

Sistemas de ecuaciones como método de análisis de la corriente generada en instalaciones fotovoltaicas

Gabriel Alberto Aguilera-Pacheco¹, Enrique Camacho-Pérez¹, Erick Alberto Aguilera-Cauich²,
Liliana San-Pedro^{1,*}

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Industrias No Contaminantes S/N, Sin Nombre de Col 27. Mérida, Yucatán, 97310

²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Kilómetro 33.5, Tablaje Catastral 13615. Mérida, Yucatán, 97203

Fecha de recepción: 25 Octubre de 2024 — Fecha de aceptación: 29 abril de 2025

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo para instalaciones fotovoltaicas mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos utilizando sensores conectados a una tarjeta Arduino. El proyecto se enfoca en la medición de variables clave que influyen en el rendimiento de los paneles solares, tales como la radiación solar, la temperatura ambiente y la corriente generada. Además, se emplea el álgebra lineal para modelar y resolver problemas ingenieriles relacionados con la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. La metodología incluye el diseño y construcción de un *data logger*, así como la recopilación de datos durante un periodo de 24 horas. Los resultados obtenidos demuestran la importancia del álgebra lineal en la modelación de estos problemas, permitiendo establecer correlaciones entre las condiciones ambientales y el desempeño del sistema fotovoltaico.

Palabras Clave: Sistemas fotovoltaicos, Factores ambientales, Adquisición de datos, Álgebra lineal, Sistemas de ecuaciones

Systems of equations as a method for analyzing the current generated in photovoltaic installations

Abstract

This work presents the development of a monitoring system for photovoltaic installations through the implementation of a data acquisition system based on sensors connected to an Arduino board. The project focuses on measuring key variables that influence the performance of solar panels, such as solar radiation, ambient temperature, and the current generated. Additionally, linear algebra is used to model and solve engineering problems related to the efficiency of photovoltaic systems. The methodology includes the design and construction of a *data logger*, as well as data collection over a 24-hour period. The results obtained demonstrate the importance of linear algebra in modeling these problems, enabling the establishment of correlations between environmental conditions and the performance of the photovoltaic system

Keywords: Photovoltaic systems, Environmental factors, Data acquisition, Linear algebra, Systems of equations

1. Introducción

Actualmente, a nivel licenciatura, el proceso de enseñanza en general se produce mediante el empleo de múltiples recursos, ya sea ofrecidos por el profesor o

encontrados por el estudiante [1]. En la búsqueda del aprendizaje, el empleo de diversas estrategias beneficia la adquisición de conocimientos. La resignificación de los saberes matemáticos incluye la conjunción de prácticas sociales, como la resolución de problemas reales en con-

*liliana.cedillo@correo.uady.mx

textos ingenieriles [2], lo que genera la vinculación entre los algoritmos de solución y los conceptos teóricos, es decir, la aplicación del conocimiento [3]. En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un proyecto ingenieril sobre instalaciones fotovoltaicas, cuya resolución se apoya en el álgebra lineal.

1.1. Perspectivas y desafíos de la energía solar

En los últimos años, ha habido un creciente interés en fuentes alternativas de energía, especialmente la solar. Actualmente, alrededor del 14 % del consumo total de energía proviene de fuentes renovables [4]. El uso intensivo de combustibles fósiles ha generado efectos negativos en la calidad del aire y aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento global. Estos combustibles representan aproximadamente el 66 % de las emisiones globales de CO₂ y otros GEI [5]. A comienzos del siglo XXI, el principal objetivo global fue reducir el consumo de fuentes no renovables. Sin embargo, la demanda de energía sigue en aumento debido al crecimiento poblacional y económico, especialmente en países en desarrollo, donde más de 1.3 mil millones de personas aún tienen poco o ningún acceso a la electricidad. La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima que el consumo energético mundial crecerá un 44 % entre 2006 y 2030 [6].

Ante esta creciente necesidad, los investigadores han explorado fuentes alternativas como la energía solar, considerada una de las más importantes. Esta puede aprovecharse de múltiples maneras, como la energía fotovoltaica y la solar térmica [7]. De hecho, según la IEA, la energía fotovoltaica podría cubrir el 11 % de la energía verde mundial [8]. Aunque representa una opción sostenible frente a los combustibles fósiles, la producción de energía solar aún enfrenta desafíos, especialmente debido a factores como el entorno, la instalación y el mantenimiento de los paneles, que afectan su eficiencia [9].

1.2. Antecedentes y principio de funcionamiento del sistema fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos (PV) están constituidos por materiales semiconductores, como el silicