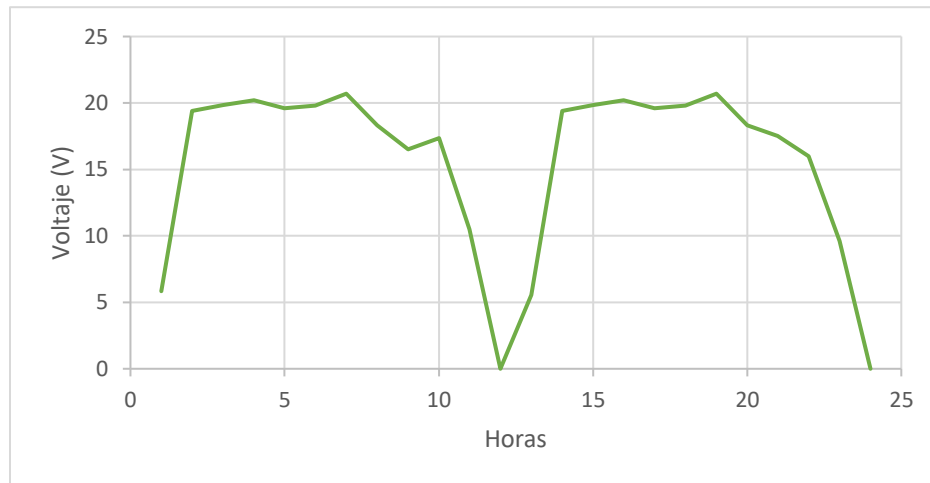


Figura 14. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 3

Para la figura 14, se observa el voltaje que genera el panel solar después del envejecimiento de 10 años. El voltaje mantiene el comportamiento creciente en las horas de la mañana, constante por un tiempo y finalmente decae y así sucesivamente. El valor de voltaje máximo registrado fue de 20.7 V a la 13h00 en los dos días, tanto para el 08/02/2023 como para el 09/02/2023. En comparación con la figura 10 el voltaje máximo relativamente se mantiene. Sin embargo, es menor que el voltaje máximo reportado en la figura 6, del panel solar nuevo.

3.1.3.2 Corriente

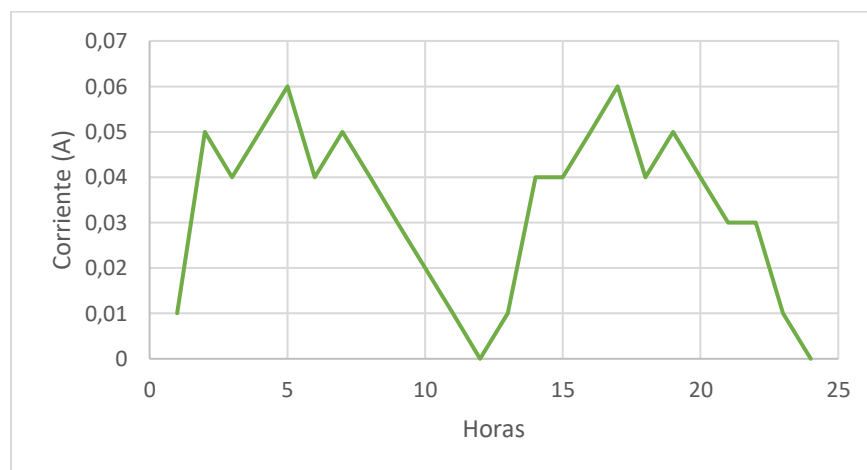


Figura 15. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 3

En la figura 15 se muestra la corriente generada por el panel solar después del envejecimiento de 10 años. Se mantiene el comportamiento de tipo parabólico característico hasta el momento. El

valor máximo de la corriente fue de 0.06 A en los dos días tanto el 08/02/23 como el 09/02/2023 a las 12h00 para ambos casos. La corriente máxima se mantiene relativamente constante comparando los valores con los reportados en las figuras 7 y 11.

3.1.3.3 Potencia

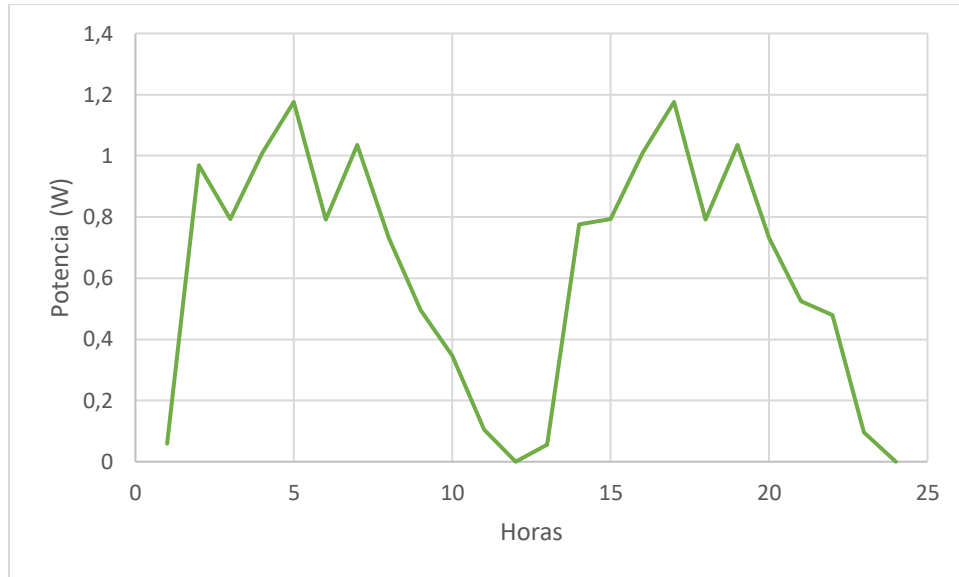


Figura 16. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 3

En la figura 16 se observa la potencia que generó el panel solar después de 10 años de envejecimiento simulado. La potencia máxima calculada del panel solar es 1.176 W en ambos días de estudio. E incluso para ambos días el punto máximo se ocurrió a la misma hora, 12h00. Comparando con las potencias máximas de los otros envejecimientos, se muestra que, el envejecimiento 3, posee un menor valor de potencia máxima que el panel sin envejecer, pero ligeramente mayor al que fue envejecido por 5 años.

3.1.3.4 Potencia por Área

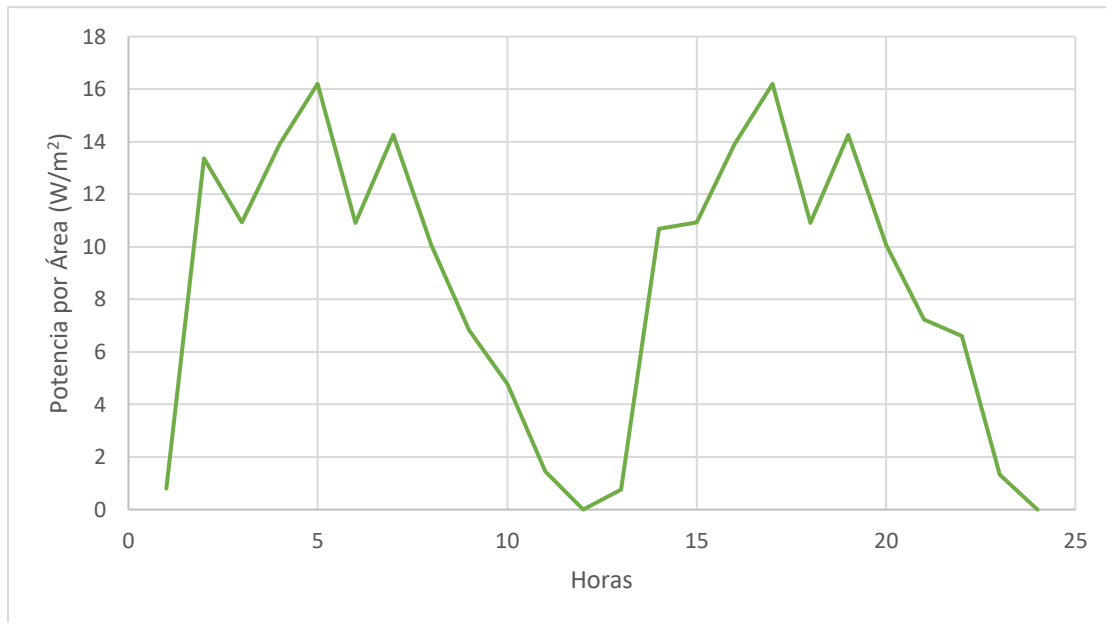


Figura 17. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 3

En cuanto a la figura 17, se indica la potencia por área calculada del panel solar que fue sometido a un envejecimiento de 10 años. Para este caso, la potencia por área máxima calculada fue de $16,198 \text{ W/m}^2$ en ambos días y a la misma hora, es decir, 08/02/2023 y 09/02/2023 a las 12h00. En comparación con el valor máximo de potencia por área de la figura 13, disminuyó ligeramente, por tanto, también es menor que el valor máximo reportado en la figura 9.

3.1.4 Envejecimiento 4: 15 años

Concluido con el tercer envejecimiento simulado, dando un total de 15 años simulados, se realizó, nuevamente, la recopilación de datos de voltaje y corriente generada por la celda solar para observar si existe algún cambio en las variables energéticas. Se prosiguió con la metodología de recolección de datos de 2 días, es decir 24 horas de luz. En este caso los datos se recopilaron desde el 22/02/2023 hasta 23/02/2023.

3.1.4.1 Voltaje

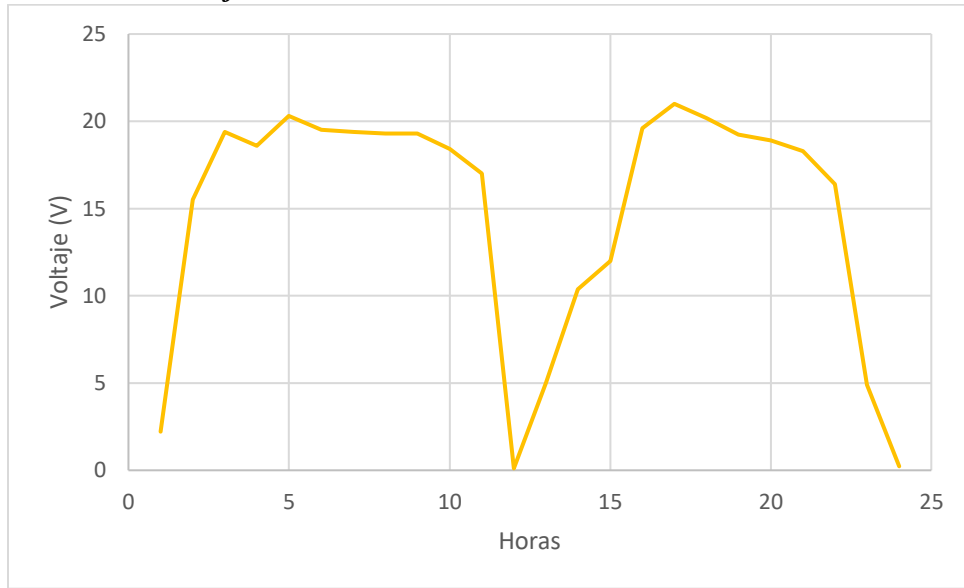


Figura 18. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 4

En la figura 18 se observa el voltaje en función de las horas, de dos días, de trabajo del panel solar envejecido 15 años. El comportamiento parabólico no varía. El voltaje máximo registrado en esta etapa fue 21 V el 23/02/2023 a las 11h00. Este valor resulta mayor que los valores máximos del voltaje del panel envejecido en 5 y 10 años. Sin embargo, continúa siendo un valor menos que el panel sin realizar ningún tipo de envejecimiento.

3.1.4.2 Corriente

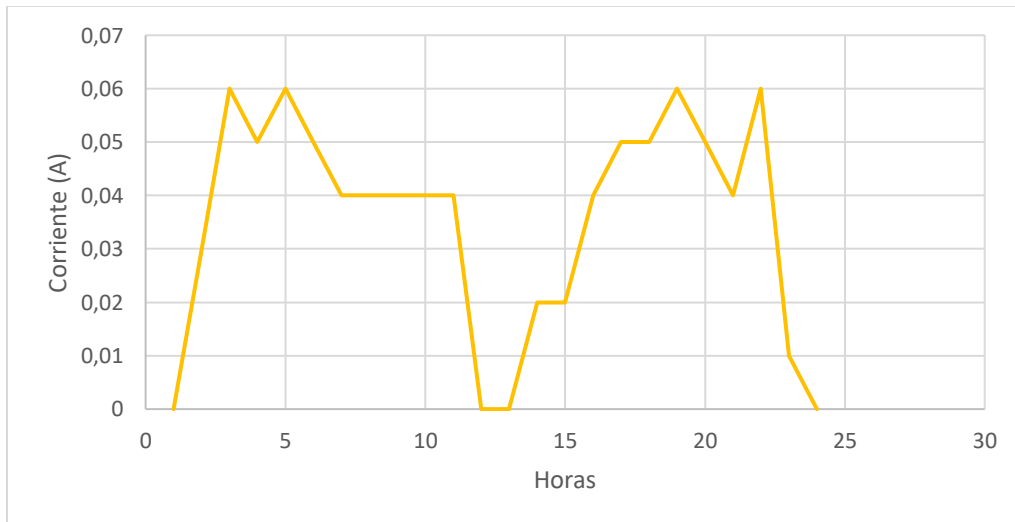


Figura 19. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 4

La figura 19 indica la corriente generada por el panel solar envejecido por 15 años. El comportamiento principal se mantiene. Para este caso se obtuvieron 4 pico máximos de corriente, con un valor 0.06 A en ambos días a la misma hora, es decir, los 22/02/2023 y 23/02/2023 a las 9h00 y 11h00. En comparación los valores máximos de corriente generada por el panel envejecido 10 años, 5 años y nuevo, no existe ninguna variación significativa.

3.1.4.3 Potencia

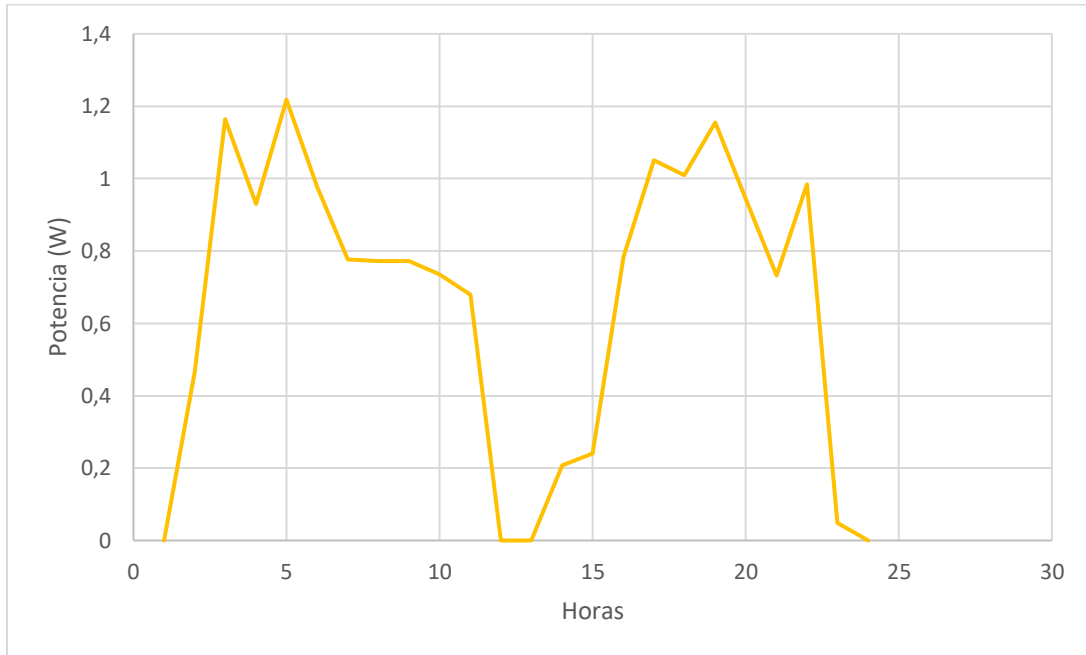


Figura 20. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 4

En cuanto a la figura 20 se observa la potencia que generó el panel solar en función de los datos obtenidos, después de que fue sometido a un envejecimiento de 15 años. La gráfica resulta ser muy parecida a la figura 19. Esto se debe a que son proporcionales. La potencia máxima registrada fue de 1.218 W a las 11h00 el día 22/02/2023. Este valor resulta mayor que la reportada en la figura 16, sin embargo, menor al generado por el panel solar sin envejecer y envejecido 5 años.

3.1.4.4 *Potencia por Área*

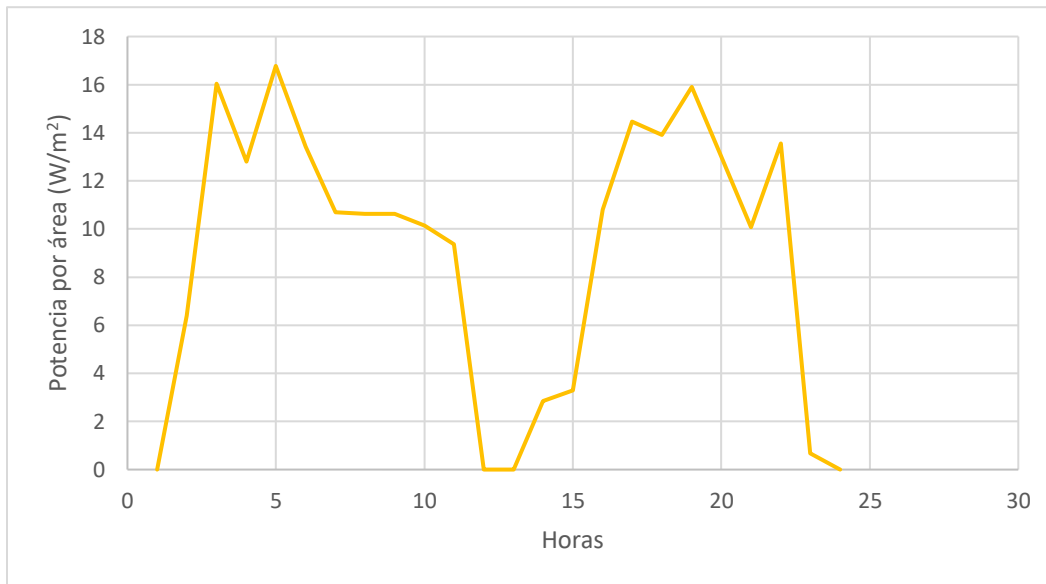


Figura 21. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 4

La figura 21 muestra la potencia generada por área del panel solar envejecido por 15 años. Siendo el valor máximo registrado de 16.777 W/m^2 el 22/02/2023 a las 11h00. En comparación con los valores de la misma variable en función de los diferentes tipos de envejecimiento, el panel envejecido por 15 años tiene un valor de potencia por área ligeramente mayor que el envejecido por 10 años. Pero menor que los valores del panel solar envejecido 5 años y nuevo.

3.1.5 **Envejecimiento 5: 20 años**

Finalmente, terminado el cuarto y último envejecimiento simulado, de 20 años, se continuo con la metodología de la recopilación de datos de voltaje y corriente generados por el panel fotovoltaico para observar las variaciones en los comportamientos de las variables energéticas. Para ello, se tomaron datos los días 4 y 5 de mayo del 2023 desde las 7h00 hasta las 18h00.

3.1.5.1 Voltaje

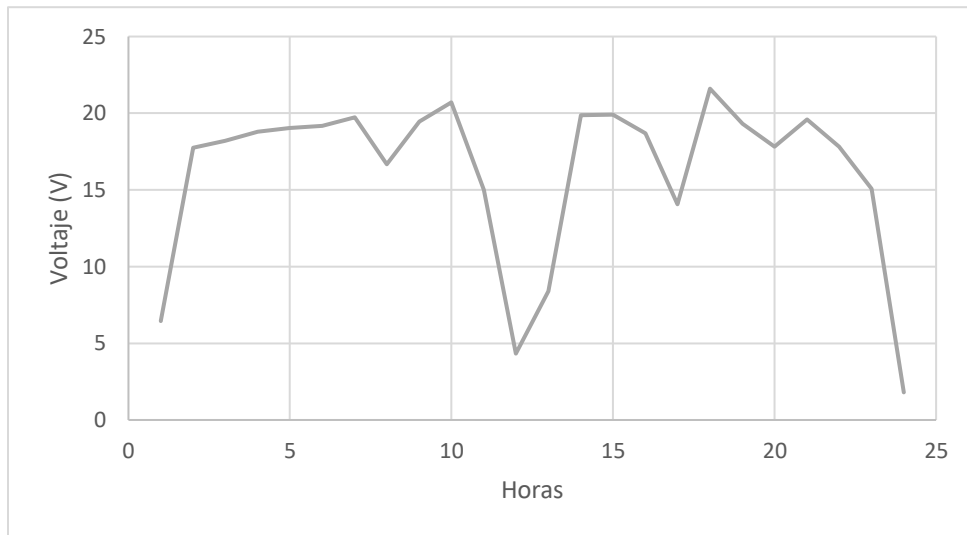


Figura 22. Voltaje en función del tiempo del envejecimiento 5

En la figura 22 se observa el voltaje que generó el panel solar después de ser envejecido 20 años. Su comportamiento parabólico se mantiene. El valor de voltaje máximo fue de 21.6 V y fue registrado el 05/03/2023 a las 12h00. Este valor es mayor que todos los envejecimientos anteriores y resulta ser igual que el punto máximo de voltaje obtenido por el panel solar nuevo.

3.1.5.2 Corriente

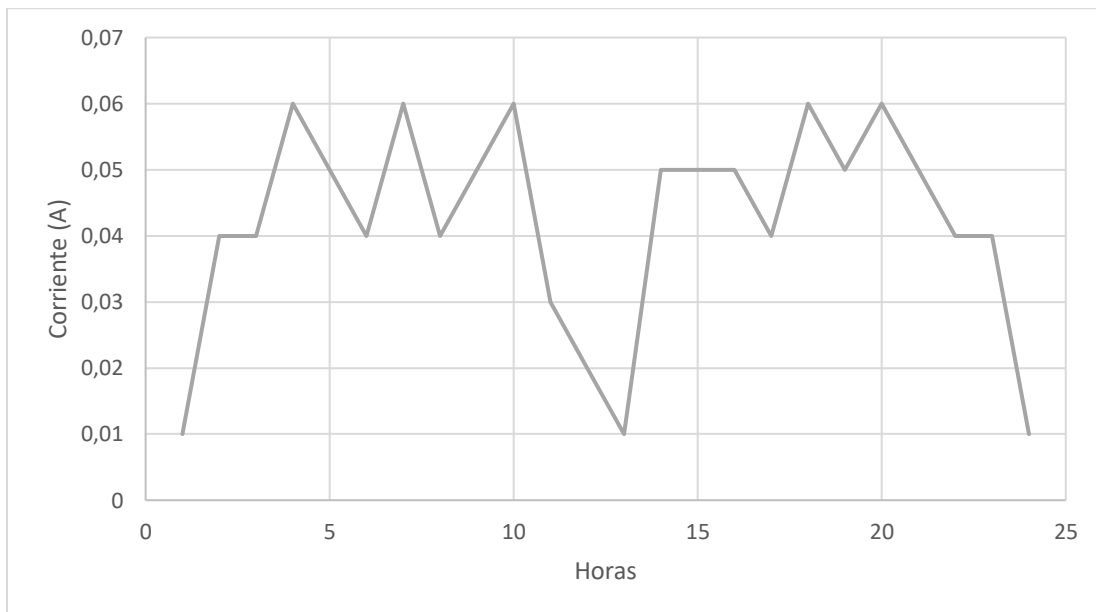


Figura 23. Corriente en función del tiempo del envejecimiento 5

En la figura 23 se observa la corriente generada por el panel solar después de ser sometido a un envejecimiento de 20 años. La corriente máxima registrada fue de 0.06 A, es decir, similar a todos los comportamientos de corriente descritos anteriormente. Es decir, la corriente máxima se mantiene constante, a pesar de los envejecimientos.

3.1.5.3 Potencia

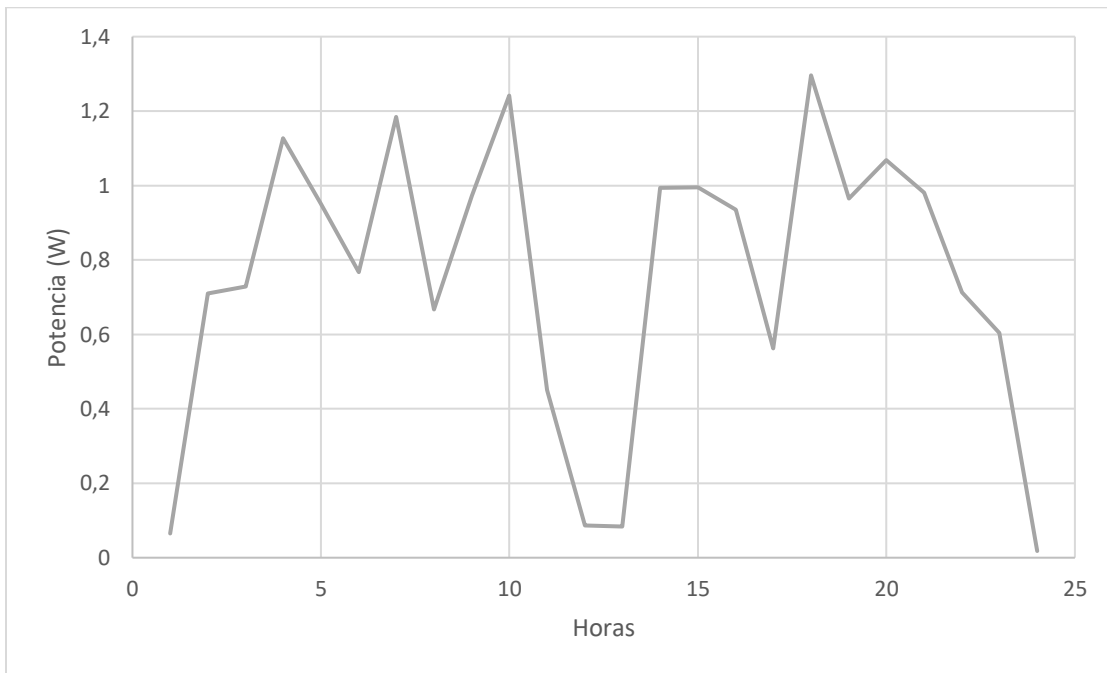


Figura 24. Potencia en función del tiempo del envejecimiento 5

La figura 24 muestra el comportamiento de la potencia en función de los días de análisis. La potencia continua con su forma parabólica, exceptuando algunas horas ya sea por el clima u otros factores. La potencia máxima registrada fue de 1.296 W a la 13h00 el 05/03/2023. Este valor de potencia es mayor que el obtenido para cuando el panel solar fue sometido a envejecimiento de 15, 10 y 5 años. Es decir, es el segundo valor más alto de potencia generada por el panel solar.

3.1.5.4 Potencia por Área

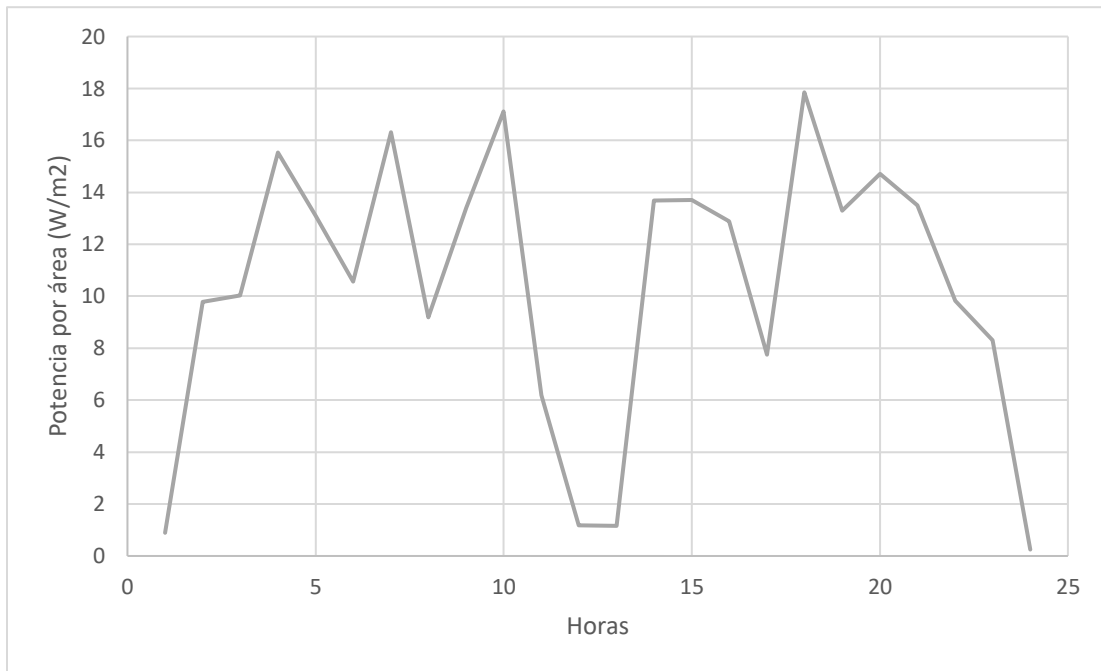


Figura 25. Potencia por área en función del tiempo del envejecimiento 5

En la figura 25 se observa la potencia por área que proporciona el panel solar después del envejecimiento de 20 años. El pico de máxima potencia por área que se obtuvo de acuerdo con los datos recolectados fue de 17.851 W/m^2 a las 13h00 el día 05/03/2023. En comparación con los valores máximos de potencia por área descritos en las tablas anteriores es el segundo valor más alto siendo superado únicamente por la potencia generada por el panel solar nuevo.

Por tanto, en cuanto a las variables energéticas, es decir, la producción de voltaje, corriente, potencia y potencia por área el panel solar nuevo tiene valores más altos en comparación a los paneles envejecidos.

3.2 Comportamiento de las Variables Ambientales y factores meteorológicos

La producción de energía del panel solar también se encuentra afectada por diferentes factores meteorológicos y contaminantes ambientales. Durante cada etapa de recolección de datos existían diferentes condiciones climáticas que podrían afectar o beneficiar a la producción de energía del panel solar. A continuación, se describe cada variable con los resultados obtenidos por Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2 (MERRA-2). Para observar cómo afectan en la producción de energía o como cada variable afecta la eficiencia del panel solar.

3.2.1 Factores Meteorológicos

Los factores meteorológicos afectan a la producción de energía del panel solar. De acuerdo con la literatura se analizaron los más importantes que son: radiación, temperatura, velocidad del viento, precipitación y humedad específica. Se realizaron promedios de los datos obtenidos por cada hora y por cada etapa para analizar su comportamiento.

3.2.1.1 Radiación

La energía producida por un panel solar está directamente relacionada con la disponibilidad de energía solar. Es decir, que la radiación puede verse afectada por el clima o la ubicación te, un alto nivel de (Dzimano et al., 2008). Además, la radiación que incide en panel solar se atenúa por diferentes factores como vapor de agua, precipitaciones, material particulado y contaminantes ambientales.

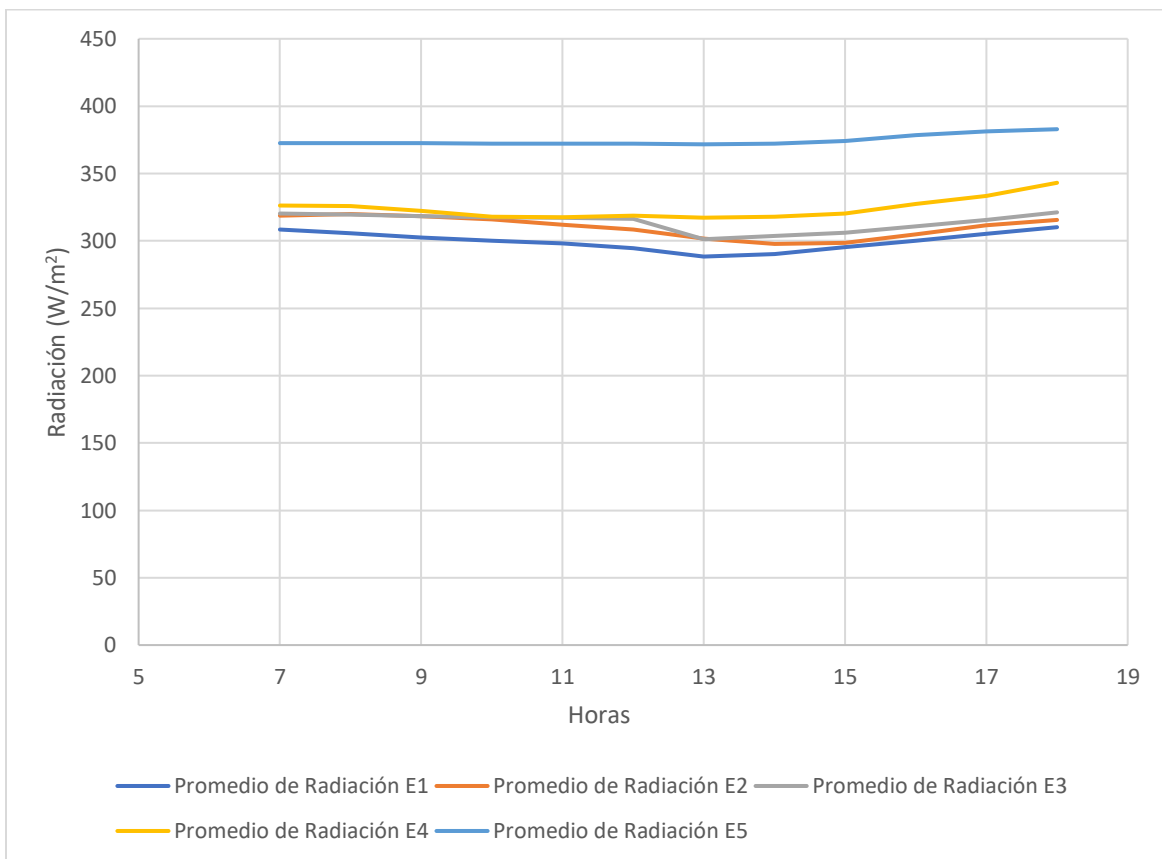


Figura 266. Radiación promedio en (W/m^2) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la figura 26 se observa el comportamiento promedio de la radiación que existió en los días que se tomaron las mediciones de cada una de las etapas de envejecimiento. Como se observa, existió una mayor cantidad de radiación cuando se registraron las medidas del último envejecimiento. Para el resto de las etapas la radiación durante esos días tuvo un comportamiento promedio similar. Es decir que, a pesar de estar envejecido al existir mayor cantidad de radiación el panel solar envejecido debería producir mayor cantidad de energía o en su defecto de alguna manera compensar su deterioro para la producción de energía. Esto se cumple dado que en la figura 24 al observar la potencia máxima que generó el panel solar es el segundo valor más alto de potencia de las 5 etapas.

3.2.1.2 Temperatura

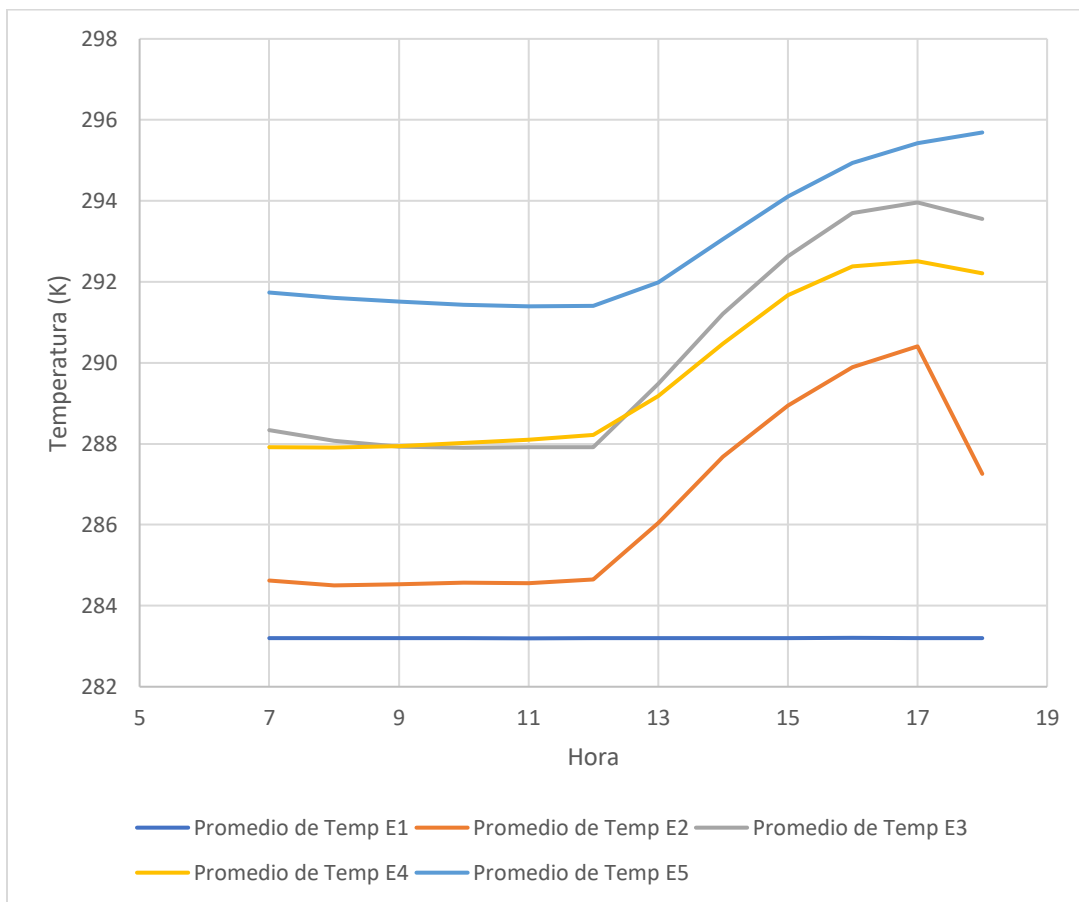


Figura 277. Temperatura promedio en (K) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la gráfica 27 se muestra el comportamiento promedio de la temperatura (K) en función del ciclo horario. Todas las etapas presentan básicamente el mismo comportamiento, hasta las 11h00. Luego existe un aumento de temperatura hasta las 17h00, en el que se exhibe un punto de inflexión lo que

indica que la temperatura disminuye. La única excepción ocurre en la etapa 1 que es donde se presenta una temperatura relativamente constante a lo largo de todo el tiempo de estudio.

3.2.1.3 Velocidad del Viento

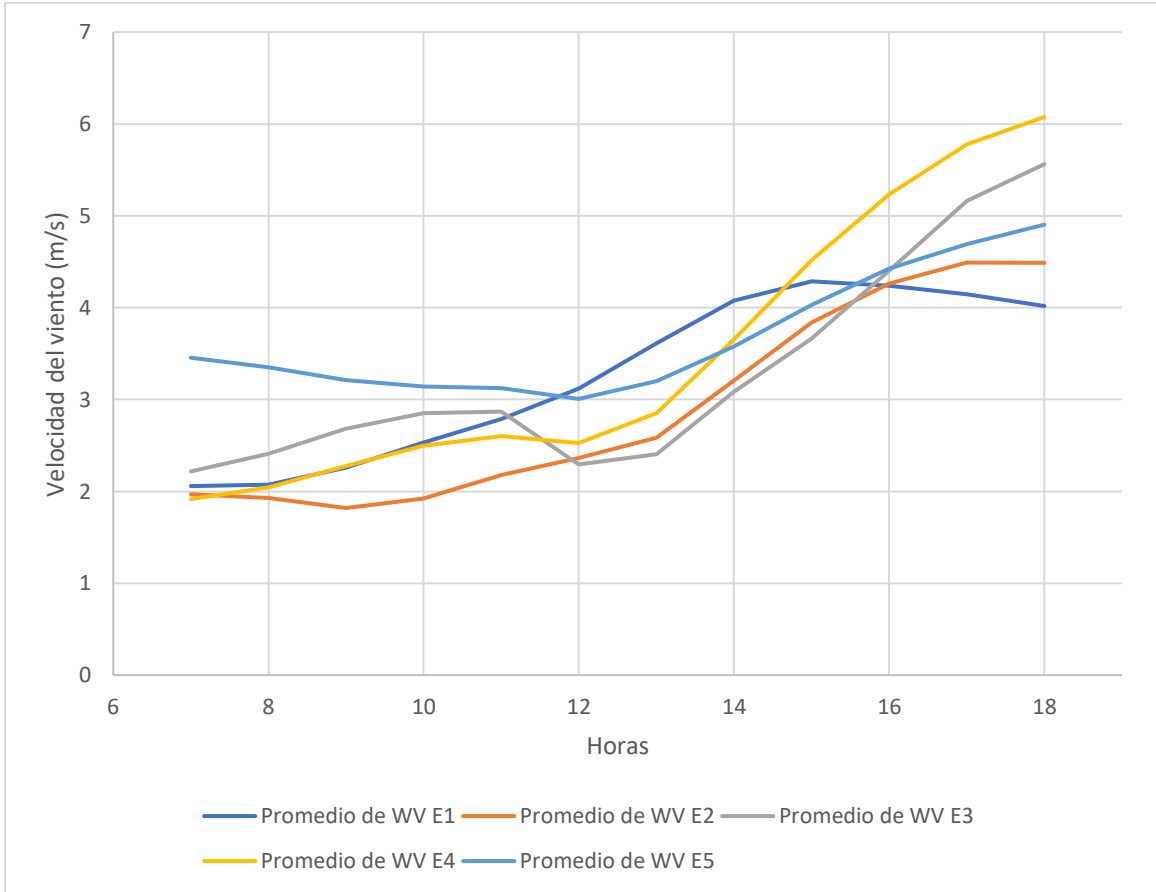


Figura 288. Velocidad del viento (m/s) promedio en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la figura 28 se observa la velocidad del viento promedio en función del ciclo horario. Como se observa la velocidad del viento aumenta a lo largo del día. En promedio en las horas de la mañana existe una menor velocidad del viento que en las horas de la tarde. Esto se relaciona con las características climáticas de Quito. La mayor velocidad del viento ocurrió a lo largo de la toma de datos del envejecimiento 4 en las horas de la tarde.

3.2.1.4 Precipitación

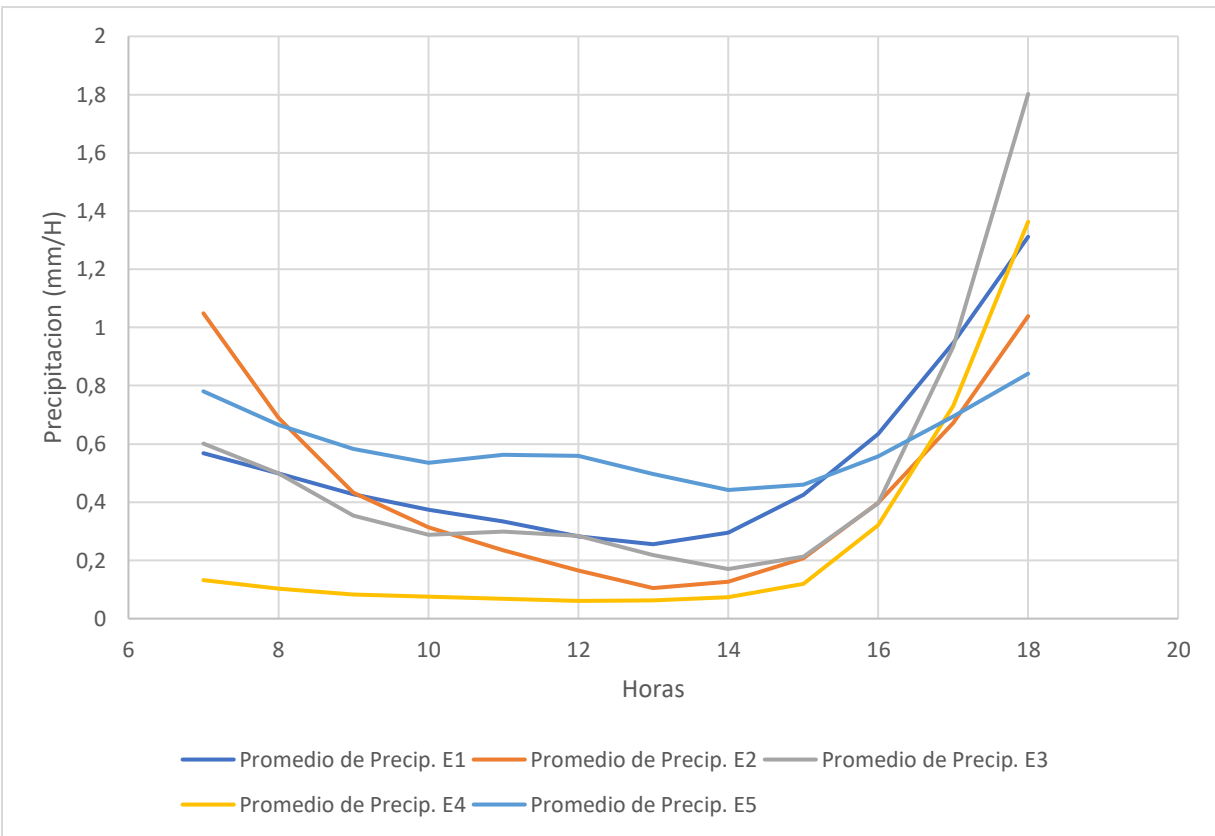


Figura 299. Precipitación promedio en (mm/H) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la figura 29 se observa la precipitación promedio en las 5 etapas de toma de datos. El gráfico muestra un comportamiento de disminución de la precipitación de la mañana hasta las horas de la tarde. Luego aumentan en el paso de las horas de la tarde hasta llegar a la última hora del estudio. Las precipitaciones más altas en las horas de la mañana ocurrieron en las etapas 1, 2, 3 y 5. Un factor importante a tener en consideración son las estaciones o los meses en los cuales se recopilaban los datos, ya que, de acuerdo con esto existió una mayor o menor cantidad de precipitación.

3.2.1.5 Humedad Específica

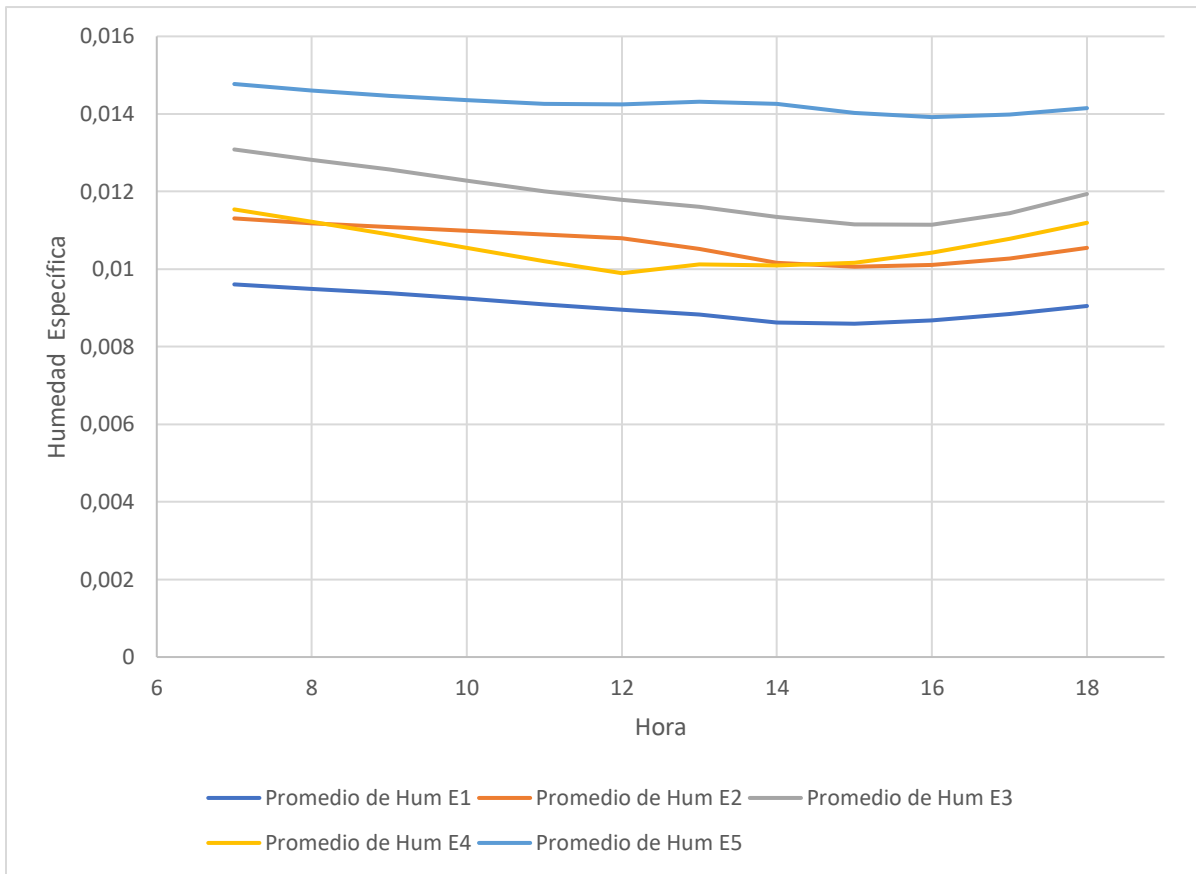


Figura 30. Humedad específica en función del tiempo de los 5 envejecimientos

La humedad específica promedio se observa en la figura 28. La humedad específica disminuye desde las horas de la mañana hasta las 14h00, a partir de esa hora, ocurre un leve incremento hasta las 18h00. Además, muestra un comportamiento constante, es decir, la cantidad de humedad con la que empieza el día se mantienen hasta la tarde, exceptuando en la etapa 4, donde, ocurrió un descenso brusco de la humedad a las 12h00. En la etapa 1, es en donde existió la menor cantidad de humedad específica. Mientras que la mayor cantidad de la variable ocurrió en la recolección de dato de la etapa 5. Esto se relaciona con los meses donde se realizó la toma de datos.

3.2.2 Contaminantes Ambientales

Los contaminantes ambientales que dependen de su concentración pueden afectar a la producción de energía. Por tanto, son factores que se estudiaron para observar su cambio horario de concentración y como afecta a la producción de energía del panel solar.

3.2.2.1 SO₂

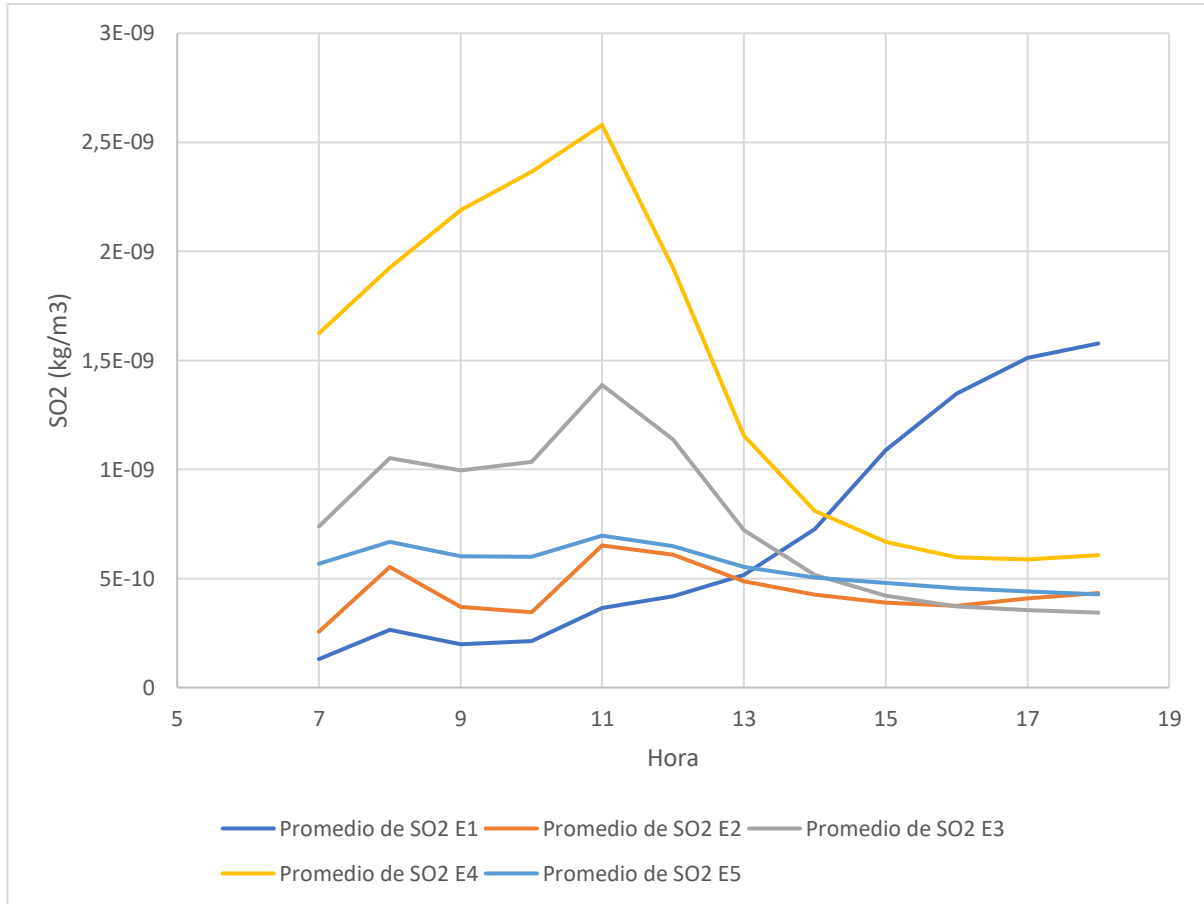


Figura 31. Concentración promedio de SO₂ en (kg/m³) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la figura 31 se observa la concentración de SO₂ promedio de las 5 etapas de análisis. En etapa 1, la concentración de SO₂ es la más baja en las horas de la mañana, a partir de las 12h00 incrementa su valor a lo largo de las horas de la tarde. Esto indica que en los meses que se recopiló los datos para la etapa 1 existió un mayor movimiento vehicular en las tardes. Para las etapas 2, 3 y 5 su comportamiento es parecido en la mañana se mantiene relativamente constante a las 11h00 ocurre un incremento en la concentración. Luego, en la tarde su concentración disminuye

gradualmente. Finalmente, la etapa 4 es donde se presenta la mayor concentración de SO_2 a las 11h00, luego se reduce la concentración drásticamente.

3.2.2.2 SO_4

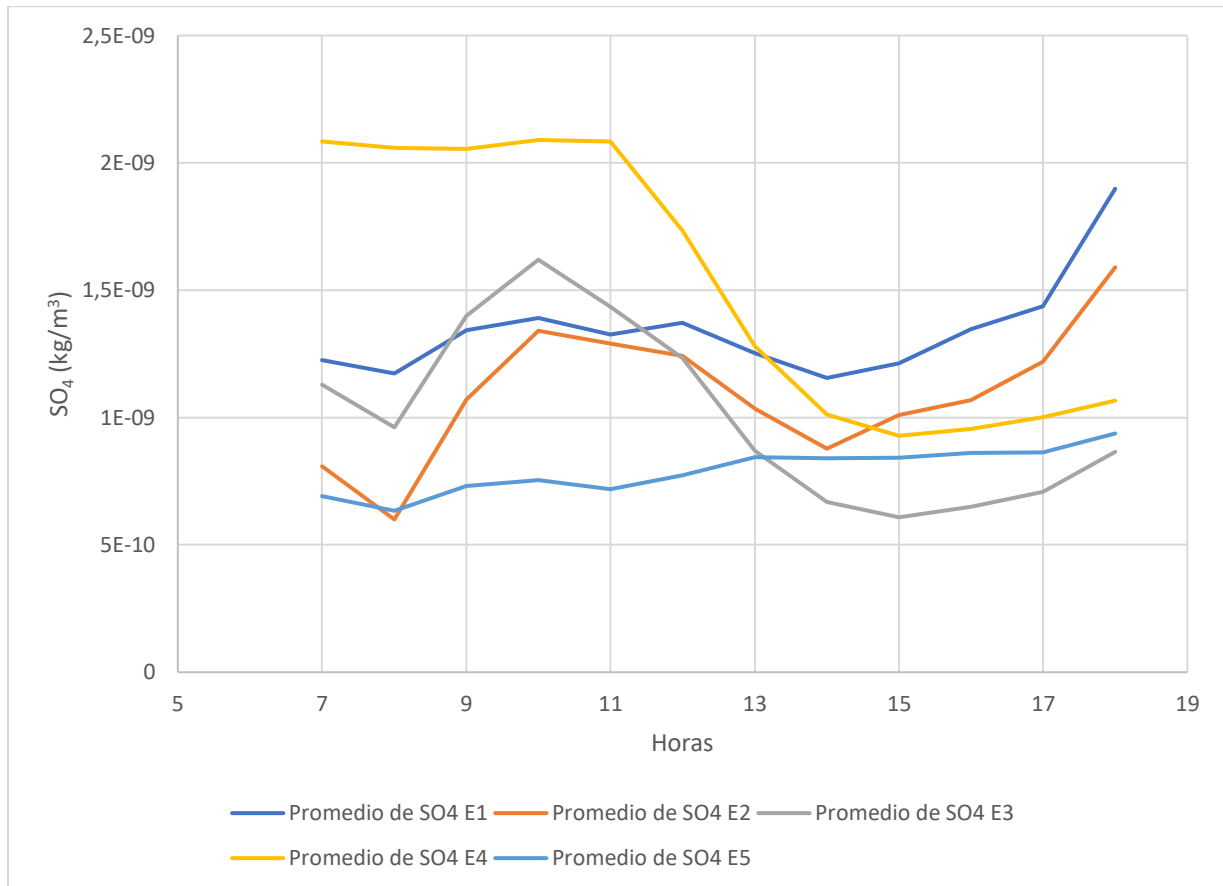


Figura 32. Concentración promedio de SO_4 en (kg/m^3) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

La concentración promedio del SO_4 se muestra en la figura 32. Como se observa existe una mayor concentración de SO_4 en la primera hora de la mañana para todas las etapas de envejecimiento. Luego para la segunda hora disminuye la concentración. Después, vuelve a aumentar hasta aproximadamente las 10h00 y finalmente reduce su concentración. A partir de las 14h00 en la mayoría de los casos existe otra vez un aumento en la concentración de SO_4 hasta su última hora de registro. Esto se relaciona al movimiento de la ciudad, la polución y los gases que generan las industrias producen más o menos concentración de SO_4 dependiendo de las horas ya sea laborales o de movilidad de las personas.

3.2.2.1 PM_{2.5}

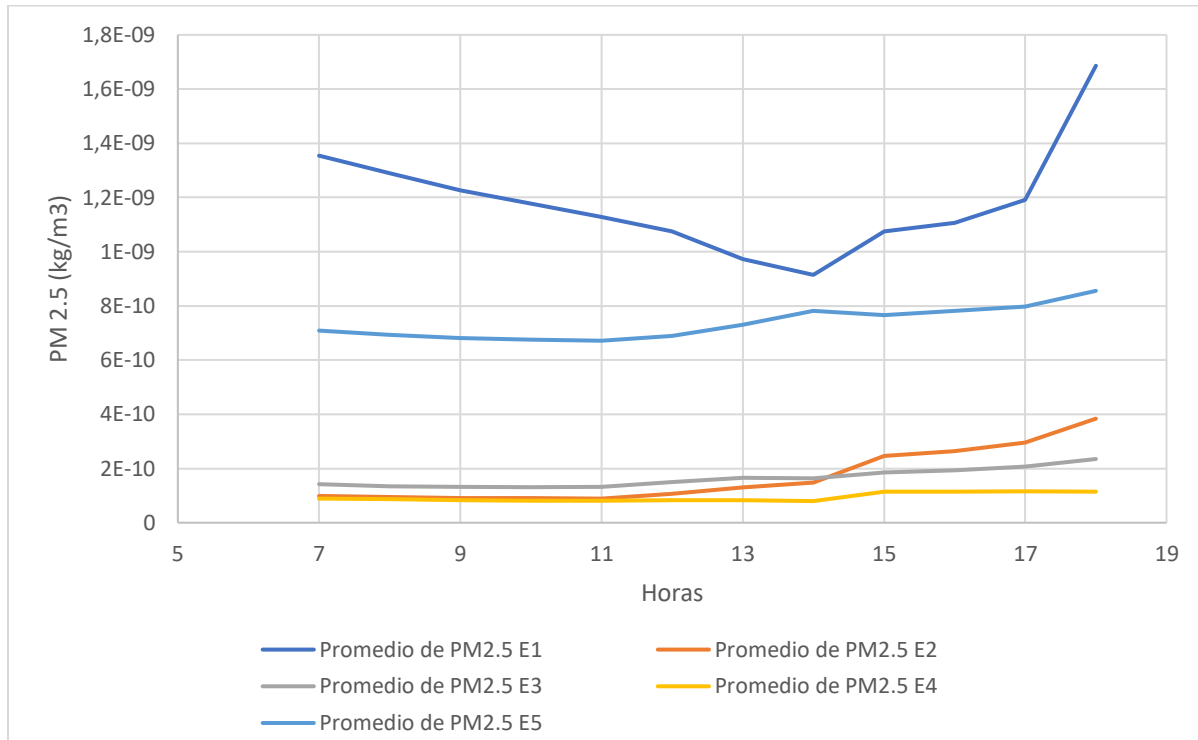


Figura 33. Material particulado (PM_{2.5}) promedio en (kg/m³) en función del tiempo de los 5 envejecimientos

En la figura 33 se muestra el promedio horario del material particulado de los días que recopilamos datos. El promedio más alto de material particulado ocurre en la etapa 1. A partir de las 7h00 disminuye la concentración hasta las 14h00. A partir de esa hora, ocurre un incremento de material particulado hasta la hora de finalización de estudio. Las etapas 2, 3 y 4 presentan un comportamiento similar, donde es prácticamente constante en la mañana hasta las 14h00. Finalmente aumenta. Para la etapa 5 ocurre un comportamiento similar que las etapas 2, 3 y 4 con la única diferencia que empieza con una mayor concentración de material particulado.

De acuerdo con los datos obtenidos de cada etapa de toma de datos, se realizó un marco de modelado lineal generalizado conocido como (GLM), el cual se aplicó a los valores horarios de la energía producida por el panel fotovoltaico (Y). Las covariables en el modelo fueron el conjunto de datos meteorológicos (radiación, temperatura, velocidad del viento, humedad y precipitación) y de contaminación del aire (PM_{2.5}, SO₄, SO₂). Además de la importancia que representa la

covariable temporal t (tiempo en horas) dado que las medidas de corriente y voltaje están en función de esta variable. En la ecuación se agregó el tiempo (horas) y el tiempo al cuadrado (hora²).

$$Y = \exp(\alpha + \beta_{t1}t + \beta_{t2}t^2 + \beta_j X_j + E)$$

α , es el intercepto

β_{t1} , es el coeficiente de la variable tiempo

β_{t2} , es el coeficiente del tiempo al cuadrado

β_j representa a los coeficientes de las variables tanto de contaminación del aire como de factores meteorológicos.

E, es el término que representa el error que puede existir.

Además, para la selección de las covariables en el enfoque GLM, se utilizó el criterio de información Akaike (AIC), el cual permite determinar que variables son estadísticamente significativas.

Tabla 5. Coeficientes de regresión del modelo generalizado para cada covariable estadísticamente significativa y criterios de evaluación del modelo

Inter.	H	H ²	SO ₂	SO ₄	PM _{2.5}	Rad.	Temp.	VV	Prec.	HS	AIC	NSE	Coef. Corr.
<i>Envejecimiento 1: Panel solar nuevo</i>													
-33.69	1.184	-0.054	-	-	-0.131	-0.0037	0.111	-	-	-29.841	2234	0.76	0.87
<i>Envejecimiento 2: Panel solar envejecido 5 años</i>													
-24.14	1.348	-0.06512	-	-0.48	5.017	0.0113	0.059	-	-1.62	-	324.9	0.93	0.97
<i>Envejecimiento 3: Panel solar envejecido 10 años</i>													
-67.44	2.42	-0.109	-0.013	-0.44	0.166	0.00037	0.81	0.4	-0.043	0.033	695.5	0.95	0.98
<i>Envejecimiento 4: Panel solar envejecido 15 años</i>													
13.149	1.992	-0.086	-	-	-	-0.008	-0.088	0.67	-0.99	436.01	406.2	0.96	0.98
<i>Envejecimiento 5: Panel solar envejecido 20 años</i>													
-202.85	1.86	-0.086	-0.175	-	-2.764	0.064	0.595	-0.075	-	-	1294	0.94	0.97

En la tabla 5 se representan los coeficientes de regresión del modelo lineal generalizado. Donde, H representa las horas; H² indica el tiempo al cuadrado; Rad, a la radiación; Temp., a la temperatura; VV representa a la velocidad del viento; Prec., son las precipitaciones y HS a la

humedad específica. De acuerdo con criterio de información Akaike cada vez que se realiza un envejecimiento las variables que afectan positiva o negativamente a la producción de energía del panel fotovoltaico son diferentes tanto en nombre como en valor, es decir que cada variable afecta independientemente de mayor o menor manera la producción de energía del panel solar. En la tabla 4 se observa el valor de AIC más alto de cada una de las etapas de envejecimiento.

Para el envejecimiento 1, es decir el panel fotovoltaico nuevo, existen 4 variables que son estadísticamente significativas para la producción de energía. Primero, el material particulado ($PM_{2.5}$), tiene un coeficiente negativo, es decir que afecta negativamente al modelo estadístico. Como se observó en el gráfico 31, para esa etapa de análisis es donde se obtuvo la mayor cantidad de material particulado a lo largo de los días del análisis. Sin embargo, al obtener un coeficiente de la covariable bajo no influye significativamente en el resultado final.

La segunda variable que afecta es la radiación. Como se mostró en el gráfico 26, la radiación promedio para el tiempo de estudio resultó ser la más baja. Es decir, que como existió menor radiación existe menos producción de energía por parte del panel solar. El coeficiente que presenta el modelo es negativo y a su vez muy cercano a 0, por tanto, no genera un cambio drástico en la producción de energía. Esto se debe a que al ser un panel solar nuevo sus componentes trabajan de manera eficiente absorbiendo la máxima cantidad de radiación disponible para su uso energético.

La tercera variable estadísticamente significativa para el modelo propuesto es la temperatura. Posee un coeficiente positivo lo que indica que la temperatura promueve a la producción de energía. Esto se debe a que como se observó en la figura 27 la temperatura de la etapa 1 es la más baja. Y esto cumple dado que a mayor temperatura la eficiencia del panel solar disminuye.

La cuarta, y última variable, que afecta en la producción de energía para la etapa 1 es la humedad específica. Esta covariable, dentro del modelo, afecta negativamente en la producción de energía. Esto se debe a que como se mencionó anteriormente la humedad específica penetra en las celdas fotovoltaicas lo que provoca que su productividad disminuya significativamente y es por esta razón que posee un coeficiente de regresión relativamente alto.

Para el envejecimiento 2, es decir, envejecimiento simulado de 5 años existen 5 variables que son estadísticamente significativas para la producción de energía. La primera covariable es el SO_4 . Al

ser un contaminante que afecta al rendimiento del panel solar dado que acidifica, al igual que el SO_2 , el material generando que la potencia disminuya. Por esta razón el coeficiente de regresión lineal para el SO_4 es negativo y afecta a la potencia generada. En la figura 32, se mostró que existe una mayor cantidad de SO_4 en las horas de la mañana en la etapa 2.

La segunda variable estadísticamente significativa para la etapa 2 es el material particulado. En este caso presenta un coeficiente de relación positivo. Esto es debido a que, de acuerdo con la figura 33, el material particulado para esta etapa es menor en comparación a la etapa 1. Es decir, que con las concentraciones del $\text{PM}_{2.5}$ no afecta al rendimiento del panel solar a pesar de estar envejecido.

La tercera variable para la etapa 2 es la radiación. Posee un coeficiente positivo, pero un valor cercano a 0, esto indica que la cantidad de radiación es importante para la eficiencia del panel. Sin embargo, la radiación para esta etapa, de acuerdo con la figura 29, es parecida entre las etapas es por esta razón que las variables energéticas no se alejan mucho entre ellas.

La cuarta variable que influye en la producción de energía es la temperatura. En la figura 30 se observa que se mantiene una temperatura baja, lo que indica que cuando la temperatura es menor la eficiencia del panel solar incrementa.

La quinta variable es la precipitación. Las precipitaciones afectan a la producción de energía del panel solar. Esto se debe a que además que reducen la cantidad de radiación, dado que la radiación es absorbida por las gotas de agua, generando difusión de la luz. Por otra parte, las precipitaciones ayudan a evitar el material particulado y los contaminantes atmosféricos. Por esta razón, la precipitación afecta a la energía producida por el panel solar, pero elimina otro tipo de variables que son consideradas para realizar el modelo.

Para el envejecimiento 3, el panel solar se encuentra deteriorado 10 años. Se encontraron 8 variables que afectan al rendimiento de producción de eficiencia del panel solar. El primero es el SO_2 , el cual de acuerdo con la figura 31, muestra el segundo índice más alto de concentración del contaminante. Es decir que su concentración fue elevada los días del análisis. Presenta un coeficiente negativo lo que muestra que a mayor presencia existe una disminución de producción de energía de la celda solar. Lo mismo ocurre con la segunda variable, el SO_4 . Su concentración

afecta a la producción de energía. Dado que, en la figura 32, se observa para la etapa 3 existe la segunda cantidad más alta del contaminante.

El material particulado es la tercera variable que afectó al modelo. Sin embargo, al presentar concentraciones bajas en comparación con otras etapas se trabaja con el coeficiente positivo. La radiación sigue su comportamiento descrito en las anteriores etapas. La velocidad del viento es otra variable que afecta a la producción de energía. Se debe recordar que la velocidad del viento es directamente proporcional a la temperatura atmosférica. Como en este caso, la temperatura es menor, existe una mayor velocidad del viento por tanto se transforma en una variable estadísticamente significativa que tiene influencia en la producción de energía del panel solar. Las precipitaciones afectan negativamente, como se explicó anteriormente, a la producción del panel solar. De acuerdo con la figura 29 la precipitación disminuyó para la etapa 3 las precipitaciones fueron menores en comparación la etapa 2. Por esta razón existe mayor cantidad de contaminantes atmosféricos que afectan al rendimiento del panel solar. Finalmente, para esta etapa, la humedad específica, se la considero ya que está relacionada con las precipitaciones, la temperatura y la velocidad del viento, factores que disminuyen la eficiencia del panel solar.

En cuanto al envejecimiento para 15 años, se encontraron 5 variables estadísticamente significativas para la producción de energía del panel solar. La radiación que, después del envejecimiento, afecta de manera negativa en la producción de energía. Como se observó en la figura 24, la radiación para la etapa 4 es la segunda más alta en comparación al resto de etapas, y es por ello, que su coeficiente es tan bajo dado que compensa el deterioro del panel, con la cantidad de radiación que recibe, pero si no fuera tan alto su producción de energía sería mucho menor. La temperatura también afecta en esta etapa. En la figura 27 se mostró que la temperatura de la etapa 4 fue la segunda más baja a lo largo del estudio. Como se mencionó a menor temperatura existe una mayor cantidad de potencia del panel solar. La potencia que generó el panel, figura 18, muestra que su valor fue mayor que en la etapa 4, pero menor que el proporcionado por el panel sin envejecer y envejecido 5 años. Por tanto, la temperatura del tiempo de estudio influyó de manera positiva, pero el coeficiente es negativo, pero un valor extremadamente bajo. Esto indica que con el deterioro del panel solar a temperaturas más bajas se compensa la eficiencia del panel solar. Otra variable importante es la velocidad del viento. Para esta etapa fue la más alta registrada en todo el estudio. Por ello, se presenta el mayor coeficiente de la velocidad de viento en todas las

etapas. La presencia del viento indica que la temperatura es menor, por tanto, afecta positivamente a la producción de energía del panel solar.

La presencia del viento indica que las precipitaciones y la humedad estuvieron presentes en este rango de datos. Por tanto, sus coeficientes se volvieron estadísticamente importantes. La humedad presenta un coeficiente muy alto. En la figura 28 se observa que la humedad en la etapa 4 fue relativamente parecida a las etapas 2 y 3. Sin embargo, considerando el resto de los factores como la luz, temperatura, precipitaciones y velocidad del viento que afectaron durante esta etapa, la humedad que se presenta indica la época del año donde llevo a cabo el estudio, es decir, febrero. Por consiguiente, la humedad que se obtuvo en este rango es muy baja para este tiempo de análisis. Por esta razón la humedad bajo estas condiciones se convierte en un parámetro que eleva la producción de energía.

Para la última etapa, envejecimiento de 20 años, se determinó que el SO_2 y el $\text{PM}_{2.5}$ afectan a la producción, como contaminantes ambientales. El SO_2 presenta en la figura 31 un promedio bajo de concentración del contaminante, sin embargo, se debe tener en consideración que el panel solar envejecido se vuelve más susceptible a este tipo de factores. Por ello, afecta de manera negativa a la producción de energía del panel solar. Lo mismo ocurre con material particulado. La radiación que se recibió en el panel solar fue la más alta a lo largo del estudio. Por tanto, a pesar de estar envejecido su potencia; de acuerdo con la figura 24, se obtiene el segundo valor de potencia más alto a lo largo del estudio. Por lo que la radiación es un parámetro muy importante para la producción de energía a pesar del envejecimiento del panel solar. El comportamiento de la temperatura continúa siendo el mismo.

Finalmente, se observa los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y los coeficientes de correlación de Pearson de cada una de las etapas de envejecimiento. En la primera etapa se obtienen los valores más bajos de NSE y de coeficiente de Pearson. Sin embargo, son bastantes próximos a 1, esto indica que el modelo se ajusta adecuadamente para este tipo de investigaciones. En cuanto al resto de las etapas de envejecimiento los valores de NSE y de coeficiente de Pearson son cercanos a 1 lo que indica que el modelo para cada una de las etapas se puede ajustar con el modelo generado. Y además es susceptible para las variables tanto meteorológicas como ambientales, dando como resultado obtener el comportamiento dinámico de la eficiencia de acuerdo con las variables mencionadas y el desgaste del material.

Capítulo 5

4. Discusión de Resultados

La potencia del panel solar se obtiene por la multiplicación del voltaje y la corriente. Sus valores dependen de variables atmosféricas y meteorológicas, que influyen directa o indirectamente a la eficiencia del panel solar. De acuerdo con el modelo existen variables que resultan estadísticamente más significativas que otras. Esto es debido a la correlación que existe entre las variables estudiadas y la eficiencia del panel solar.

En función de la corriente obtenida en el panel sin envejecer se tiene una corriente máxima de 0,06 A. Mientras que la literatura presenta un rango de corriente máxima de entre 0 A a 0,05 A, cuando se evalúa este parámetro en Pittsburg en USA. Si bien, el valor de corriente máxima es mayor en el trabajo de investigación presentado, esto se debe a que el estudio se realizó en condiciones climáticas distintas. En las que la precipitación fue de 0,5295 mm/h. Mientras que en la literatura muestra resultados con un nivel de precipitaciones de 0,45mm/h (Li et al., 2011). Gracias a esta comparación es evidente que la eficiencia del panel solar depende de factores climáticos, como en este caso la precipitación. Adicionalmente, la temperatura de la ciudad estadounidense es de 274,802K, mientras que la obtenida es de 283,2 K. Este valor se justifica en función de que la posición geográfica influye en la temperatura del lugar. Siendo que, Ecuador se ubica hacia los trópicos, mientras que Pittsburg está más hacia el polo.

La radiación y la temperatura son las covariables que influyeron en todas las etapas de estudio. En el caso la temperatura es debido a que los módulos fotovoltaicos son sensibles a los cambios de temperatura. Por ende, los módulos son más eficientes en regiones de baja temperatura como lo es Quito (Kawajiri et al., 2011). Por esta razón la temperatura es un factor clave para el rendimiento de energía de los paneles solares.

En cuanto a la radiación es debido a que la intensidad afecta significativamente. El nivel de radiación solar que cae sobre los paneles fotovoltaicos varía según la ubicación del panel y los intervalos de tiempo en un día (KARAFİL et al., 2016). Pues, a medida que aumenta la radiación solar, también aumenta la producción de energía eléctrica del panel fotovoltaico (Gardas & Tendolkar, 2012). Esto se muestra, dado que a pesar de los envejecimientos y del deterioro del material, cuando existió una mayor cantidad de radiación la potencia del panel solar se compensó. Por otra parte, un alto nivel de radiación genera un aumento de la temperatura del panel solar lo

que ocasiona que la eficiencia se reduzca (Rahman et al., 2015). Estos son factores que se deben tomar en consideración al momento del uso de un panel solar.

El material particulado deteriora el rendimiento de las celdas solares, lo que resulta en pérdidas considerables de potencia debido a los efectos de dispersión que ocurren cuando el material particulado se deposita en la superficie del panel solar (Saidan et al., 2016). Además las partículas finas depositadas en el panel solar provocan una mayor pérdida de energía en comparación con la misma concentración de masa de deposición de partículas grandes. Por tanto, es un factor crítico que afecta la cantidad de energía absorbida en la superficie del suelo. Como resultado de la existencia de partículas en la atmósfera y la longitud del camino que recorre la luz solar a través de la atmósfera, genera que la eficiencia de las celdas fotovoltaicas decaiga (Mekhilef et al., 2012).

El SO_2 y el SO_4 afectaron en la producción de energía en todas las etapas. Ambos contaminantes están relacionados con la deposición ácida en los paneles lo que reduce la eficiencia de producción de energía (Fernández-García et al., 2014). Por tanto, afecta directamente a los paneles solares, sin embargo, puede contribuir a la formación de la lluvia ácida, lo cual puede tener un impacto negativo en su rendimiento a largo plazo. Por lo tanto, después del envejecimiento se el panel solar se volvió más susceptible a estos contaminantes. Y esto se demostró en el modelo generado.

Es por esta razón que el material particulado y los contaminantes como el SO_2 y el SO_4 son de suma importancia para la eficiencia del panel solar. Sin embargo, los contaminantes ambientales están ligados a las precipitaciones. A las precipitaciones se las considera como el agente de limpieza natural más eficiente para eliminar partículas contaminantes de las superficies voltaicas. Es decir que cuando existe una mayor cantidad de precipitaciones las concentraciones de los contaminantes se reducen. El estudio realizado por (Appels et al., 2012) se demostró que la precipitación es más eficiente para reducir la deposición de contaminantes atmosféricos que una limpieza manual. Sin embargo, la lluvia empeora la eficiencia del panel solar. Dado que existe el fenómeno de dispersión de luz cuando existen precipitaciones. Esto se muestra en la producción de energía del panel solar cuando existió una menor concentración de contaminantes ocurrió cuando las precipitaciones fueron mayores.

En cuanto a la velocidad del viento posee un papel doble en el rendimiento de los paneles solares. Por el lado positivo, el viento puede reducir la temperatura del panel solar; incluso disminuye la humedad relativa. A su vez reduce la cantidad de suciedad o material particulado que se encuentre

en la superficie del panel, y todo esto conduce a una mayor eficiencia del panel solar. Sin embargo, la velocidad del viento también tiene un impacto negativo en la eficiencia (Sayyah et al., 2014). A exteriores una mayor velocidad del viento depositará una mayor cantidad de contaminantes sobre el panel solar disminuyen así su eficiencia. Esto se demostró en el estudio realizado por Goossens & Van Kerschaever (1999).

El envejecimiento afectó al panel solar de una manera no uniforme y además durante cada etapa las condiciones ambientales y meteorológicas fueron diferentes. Por tanto, la influencia de factores ambientales como la lluvia, la temperatura y la humedad, el envejecimiento de un conjunto fotovoltaico a menudo se distribuye de manera desigual dentro de cada módulo fotovoltaico. Este envejecimiento no uniforme provoca una mayor disminución de la potencia de salida, lo que a menudo se observa fácilmente en los conjuntos fotovoltaicos de gran tamaño (Udenze et al., 2018). Al realizar el estudio con un panel solar de tamaño reducido, de acuerdo con el modelo establecido, existen variaciones, pero no son tan notorias como lo sería con un panel solar de gran tamaño. Pero, con el modelo que se determinaron las variables que más afectan a la producción de energía del panel solar de acuerdo con los envejecimientos realizados y a la época del año.

La comparación de los resultados con estudios similares en otros países muestra una muy buena coincidencia en algunos casos y una gran diferencia en otros. Es decir que dependiendo de la ubicación geográfica las condiciones meteorológicas y ambientales son diferentes favoreciendo o no a la energía que genera el panel solar. La cantidad anticipada de pérdida se puede estimar a partir de la ubicación geográfica, la concentración de polvo atmosférico, la velocidad del viento predominante, las variaciones de humedad y las tasas de precipitación (Giamalaki & Tsoutsos, 2019). Por ello, las condiciones que posee Quito como ciudad fueron llamativas para el estudio y se demostró que a pesar del deterioro del material la eficiencia del panel solar es alta debido principalmente a la cantidad de radiación que incide en Quito.

La eficiencia de Nash-Sutcliffe, (NSE), es una medida de la precisión predictiva de un modelo hidrológico. Compara los valores simulados del modelo con los valores observados, generalmente datos de caudal, y proporciona una medida de qué tan bien el modelo predice los datos observados. El NSE varía de infinito negativo a 1. Un valor de 1 indica una coincidencia perfecta entre los datos observados y simulados, mientras que los valores más cercanos a cero o negativos indican un rendimiento del modelo más bajo. Y en modelo generado se obtuvo valores cercanos a 1 (Gupta

& Kling, 2011). Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson El PEI varía de 0 a 1, donde 1 indica una coincidencia perfecta entre los datos observados y simulados (Benesty et al., 2009). Al igual que NSE, los valores más cercanos a cero o negativos indican un rendimiento del modelo más bajo. es otra medida estadística utilizada para evaluar el rendimiento de los modelos hidrológicos. Evalúa la relación lineal entre los datos observados y simulados y proporciona una estimación de la precisión del modelo. Estos índices ayudan a los investigadores e hidrólogos a comprender la precisión y confiabilidad de las predicciones del modelo, lo que permite la calibración, mejora y selección del modelo.

Este trabajo de investigación permitió comprobar de manera estadística las variables que más influyen en la producción de energía del panel solar. Gracias al modelo generado es posible determinar la producción de energía siguiendo el comportamiento multivariable de la celda solar en el rango de tiempo analizado. Este modelo sugiere que la metodología aplicada para la obtención del modelo de las variables es una herramienta muy eficiente para analizar el aumento o decaimiento de la energía en función de los factores meteorológicos y los contaminantes ambientales; incluyendo el deterioro del material, es decir, con 5, 10, 15 y 20 años de envejecimiento.

Sin embargo, el modelo no permite realizar estimaciones en otros meses del año donde las condiciones son diferentes. Es porque, se necesitan investigaciones detalladas sobre otras épocas del año para observar cómo cambiaría o que otras variables serías estadísticamente significativas. Adicional para futuras investigaciones se sugiere que se tomen en consideración ángulos de inclinación del panel solar y a su vez el tamaño del panel solar. Esto debido a que el tamaño del panel está relacionado en gran medida con los daños que pueden ocurrir dentro del mismo. De igual manera utilizar paneles solares de distintos materiales para observar si la degradación o envejecimiento es diferente en cada material o si se mantiene.

Capítulo 6

5. Conclusiones

En conclusión, las aproximaciones generadas con el modelo lineal generalizado (GLM) permiten analizar el comportamiento de los paneles fotovoltaicos considerando los factores meteorológicos y los contaminantes ambientales en función de los envejecimientos realizados. De manera general las variables climáticas más significativas que influyen en el rendimiento de los paneles fotovoltaicos son la radiación y la temperatura. De acuerdo con cada etapa de envejecimiento existen variables que influyeron negativa o positivamente con la eficiencia del panel solar. Es decir que para la primera etapa los factores que más tienen influencia en producción de energía son: material particulado, radiación, temperatura y la humedad específica. Para la segunda etapa fueron: el SO_4 , el material particulado, la cantidad de radiación, la temperatura y las precipitaciones. En la tercera etapa fueron: SO_2 , SO_4 , el material particulado, la radiación, la temperatura, la velocidad del viento, la humedad específica y las precipitaciones. Para la cuarta etapa fue: la radiación, la temperatura, la velocidad del viento, las precipitaciones y la humedad específica. Finalmente, para la quinta etapa: el material particulado, la radiación, la temperatura y la velocidad del viento. Además, que mencionaron las interacciones que tienen entre ellas y porque son estadísticamente significativas. Se determinó de igual manera que existen variables que depende una de la otra. Por este motivo el modelo resulta útil para seguir este tipo de fluctuaciones o cambios de cada una de las variables y realizar predicciones de energía del panel solar y utilizarlo para encontrar la mejor etapa del año para utilizar las celdas solares.

En cuanto al modelo, de acuerdo con el coeficiente de Nash-Sutcliffe, al ser cercanos a 1 se determina que el modelo se ajusta y permite la reproducibilidad de este. Además de la flexibilidad que permite el modelo para la variabilidad de los factores meteorológicos y contaminantes atmosféricos. Incluyendo el parámetro de Pearson. Por tanto, el modelo propuesto es capaz de seguir la variabilidad horaria de potencia entregada por un panel fotovoltaico en función del envejecimiento.

6. Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones realizar el estudio en otras épocas del año para observar el cambio de las variables o si se mantienen. Actualmente existen paneles solares de distintos materiales, por lo que, se debería realizar este estudio con diferentes paneles para observar si las variables que afectan al rendimiento de energía están relacionadas con el material del panel.

Además, realizar estudios sobre los cambios estructurales que pueden ocurrir dentro del panel solar puesto que el degradamiento del material es notorio, sin embargo, no existe un patrón de referencia para ser comparado.

El uso de paneles solares es de suma importancia para reducir el cambio climático. Además, el uso de energías renovables puede servir para suministrar energía a lugares donde no exista electricidad. Por lo que se podría estudiar la viabilidad en comunidades donde la energía sea escasa y ver si con esta alternativa su estilo de vida mejoraría.

Bibliografía

- Alberth, Y., & Padilla, B. (n.d.). *CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MATERIAL TÉCNICO-PEDAGÓGICO FÍSICO Y DÍGITAL PARA LA ELECTRÓNICA ANÁLOGA EN INGENIERÍA*.
- Anderson, E. E. (1983). *Fundamentals of solar energy conversion*. 636.
https://books.google.com/books/about/Fundamentals_of_Solar_Energy_Conversion.html?hl=es&id=DdQeAQAAIAAJ
- Appels, R., Muthirayan, B., Beerten, A., Paesen, R., Driesen, J., & Poortmans, J. (2012). The effect of dust deposition on photovoltaic modules. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1886–1889.
<https://doi.org/10.1109/PVSC.2012.6317961>
- Altshuller, A. P. (1956). Thermodynamic Considerations in the Interactions of Nitrogen Oxides and Oxy-Acids in the Atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 6(2), 97–100. <https://doi.org/10.1080/00966665.1956.10467740> Bailey, D. H., & Lefton, L. (2006). *Review of An Introduction to Parallel and Vector Scientific Computing*.
<https://doi.org/10.2172/983319>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van Der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017). Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability 2017, Vol. 9, Page 1339*, 9(8), 1339. <https://doi.org/10.3390/SU9081339>
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 188, 484–494. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.06.036>
- Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. *Springer Topics in Signal Processing*, 2, 1–4. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00296-0_5/COVER
- Billé, R., Kelly, R., Biastoch, A., Harrould-Kolieb, E., Herr, D., Joos, F., Kroeker, K., Laffoley, D., Oschlies, A., & Gattuso, J.-P. (2013). Taking Action Against Ocean Acidification: A Review of Management and Policy Options. *Environmental Management*, 52(4), 761–779.
<https://doi.org/10.1007/s00267-013-0132-7>
- BIMP. (2019). *Le Système international d'unités (SI) The International System of Units (SI)*.
- Can Şener, Ş. E., Sharp, J. L., & Anctil, A. (2018). Factors impacting diverging paths of renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2335–2342.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.042>
- Canar, R. L., Fontaine, A., Morillo, P. L., & El Yacoubi, S. (2020). Deep Learning to implement a Statistical Weather Forecast for the Andean City of Quito. *2020 IEEE ANDESCON*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ANDESCON50619.2020.9272106>

- Cárdenas Freire, D. X., & Cárdenas Freire, D. X. (2010). *Diseño, construcción e implementación de un mecanismo localizador solar automático, montado en un sistema fotovoltaico para mantener la carga de una batería automotriz*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/713>
- Carrión, A. (2016). Megaprojects and the Restructuring of Urban Governance. *Latin American Perspectives*, 43(1), 252–265. <https://doi.org/10.1177/0094582X15579900>
- Change, M. (2017). *Climate change*. <http://sampada.inflibnet.ac.in/jspui/bitstream/123456789/7706/1/M.Sc%20Sem%20II%20Climate%20Change.pdf>
- Chen, Y.-L., Shih, Y.-H., Tseng, C.-H., Kang, S.-Y., & Wang, H.-C. (2013). Economic and health benefits of the co-reduction of air pollutants and greenhouse gases. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(8), 1125–1139. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9413-3>
- Crabtree, G. W., & Lewis, N. S. (2008). Solar Energy Conversion. *AIP Conference Proceedings*, 1044(1), 309. <https://doi.org/10.1063/1.2993729>
- Dincer, F., Meral, M. E., Dincer, F., & Meral, M. E. (2010). Critical Factors that Affecting Efficiency of Solar Cells. *Smart Grid and Renewable Energy*, 1(1), 47–50. <https://doi.org/10.4236/SGRE.2010.11007>
- Drake, F. (2014). *Global warming*. <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=CJl9AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Global+warming&ots=6bw-9IPdKl&sig=fmTmXEio1T65tBHrR7x2MjeZUmo>
- Fernández-García, A., Díaz-Franco, R., Martínez, L., & Wette, J. (2014). Study of the Effect of Acid Atmospheres in Solar Reflectors Durability under Accelerated Aging Conditions. *Energy Procedia*, 49, 1682–1691. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.177>
- Fischer-Cripps, A. C. (2004). *The electronics companion*. CRC Press.
- Gardas, B. B., & Tendolkar, M. V. (2012). Design of Cooling System for Photovoltaic Panel for Increasing Its Electrical Efficiency . *International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE)*, 1, 63–67.
- Giamalaki, M., & Tsoutsos, T. (2019). Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy*, 141, 64–75. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.03.100>
- Gong, J., Li, C., & Wasielewski, M. R. (2019). Advances in solar energy conversion. *1862 | Chem. Soc. Rev*, 48, 1862. <https://doi.org/10.1039/c9cs90020a>
- Goossens, D., & Van Kerschaver, E. (1999). Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance. *Solar Energy*, 66(4), 277–289. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(99)00028-6)

- Gupta, H. V., & Kling, H. (2011). On typical range, sensitivity, and normalization of Mean Squared Error and Nash-Sutcliffe Efficiency type metrics. *Water Resources Research*, 47(10), 10601. <https://doi.org/10.1029/2011WR010962>
- Harrould-Kolieb, E. R., & Herr, D. (2012). Ocean acidification and climate change: synergies and challenges of addressing both under the UNFCCC. *Climate Policy*, 12(3), 378–389. <https://doi.org/10.1080/14693062.2012.620788>
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B. L., Doelman, J. C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J. F. L., Lotze-Campen, H., Mason-D’Croz, D., Ochi, Y., Pérez Domínguez, I., Stehfest, E., Sulser, T. B., Tabeau, A., Takahashi, K., Takakura, J., van Meijl, H., ... Witzke, P. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8(8), 699–703. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>
- Hill, R. J. (1994). Electric railway traction. Part 1: Electric traction and DC traction motor drives. *Power Engineering Journal*, 8(1), 47–56. <https://doi.org/10.1049/pe:19940105>
- Herzog, T. (2009). World Greenhouse Gas Emissions in 2005. <http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers>. Tel:202-729-7600•Fax:202-729-7610•www.wri.org
- Ibrahim, H., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221–1250. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2007.01.023>
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894–900. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.09.094>
- KARAFİL, A., OZBAY, H., & KESLER, M. (2016). Temperature and Solar Radiation Effects on Photovoltaic Panel Power. *Journal of New Results in Science*, 5, 48–58. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jnrs/issue/27333/287728>
- Kawajiri, K., Oozeki, T., & Genchi, Y. (2011). Effect of Temperature on PV Potential in the World. *Environmental Science & Technology*, 45(20), 9030–9035. <https://doi.org/10.1021/es200635x>
- Klein, C. A. M. de, Pinares-Patino, C., & Waghorn, G. C. (2008). Greenhouse gas emissions. *Environmental Impacts of Pasture-Based Farming*, 1–32. <https://doi.org/10.1079/9781845934118.0001>
- Kothari, R., Tyagi, V. V., & Pathak, A. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3164–3170. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.05.005>

- Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO₂ emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858–1864. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2010.02.003>
- Li, C., Jia, W., Tao, Q., & Sun, M. (2011). Solar cell phone charger performance in indoor environment. *2011 IEEE 37th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC)*. <https://doi.org/10.1109/NEBC.2011.5778623>
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Kamalisarvestani, M. (2012). Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2920–2925. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.02.012>
- Mohtasham, J. (2015). Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74, 1289–1297. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2015.07.774>
- Naiyer, S., & Abbas, S. S. (2022). Effect of Greenhouse Gases on Human Health. *Greenhouse Gases: Sources, Sinks and Mitigation*, 85–106. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4482-5_5
- Olofin, T. W., Longe, O. M., & Jen, T. C. (2023). Analysis of Performance Yield Parameters for Selected Polycrystalline Solar Panel Brands in South Africa. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 4561*, 15(5), 4561. <https://doi.org/10.3390/SU15054561>
- Paynter, R. T., & Boydell, T. (2013). *Introduction to Electricity*.
- Pazos Castillo, C. A. (2018). “Determinación del grado de deterioro producido por la acción del clima en diferentes materiales de construcción utilizados en edificaciones de la ciudad de Quito.” <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/15429>
- Peñaherrera M., A. (2008). *The spirit of the historical downtown of the City of Quito*. http://www.international.icomos.org/quebec2008/cd/toindex/79_pdf/79-ZDf7-292.pdf
- Principe, J., & Takeuchi, W. (2019). Assessment of solar PV power potential over Asia Pacific region with remote sensing considering meteorological factors. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(1), 013502. <https://doi.org/10.1063/1.5059335>
- Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348–358. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067>
- Saidan, M., Albaali, A. G., Alasis, E., & Kaldellis, J. K. (2016). Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy*, 92, 499–505. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2016.02.031>
- Scarcello, E., Lobysheva, I., Bouzin, C., Jacques, P. J., Lison, D., & Dessy, C. (2020). Endothelial dysfunction induced by hydroxyl radicals – the hidden face of biodegradable Fe-based materials for coronary stents. *Materials Science and Engineering: C*, 112, 110938. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2020.110938>

- Sahakian, A. B., Jee, S. R., & Pimentel, M. (2010). Methane and the gastrointestinal tract. *Digestive Diseases and Sciences*, 55(8), 2135–2143. <https://doi.org/10.1007/S10620-009-1012-0/METRICS>
- Sayyah, A., Horenstein, M. N., & Mazumder, M. K. (2014). Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels. *Solar Energy*, 107, 576–604. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2014.05.030>
- Schweiger, M., Herrmann, W., Gerber, A., & Rau, U. (2017). Understanding the energy yield of photovoltaic modules in different climates by linear performance loss analysis of the module performance ratio. *IET Renewable Power Generation*, 11(5), 558–565. <https://doi.org/10.1049/IET-RPG.2016.0682>
- Son, N., & Jung, M. (2020). Analysis of Meteorological Factor Multivariate Models for Medium- and Long-Term Photovoltaic Solar Power Forecasting Using Long Short-Term Memory. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 316, 11(1), 316. <https://doi.org/10.3390/APP11010316>
- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. I. (2016). *Definición e información de energías renovables*. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Tol, R. S. J. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. <https://doi.org/10.1093/Reep/Rex027>, 12(1), 4–25. <https://doi.org/10.1093/REEP/REX027>
- Udenze, P., Hu, Y., Wen, H., Ye, X., & Ni, K. (2018). A Reconfiguration Method for Extracting Maximum Power from Non-Uniform Aging Solar Panels. *Energies* 2018, Vol. 11, Page 2743, 11(10), 2743. <https://doi.org/10.3390/EN11102743>
- University of Michigan. (2022). *Energy For Complete Set of Factsheets visit Photovoltaic Energy PV Modules and Balance of System (BOS)*.
- Vera, I., & Langlois, L. (2007). Energy indicators for sustainable development. *Energy*, 32(6), 875–882. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2006.08.006>
- Yang, Z., Liu, P., Cheng, L., Liu, D., Ming, B., Li, H., & Xia, Q. (2021). Sizing utility-scale photovoltaic power generation for integration into a hydropower plant considering the effects of climate change: A case study in the Longyangxia of China. *Energy*, 236, 121519. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121519>
- Zambrano-Barragán, C., Z. O., Villacís, M., & Enríquez, D. (2011). *A response to climate change in the metropolitan district of quito, Ecuador. In Resilient Cities: Cities and Adaptation to Climate Change-Proceedings of the Global Forum* .
- Zambrano-Barragán, C., Zevallos, O., Villacís, M., & Enríquez, D. (2011). Quito's Climate Change Strategy: A Response to Climate Change in the Metropolitan District of Quito, Ecuador. *Resilient Cities*, 515–529. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0785-6_51

Anexos

Anexo 1.

Tabla 1. Datos de la etapa 1 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área

Fecha	Hora	Orden	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Potencia por Área (W/m²)
22/12/2022	1	1	5.6	0.01	0.056	0.77134986
22/12/2022	2	2	18	0.05	0.9	12.3966942
22/12/2022	3	3	20.5	0.06	1.23	16.9421488
22/12/2022	4	4	20.4	0.05	1.02	14.0495868
22/12/2022	5	5	19.9	0.05	0.995	13.7052342
22/12/2022	6	6	20.4	0.05	1.02	14.0495868
22/12/2022	7	7	20	0.05	1	13.7741047
22/12/2022	8	8	18.2	0.05	0.91	12.5344353
22/12/2022	9	9	20.4	0.06	1.224	16.8595041
22/12/2022	10	10	19.9	0.06	1.194	16.446281
22/12/2022	11	11	16.9	0.04	0.676	9.31129477
22/12/2022	12	12	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
23/12/2022	1	13	14.5	0.05	0.725	9.9862259
23/12/2022	2	14	20	0.06	1.2	16.5289256
23/12/2022	3	15	20.2	0.06	1.212	16.6942149
23/12/2022	4	16	20.2	0.06	1.212	16.6942149
23/12/2022	5	17	20	0.06	1.2	16.5289256
23/12/2022	6	18	20.1	0.06	1.206	16.6115702
23/12/2022	7	19	18.2	0.05	0.91	12.5344353
23/12/2022	8	20	20.1	0.06	1.206	16.6115702
23/12/2022	9	21	19.4	0.05	0.97	13.3608815
23/12/2022	10	22	20.1	0.05	1.005	13.8429752
23/12/2022	11	23	4.1	0.01	0.041	0.56473829
23/12/2022	12	24	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
24/12/2022	1	25	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
24/12/2022	2	26	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
24/12/2022	3	27	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
24/12/2022	4	28	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
24/12/2022	5	29	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
24/12/2022	6	30	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
24/12/2022	7	31	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
24/12/2022	8	32	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
24/12/2022	9	33	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
24/12/2022	10	34	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
24/12/2022	11	35	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
24/12/2022	12	36	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258

25/12/2022	1	37	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
25/12/2022	2	38	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
25/12/2022	3	39	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
25/12/2022	4	40	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
25/12/2022	5	41	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
25/12/2022	6	42	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
25/12/2022	7	43	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
25/12/2022	8	44	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
25/12/2022	9	45	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
25/12/2022	10	46	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
25/12/2022	11	47	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
25/12/2022	12	48	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
26/12/2022	1	49	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
26/12/2022	2	50	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
26/12/2022	3	51	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
26/12/2022	4	52	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
26/12/2022	5	53	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
26/12/2022	6	54	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
26/12/2022	7	55	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
26/12/2022	8	56	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
26/12/2022	9	57	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
26/12/2022	10	58	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
26/12/2022	11	59	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
26/12/2022	12	60	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
27/12/2022	1	61	4.5	0.01	0.045	0.61983471
27/12/2022	2	62	14.5	0.05	0.725	9.9862259
27/12/2022	3	63	21.1	0.07	1.477	20.3443526
27/12/2022	4	64	19.3	0.05	0.965	13.292011
27/12/2022	5	65	20	0.05	1	13.7741047
27/12/2022	6	66	20.1	0.06	1.206	16.6115702
27/12/2022	7	67	18.2	0.05	0.91	12.5344353
27/12/2022	8	68	19.1	0.06	1.146	15.785124
27/12/2022	9	69	20.1	0.06	1.206	16.6115702
27/12/2022	10	70	20.1	0.06	1.206	16.6115702
27/12/2022	11	71	6.2	0.01	0.062	0.85399449
27/12/2022	12	72	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
28/12/2022	1	73	5.6	0.01	0.056	0.77134986
28/12/2022	2	74	19.8	0.05	0.99	13.6363636
28/12/2022	3	75	20.7	0.06	1.242	17.107438
28/12/2022	4	76	20.2	0.06	1.212	16.6942149
28/12/2022	5	77	20.2	0.06	1.212	16.6942149
28/12/2022	6	78	19.8	0.05	0.99	13.6363636
28/12/2022	7	79	20.3	0.06	1.218	16.7768595
28/12/2022	8	80	18.6	0.05	0.93	12.8099174

28/12/2022	9	81	19.4	0.06	1.164	16.0330579
28/12/2022	10	82	20.1	0.06	1.206	16.6115702
28/12/2022	11	83	5.9	0.01	0.059	0.81267218
28/12/2022	12	84	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
29/12/2022	1	85	7.5	0.01	0.075	1.03305785
29/12/2022	2	86	18.6	0.05	0.93	12.8099174
29/12/2022	3	87	20.2	0.06	1.212	16.6942149
29/12/2022	4	88	20.1	0.06	1.206	16.6115702
29/12/2022	5	89	19.6	0.05	0.98	13.4986226
29/12/2022	6	90	19.7	0.05	0.985	13.5674931
29/12/2022	7	91	17.5	0.05	0.875	12.0523416
29/12/2022	8	92	14.5	0.03	0.435	5.99173554
29/12/2022	9	93	16.1	0.04	0.644	8.87052342
29/12/2022	10	94	19.5	0.05	0.975	13.4297521
29/12/2022	11	95	16.6	0.05	0.83	11.4325069
29/12/2022	12	96	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
30/12/2022	1	97	5.1	0.01	0.051	0.70247934
30/12/2022	2	98	19	0.06	1.14	15.7024793
30/12/2022	3	99	17.05	0.05	0.8525	11.7424242
30/12/2022	4	100	19.5	0.05	0.975	13.4297521
30/12/2022	5	101	20.1	0.05	1.005	13.8429752
30/12/2022	6	102	19.6	0.06	1.176	16.1983471
30/12/2022	7	103	19.8	0.06	1.188	16.3636364
30/12/2022	8	104	19.6	0.06	1.176	16.1983471
30/12/2022	9	105	18	0.05	0.9	12.3966942
30/12/2022	10	106	17.1	0.05	0.855	11.7768595
30/12/2022	11	107	4.9	0.05	0.245	3.37465565
30/12/2022	12	108	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
31/12/2022	1	109	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
31/12/2022	2	110	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
31/12/2022	3	111	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
31/12/2022	4	112	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
31/12/2022	5	113	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
31/12/2022	6	114	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
31/12/2022	7	115	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
31/12/2022	8	116	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
31/12/2022	9	117	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
31/12/2022	10	118	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
31/12/2022	11	119	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
31/12/2022	12	120	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
01/01/2023	1	121	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
01/01/2023	2	122	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
01/01/2023	3	123	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
01/01/2023	4	124	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128

01/01/2023	5	125	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
01/01/2023	6	126	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
01/01/2023	7	127	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
01/01/2023	8	128	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
01/01/2023	9	129	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
01/01/2023	10	130	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
01/01/2023	11	131	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
01/01/2023	12	132	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
02/01/2023	1	133	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
02/01/2023	2	134	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
02/01/2023	3	135	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
02/01/2023	4	136	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
02/01/2023	5	137	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
02/01/2023	6	138	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
02/01/2023	7	139	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
02/01/2023	8	140	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
02/01/2023	9	141	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
02/01/2023	10	142	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
02/01/2023	11	143	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
02/01/2023	12	144	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
03/01/2023	1	145	4.5	0.01	0.045	0.61983471
03/01/2023	2	146	18	0.05	0.9	12.3966942
03/01/2023	3	147	19.4	0.07	1.358	18.7052342
03/01/2023	4	148	19.6	0.06	1.176	16.1983471
03/01/2023	5	149	14.6	0.04	0.584	8.04407713
03/01/2023	6	150	19.5	0.06	1.17	16.1157025
03/01/2023	7	151	10.6	0.01	0.106	1.4600551
03/01/2023	8	152	10.3	0.01	0.103	1.41873278
03/01/2023	9	153	11.2	0.01	0.112	1.54269972
03/01/2023	10	154	7.6	0.01	0.076	1.04683196
03/01/2023	11	155	4.1	0.01	0.041	0.56473829
03/01/2023	12	156	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
04/01/2023	1	157	12.9	0.03	0.387	5.33057851
04/01/2023	2	158	19.1	0.06	1.146	15.785124
04/01/2023	3	159	19.5	0.06	1.17	16.1157025
04/01/2023	4	160	19.6	0.06	1.176	16.1983471
04/01/2023	5	161	20	0.05	1	13.7741047
04/01/2023	6	162	20.1	0.06	1.206	16.6115702
04/01/2023	7	163	19.8	0.05	0.99	13.6363636
04/01/2023	8	164	19.9	0.05	0.995	13.7052342
04/01/2023	9	165	18.4	0.04	0.736	10.137741
04/01/2023	10	166	12.3	0.03	0.369	5.08264463
04/01/2023	11	167	4.5	0.01	0.045	0.61983471
04/01/2023	12	168	2.06	0.01	0.0206	0.28374656

05/01/2023	1	169	11.6	0.04	0.464	6.39118457
05/01/2023	2	170	19.2	0.05	0.96	13.2231405
05/01/2023	3	171	20.8	0.06	1.248	17.1900826
05/01/2023	4	172	19.4	0.05	0.97	13.3608815
05/01/2023	5	173	19.3	0.05	0.965	13.292011
05/01/2023	6	174	18.8	0.05	0.94	12.9476584
05/01/2023	7	175	19.6	0.06	1.176	16.1983471
05/01/2023	8	176	20.2	0.07	1.414	19.476584
05/01/2023	9	177	11.5	0.02	0.23	3.16804408
05/01/2023	10	178	12.8	0.02	0.256	3.5261708
05/01/2023	11	179	4	0.01	0.04	0.55096419
05/01/2023	12	180	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
06/01/2023	1	181	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
06/01/2023	2	182	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
06/01/2023	3	183	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
06/01/2023	4	184	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
06/01/2023	5	185	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
06/01/2023	6	186	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
06/01/2023	7	187	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
06/01/2023	8	188	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
06/01/2023	9	189	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
06/01/2023	10	190	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
06/01/2023	11	191	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
06/01/2023	12	192	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
07/01/2023	1	193	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
07/01/2023	2	194	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
07/01/2023	3	195	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
07/01/2023	4	196	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
07/01/2023	5	197	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
07/01/2023	6	198	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
07/01/2023	7	199	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
07/01/2023	8	200	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
07/01/2023	9	201	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
07/01/2023	10	202	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
07/01/2023	11	203	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
07/01/2023	12	204	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
08/01/2023	1	205	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
08/01/2023	2	206	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
08/01/2023	3	207	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
08/01/2023	4	208	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
08/01/2023	5	209	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
08/01/2023	6	210	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
08/01/2023	7	211	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
08/01/2023	8	212	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249

08/01/2023	9	213	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
08/01/2023	10	214	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
08/01/2023	11	215	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
08/01/2023	12	216	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
09/01/2023	1	217	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
09/01/2023	2	218	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
09/01/2023	3	219	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
09/01/2023	4	220	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
09/01/2023	5	221	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
09/01/2023	6	222	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
09/01/2023	7	223	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
09/01/2023	8	224	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
09/01/2023	9	225	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
09/01/2023	10	226	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
09/01/2023	11	227	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
09/01/2023	12	228	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
10/01/2023	1	229	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
10/01/2023	2	230	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
10/01/2023	3	231	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
10/01/2023	4	232	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
10/01/2023	5	233	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
10/01/2023	6	234	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
10/01/2023	7	235	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
10/01/2023	8	236	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
10/01/2023	9	237	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
10/01/2023	10	238	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
10/01/2023	11	239	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
10/01/2023	12	240	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
11/01/2023	1	241	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
11/01/2023	2	242	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
11/01/2023	3	243	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
11/01/2023	4	244	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
11/01/2023	5	245	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
11/01/2023	6	246	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
11/01/2023	7	247	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
11/01/2023	8	248	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
11/01/2023	9	249	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
11/01/2023	10	250	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
11/01/2023	11	251	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
11/01/2023	12	252	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
12/01/2023	1	253	10.6	0.01	0.106	1.4600551
12/01/2023	2	254	19.6	0.03	0.588	8.09917355
12/01/2023	3	255	19.4	0.04	0.776	10.6887052
12/01/2023	4	256	20.1	0.05	1.005	13.8429752

12/01/2023	5	257	19.2	0.04	0.768	10.5785124
12/01/2023	6	258	18.9	0.04	0.756	10.4132231
12/01/2023	7	259	18.5	0.04	0.74	10.1928375
12/01/2023	8	260	21.2	0.05	1.06	14.600551
12/01/2023	9	261	12.9	0.01	0.129	1.7768595
12/01/2023	10	262	18.0333333	0.04055556	0.73135185	10.073717
12/01/2023	11	263	17.6683333	0.02555556	0.45152407	6.21933986
12/01/2023	12	264	12.8138889	0.01722222	0.22068364	3.03971959
13/01/2023	1	265	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
13/01/2023	2	266	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
13/01/2023	3	267	16.9477778	0.04666667	0.7908963	10.8938884
13/01/2023	4	268	17.1472222	0.04388889	0.75257253	10.3660128
13/01/2023	5	269	18.7472222	0.04555556	0.85404012	11.7636381
13/01/2023	6	270	19.1072222	0.04777778	0.91290062	12.5743887
13/01/2023	7	271	18.8111111	0.04611111	0.86740123	11.9476754
13/01/2023	8	272	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
13/01/2023	9	273	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
13/01/2023	10	274	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
13/01/2023	11	275	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
13/01/2023	12	276	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
14/01/2023	1	277	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
14/01/2023	2	278	14.5	0.04	0.58	7.98898072
14/01/2023	3	279	19.3	0.03	0.579	7.97520661
14/01/2023	4	280	20.2	0.07	1.414	19.476584
14/01/2023	5	281	20.2	0.07	1.414	19.476584
14/01/2023	6	282	19.97	0.05	0.9985	13.7534435
14/01/2023	7	283	19.83	0.04	0.7932	10.9256198
14/01/2023	8	284	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249
14/01/2023	9	285	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
14/01/2023	10	286	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
14/01/2023	11	287	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
14/01/2023	12	288	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
15/01/2023	1	289	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
15/01/2023	2	290	17.2583333	0.04388889	0.75744907	10.4331828
15/01/2023	3	291	20.7	0.04	0.828	11.4049587
15/01/2023	4	292	19.46	0.05	0.973	13.4022039
15/01/2023	5	293	19.7	0.05	0.985	13.5674931
15/01/2023	6	294	20.1	0.05	1.005	13.8429752
15/01/2023	7	295	19.5	0.04	0.78	10.7438017
15/01/2023	8	296	20.1	0.05	1.005	13.8429752
15/01/2023	9	297	20.2	0.04	0.808	11.1294766
15/01/2023	10	298	19.29	0.04	0.7716	10.6280992
15/01/2023	11	299	17.7	0.02	0.354	4.87603306
15/01/2023	12	300	16.3	0.01	0.163	2.24517906

16/01/2023	1	301	11.2210526	0.01947368	0.21851524	3.00985173
16/01/2023	2	302	20.08	0.05	1.004	13.8292011
16/01/2023	3	303	20.1	0.05	1.005	13.8429752
16/01/2023	4	304	20	0.05	1	13.7741047
16/01/2023	5	305	20.1	0.06	1.206	16.6115702
16/01/2023	6	306	20.1	0.05	1.005	13.8429752
16/01/2023	7	307	21.1	0.06	1.266	17.4380165
16/01/2023	8	308	18.3	0.04	0.732	10.0826446
16/01/2023	9	309	20.1	0.05	1.005	13.8429752
16/01/2023	10	310	20.1	0.06	1.206	16.6115702
16/01/2023	11	311	19.55	0.04	0.782	10.7713499
16/01/2023	12	312	18	0.03	0.54	7.43801653
17/01/2023	1	313	12.4	0.01	0.124	1.70798898
17/01/2023	2	314	19.4	0.04	0.776	10.6887052
17/01/2023	3	315	20.2	0.05	1.01	13.9118457
17/01/2023	4	316	20.5	0.06	1.23	16.9421488
17/01/2023	5	317	20	0.04	0.8	11.0192837
17/01/2023	6	318	20.4	0.05	1.02	14.0495868
17/01/2023	7	319	21.3	0.06	1.278	17.6033058
17/01/2023	8	320	20.4	0.04	0.816	11.2396694
17/01/2023	9	321	21.1	0.05	1.055	14.5316804
17/01/2023	10	322	19.5	0.03	0.585	8.05785124
17/01/2023	11	323	16.1	0.02	0.322	4.43526171
17/01/2023	12	324	10.4	0.01	0.104	1.43250689
18/01/2023	1	325	7.72	0.01	0.0772	1.06336088
18/01/2023	2	326	20.2	0.05	1.01	13.9118457
18/01/2023	3	327	19.9	0.05	0.995	13.7052342
18/01/2023	4	328	20.3	0.04	0.812	11.184573
18/01/2023	5	329	21.1	0.05	1.055	14.5316804
18/01/2023	6	330	19.6	0.04	0.784	10.7988981
18/01/2023	7	331	18.8	0.03	0.564	7.76859504
18/01/2023	8	332	8.1	0.01	0.081	1.11570248
18/01/2023	9	333	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
18/01/2023	10	334	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
18/01/2023	11	335	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
18/01/2023	12	336	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
19/01/2023	1	337	21.6	0.06	1.296	17.8512397
19/01/2023	2	338	18.43	0.03	0.5529	7.61570248
19/01/2023	3	339	17.51	0.03	0.5253	7.23553719
19/01/2023	4	340	19.9	0.04	0.796	10.9641873
19/01/2023	5	341	19.1	0.03	0.573	7.89256198
19/01/2023	6	342	19.3	0.04	0.772	10.6336088
19/01/2023	7	343	19.5	0.06	1.17	16.1157025
19/01/2023	8	344	17.9327778	0.04222222	0.75716173	10.4292249

19/01/2023	9	345	18.0333333	0.04111111	0.74137037	10.2117131
19/01/2023	10	346	17.6683333	0.04055556	0.71654907	9.86982196
19/01/2023	11	347	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
19/01/2023	12	348	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258
20/01/2023	1	349	9.39	0.01	0.0939	1.29338843
20/01/2023	2	350	13.5	0.02	0.27	3.71900826
20/01/2023	3	351	19.3	0.04	0.772	10.6336088
20/01/2023	4	352	19.7	0.04	0.788	10.8539945
20/01/2023	5	353	20.5	0.04	0.82	11.2947658
20/01/2023	6	354	18.5	0.03	0.555	7.6446281
20/01/2023	7	355	19.5	0.04	0.78	10.7438017
20/01/2023	8	356	18.3	0.04	0.732	10.0826446
20/01/2023	9	357	7.84	0.02	0.1568	2.15977961
20/01/2023	10	358	12.5	0.02	0.25	3.44352617
20/01/2023	11	359	6.5	0.02	0.13	1.79063361
20/01/2023	12	360	2.06	0.01	0.0206	0.28374656
21/01/2023	1	361	5.87	0.01	0.0587	0.80853994
21/01/2023	2	362	12.8	0.02	0.256	3.5261708
21/01/2023	3	363	10.56	0.01	0.1056	1.45454545
21/01/2023	4	364	15.3	0.02	0.306	4.21487603
21/01/2023	5	365	13.79	0.02	0.2758	3.79889807
21/01/2023	6	366	15.9	0.02	0.318	4.38016529
21/01/2023	7	367	19.2	0.04	0.768	10.5785124
21/01/2023	8	368	20.2	0.05	1.01	13.9118457
21/01/2023	9	369	19.8	0.04	0.792	10.9090909
21/01/2023	10	370	8.9	0.02	0.178	2.45179063
21/01/2023	11	371	14.2	0.02	0.284	3.91184573
21/01/2023	12	372	2.2	0.01	0.022	0.3030303
22/01/2023	1	373	8.91	0.01	0.0891	1.22727273
22/01/2023	2	374	18.13	0.03	0.5439	7.49173554
22/01/2023	3	375	19.77	0.05	0.9885	13.6157025
22/01/2023	4	376	19.5	0.05	0.975	13.4297521
22/01/2023	5	377	20.3	0.05	1.015	13.9807163
22/01/2023	6	378	19.6	0.04	0.784	10.7988981
22/01/2023	7	379	19.4	0.03	0.582	8.01652893
22/01/2023	8	380	14.7	0.02	0.294	4.04958678
22/01/2023	9	381	17.8	0.03	0.534	7.3553719
22/01/2023	10	382	17.47	0.03	0.5241	7.21900826
22/01/2023	11	383	5.2	0.01	0.052	0.71625344
22/01/2023	12	384	2.42	0.01	0.0242	0.33333333
23/01/2023	1	385	4.58	0.02	0.0916	1.26170799
23/01/2023	2	386	19.46	0.05	0.973	13.4022039
23/01/2023	3	387	17.5	0.03	0.525	7.23140496
23/01/2023	4	388	20.3	0.05	1.015	13.9807163

23/01/2023	5	389	20.2	0.04	0.808	11.1294766
23/01/2023	6	390	20.3	0.04	0.812	11.184573
23/01/2023	7	391	17.7	0.04	0.708	9.75206612
23/01/2023	8	392	18.5	0.05	0.925	12.7410468
23/01/2023	9	393	18.1	0.04	0.724	9.97245179
23/01/2023	10	394	16.21	0.04	0.6484	8.93112948
23/01/2023	11	395	12.8138889	0.02555556	0.32746605	4.51055164
23/01/2023	12	396	8.31888889	0.01722222	0.14326975	1.97341258

Tabla 2. Datos de la etapa 2 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área

Fecha	Hora	Orden	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Potencia por Área (W/m2)
01/02/2023	1	1	2.42	0	0	0
01/02/2023	2	2	15.92	0.04	0.6368	8.77134986
01/02/2023	3	3	16.96	0.04	0.6784	9.34435262
01/02/2023	4	4	15.3	0.03	0.459	6.32231405
01/02/2023	5	5	19.6	0.04	0.784	10.7988981
01/02/2023	6	6	19.5	0.05	0.975	13.4297521
01/02/2023	7	7	19.1	0.03	0.573	7.89256198
01/02/2023	8	8	17.5	0.03	0.525	7.23140496
01/02/2023	9	9	20	0.04	0.8	11.0192837
01/02/2023	10	10	11.1	0.03	0.333	4.58677686
01/02/2023	11	11	3.32	0	0	0
01/02/2023	12	12	0	0	0	0
02/02/2023	1	13	6.5	0.01	0.065	0.8953168
02/02/2023	2	14	19.6	0.03	0.588	8.09917355
02/02/2023	3	15	20	0.04	0.8	11.0192837
02/02/2023	4	16	20.6	0.04	0.824	11.3498623
02/02/2023	5	17	20.6	0.06	1.236	17.0247934
02/02/2023	6	18	19.5	0.04	0.78	10.7438017
02/02/2023	7	19	19.2	0.04	0.768	10.5785124
02/02/2023	8	20	19.5	0.05	0.975	13.4297521
02/02/2023	9	21	18.7	0.04	0.748	10.3030303
02/02/2023	10	22	18.07	0.04	0.7228	9.95592287
02/02/2023	11	23	5.8	0.01	0.058	0.79889807
02/02/2023	12	24	0	0	0	0

Tabla 3. Datos de la etapa 3 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área

Fecha	Hora	Orden	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)	Potencia por Área (W/m ²)
08/02/2023	1	1	5.85	0.01	0.0585	0.80578512
08/02/2023	2	2	19.39	0.05	0.9695	13.3539945
08/02/2023	3	3	19.84	0.04	0.7936	10.9311295
08/02/2023	4	4	20.2	0.05	1.01	13.9118457
08/02/2023	5	5	19.6	0.06	1.176	16.1983471
08/02/2023	6	6	19.8	0.04	0.792	10.9090909
08/02/2023	7	7	20.7	0.05	1.035	14.2561983
08/02/2023	8	8	18.3	0.04	0.732	10.0826446
08/02/2023	9	9	16.5	0.03	0.495	6.81818182
08/02/2023	10	10	17.36	0.02	0.3472	4.78236915
08/02/2023	11	11	10.5	0.01	0.105	1.44628099
08/02/2023	12	12	0	0	0	0
09/02/2023	1	13	5.55	0.01	0.0555	0.76446281
09/02/2023	2	14	19.39	0.04	0.7756	10.6831956
09/02/2023	3	15	19.84	0.04	0.7936	10.9311295
09/02/2023	4	16	20.2	0.05	1.01	13.9118457
09/02/2023	5	17	19.6	0.06	1.176	16.1983471
09/02/2023	6	18	19.8	0.04	0.792	10.9090909
09/02/2023	7	19	20.7	0.05	1.035	14.2561983
09/02/2023	8	20	18.3	0.04	0.732	10.0826446
09/02/2023	9	21	17.5	0.03	0.525	7.23140496
09/02/2023	10	22	16	0.03	0.48	6.61157025
09/02/2023	11	23	9.6	0.01	0.096	1.32231405
09/02/2023	12	24	0	0	0	0

Tabla 4. Datos de la etapa 4 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área

Fecha	Hora	Orden	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Potencia por Área (W/m ²)
22/02/2023	1	1	2.2	0	0	0
22/02/2023	2	2	15.5	0.03	0.465	6.40495868
22/02/2023	3	3	19.4	0.06	1.164	16.0330579
22/02/2023	4	4	18.6	0.05	0.93	12.8099174
22/02/2023	5	5	20.3	0.06	1.218	16.7768595
22/02/2023	6	6	19.5	0.05	0.975	13.4297521
22/02/2023	7	7	19.4	0.04	0.776	10.6887052
22/02/2023	8	8	19.3	0.04	0.772	10.6336088

22/02/2023	9	9	19.3	0.04	0.772	10.6336088
22/02/2023	10	10	18.4	0.04	0.736	10.137741
22/02/2023	11	11	17	0.04	0.68	9.36639118
22/02/2023	12	12	0.11	0	0	0
23/02/2023	1	13	5	0	0	0
23/02/2023	2	14	10.37	0.02	0.2074	2.85674931
23/02/2023	3	15	11.98	0.02	0.2396	3.30027548
23/02/2023	4	16	19.6	0.04	0.784	10.7988981
23/02/2023	5	17	21	0.05	1.05	14.4628099
23/02/2023	6	18	20.2	0.05	1.01	13.9118457
23/02/2023	7	19	19.25	0.06	1.155	15.9090909
23/02/2023	8	20	18.9	0.05	0.945	13.0165289
23/02/2023	9	21	18.3	0.04	0.732	10.0826446
23/02/2023	10	22	16.4	0.06	0.984	13.553719
23/02/2023	11	23	4.89	0.01	0.0489	0.67355372
23/02/2023	12	24	0.22	0	0	0

Tabla 5. Datos de la etapa 5 de voltaje, corriente, potencia y potencia por área

Fecha	Hora	Orden	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Potencia por Área (W/m²)
04/03/2023	1	1	6.46	0.01	0.0646	0.88980716
04/03/2023	2	2	17.76	0.04	0.7104	9.78512397
04/03/2023	3	3	18.21	0.04	0.7284	10.0330579
04/03/2023	4	4	18.79	0.06	1.1274	15.5289256
04/03/2023	5	5	19.02	0.05	0.951	13.0991736
04/03/2023	6	6	19.19	0.04	0.7676	10.5730028
04/03/2023	7	7	19.73	0.06	1.1838	16.3057851
04/03/2023	8	8	16.67	0.04	0.6668	9.184573
04/03/2023	9	9	19.44	0.05	0.972	13.3884298
04/03/2023	10	10	20.7	0.06	1.242	17.107438
04/03/2023	11	11	15	0.03	0.45	6.19834711
04/03/2023	12	12	4.32	0.02	0.0864	1.19008264
05/03/2023	1	13	8.4	0.01	0.084	1.15702479
05/03/2023	2	14	19.87	0.05	0.9935	13.684573
05/03/2023	3	15	19.9	0.05	0.995	13.7052342
05/03/2023	4	16	18.7	0.05	0.935	12.8787879
05/03/2023	5	17	14.05	0.04	0.562	7.74104683
05/03/2023	6	18	21.6	0.06	1.296	17.8512397
05/03/2023	7	19	19.3	0.05	0.965	13.292011
05/03/2023	8	20	17.81	0.06	1.0686	14.7190083
05/03/2023	9	21	19.61	0.05	0.9805	13.5055096
05/03/2023	10	22	17.83	0.04	0.7132	9.82369146

05/03/2023	11	23	15.08	0.04	0.6032	8.30853994
05/03/2023	12	24	1.8	0.01	0.018	0.24793388

Tabla 6. Datos de la radiación en (W/m²) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de Radiación (W/m²) E1	Promedio de Radiación (W/m²) E2	Promedio de Radiación (W/m²) E3	Promedio de Radiación (W/m²) E4	Promedio de Radiación (W/m²) E5
7	308.5670971	318.651688	320.397049	326.218903	372.710526
8	305.5381913	319.9226075	319.490295	325.837982	372.704789
9	302.5994125	318.391403	318.327195	322.312195	372.386871
10	300.0977663	316.047119	317.420715	317.835312	372.229172
11	298.1943184	311.9810485	317.19458	317.698395	372.221634
12	294.6663319	308.4175265	316.283554	318.844483	372.296616
13	288.3621355	301.552017	301.240814	317.216523	371.678818
14	290.375762	297.7468715	303.620438	317.827118	372.149246
15	295.2128509	298.4177095	306.204804	320.256272	374.313751
16	299.9750024	304.9493255	310.62584	327.390747	378.451249
17	305.1158752	311.779831	315.722885	333.289841	381.171494
18	310.1891508	315.4076995	321.193787	343.127167	382.909348

Tabla 7. Datos de la temperatura en (K) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de Temp. (K) E1	Promedio de Temp. (K) E2	Promedio de Temp. (K) E3	Promedio de Temp. (K) E4	Promedio de Temp. (K) E5
7	283.201054	284.626114	288.338334	287.913193	291.730896
8	283.198058	284.502426	288.0737	287.907609	291.597702
9	283.196036	284.534272	287.934098	287.946961	291.510453
10	283.194831	284.568512	287.902466	288.02446	291.437546
11	283.194493	284.553544	287.919464	288.10257	291.394379
12	283.195226	284.655533	287.91893	288.218063	291.40448
13	283.199486	286.051361	289.482636	289.182374	291.991654
14	283.204431	287.676788	291.204148	290.470765	293.049668
15	283.207009	288.94664	292.635056	291.668411	294.102127
16	283.207688	289.896042	293.692032	292.38556	294.940186
17	283.206688	290.406678	293.96016	292.508622	295.42923
18	283.204439	287.257599	293.550537	292.214432	295.68866

Tabla 8. Datos de la velocidad del viento en (m/s) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de WV (m/s) E1	Promedio de WV (m/s) E2	Promedio de WV (m/s) E3	Promedio de WV (m/s) E4	Promedio de WV (m/s) E5
7	2.05789611	1.97143108	2.21829039	1.91637552	3.45716202
8	2.0760031	1.92931921	2.40813041	2.04478693	3.35000694
9	2.25884481	1.81905175	2.68097085	2.27515763	3.20955241
10	2.53021851	1.92056865	2.84877062	2.49814272	3.1425941
11	2.78901551	2.17867923	2.87110091	2.60252238	3.12372625
12	3.11843739	2.36352229	2.29551328	2.52630162	3.0074122
13	3.61003584	2.58483565	2.40399468	2.85246492	3.19866979
14	4.07458536	3.20534992	3.08555198	3.65132392	3.5794282
15	4.28655952	3.83832777	3.66202438	4.5176301	4.03189135
16	4.2409487	4.25984168	4.40071964	5.23176813	4.42307282
17	4.14419986	4.49168527	5.15939451	5.77856159	4.69474531
18	4.02106815	4.48845685	5.56253887	6.07508874	4.90392924

Tabla 9. Datos de la precipitación en (mm/H) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de Precip. (mm/H) E1	Promedio de Precip. (mm/H) E2	Promedio de Precip. (mm/H) E3	Promedio de Precip. (mm/H) E4	Promedio de Precip. (mm/H) E5
7	0.56838955	1.04885101	0.60132444	0.13169143	0.78145486
8	0.49841283	0.68846941	0.49874336	0.10337569	0.66556945
9	0.42681998	0.43264031	0.3532771	0.08217283	0.58224453
10	0.37327688	0.31306744	0.28866604	0.07527284	0.53525905
11	0.33345934	0.23504198	0.29969662	0.06851032	0.56202374
12	0.2826646	0.16535819	0.28499812	0.06085932	0.55997537
13	0.25551328	0.10495484	0.21811053	0.06186515	0.49690865
14	0.29569314	0.12587607	0.17043427	0.07410944	0.44187655
15	0.4259767	0.20695925	0.21218956	0.11933148	0.45981932
16	0.63424744	0.39771795	0.39669871	0.32135546	0.55703221
17	0.94835067	0.671947	0.93501806	0.73192119	0.69389024
18	1.31179203	1.03898049	1.80222989	1.36320591	0.84151059

Tabla 10. Datos de la humedad específica promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de Hum E1	Promedio de Hum E2	Promedio de Hum E3	Promedio de Hum E4	Promedio de Hum E5
7	0.00960594	0.01130728	0.01308439	0.01153949	0.01477212
8	0.00949174	0.01117943	0.01282173	0.01122391	0.01460738
9	0.00937349	0.01108207	0.01256229	0.01089319	0.01446863

10	0.00923808	0.01099123	0.01227445	0.01054965	0.01435727
11	0.00909365	0.01089545	0.01200536	0.01020105	0.01426551
12	0.00895789	0.01079564	0.01179133	0.00989458	0.01424035
13	0.00882709	0.01052402	0.01160947	0.01012849	0.0143121
14	0.00862443	0.01015908	0.01133881	0.01009156	0.01426214
15	0.00859242	0.01006141	0.01115056	0.01016228	0.01403293
16	0.00867384	0.01011206	0.01114396	0.01042653	0.01391871
17	0.00884316	0.01026736	0.01143546	0.01078753	0.01399177
18	0.0090546	0.01055339	0.01193861	0.01119497	0.01415131

Tabla 11. Datos de SO₂ (kg/m³) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de SO₂ (kg/m³) E1	Promedio de SO₂ (kg/m³) E2	Promedio de SO₂ (kg/m³) E3	Promedio de SO₂ (kg/m³) E4	Promedio de SO₂ (kg/m³) E5
7	1.3044E-10	2.56E-10	7.4E-10	1.6245E-09	5.685E-10
8	2.6419E-10	5.53E-10	1.0525E-09	1.925E-09	6.67E-10
9	1.9882E-10	3.695E-10	9.965E-10	2.19E-09	6.03E-10
10	2.122E-10	3.46E-10	1.034E-09	2.365E-09	6E-10
11	3.6489E-10	6.515E-10	1.3875E-09	2.58E-09	6.965E-10
12	4.1982E-10	6.1E-10	1.138E-09	1.925E-09	6.48E-10
13	5.1745E-10	4.88E-10	7.23E-10	1.155E-09	5.535E-10
14	7.2691E-10	4.265E-10	5.17E-10	8.105E-10	5.045E-10
15	1.0887E-09	3.89E-10	4.22E-10	6.69E-10	4.81E-10
16	1.3478E-09	3.755E-10	3.72E-10	5.975E-10	4.565E-10
17	1.5128E-09	4.08E-10	3.555E-10	5.875E-10	4.41E-10
18	1.5777E-09	4.33E-10	3.435E-10	6.065E-10	4.275E-10

Tabla 12. Datos de SO₄ (kg/m³) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de SO₄ (kg/m³) E1	Promedio de SO₄ (kg/m³) E2	Promedio de SO₄ (kg/m³) E3	Promedio de SO₄ (kg/m³) E4	Promedio de SO₄ (kg/m³) E5
7	1.22597E-09	8.09E-10	1.13E-09	2.085E-09	6.915E-10
8	1.17367E-09	6E-10	9.62E-10	2.06E-09	6.34E-10
9	1.34264E-09	1.0715E-09	1.4E-09	2.055E-09	7.31E-10
10	1.39112E-09	1.3415E-09	1.62E-09	2.09E-09	7.545E-10
11	1.32539E-09	1.2915E-09	1.435E-09	2.085E-09	7.18E-10
12	1.37133E-09	1.243E-09	1.235E-09	1.735E-09	7.725E-10
13	1.25218E-09	1.035E-09	8.705E-10	1.28E-09	8.435E-10
14	1.15561E-09	8.775E-10	6.675E-10	1.013E-09	8.41E-10
15	1.21221E-09	1.009E-09	6.085E-10	9.285E-10	8.43E-10
16	1.34661E-09	1.0675E-09	6.495E-10	9.56E-10	8.61E-10

17	1.4367E-09	1.22E-09	7.09E-10	1.001E-09	8.63E-10
18	1.89864E-09	1.59E-09	8.66E-10	1.0665E-09	9.375E-10

Tabla 13. Datos del material particulado ($PM_{2.5}$) en (kg/m^3) promedio por horas de las 5 etapas

Hora del Día	Promedio de $PM_{2.5}$ (kg/m^3) E1	Promedio de $PM_{2.5}$ (kg/m^3) E2	Promedio de $PM_{2.5}$ (kg/m^3) E3	Promedio de $PM_{2.5}$ (kg/m^3) E4	Promedio de $PM_{2.5}$ (kg/m^3) E5
7	1.3548E-09	9.86E-11	1.42E-10	8.865E-11	7.085E-10
8	1.2887E-09	9.425E-11	1.34E-10	8.625E-11	6.935E-10
9	1.2272E-09	9.14E-11	1.32E-10	8.33E-11	6.82E-10
10	1.1779E-09	9.015E-11	1.3115E-10	8.16E-11	6.755E-10
11	1.127E-09	8.885E-11	1.3135E-10	8.08E-11	6.715E-10
12	1.0746E-09	1.069E-10	1.505E-10	8.375E-11	6.885E-10
13	9.7233E-10	1.295E-10	1.66E-10	8.4E-11	7.305E-10
14	9.1442E-10	1.475E-10	1.635E-10	7.97E-11	7.82E-10
15	1.0747E-09	2.465E-10	1.855E-10	1.149E-10	7.65E-10
16	1.1066E-09	2.65E-10	1.93E-10	1.152E-10	7.815E-10
17	1.1907E-09	2.96E-10	2.07E-10	1.1585E-10	7.98E-10
18	1.686E-09	3.84E-10	2.35E-10	1.1445E-10	8.555E-10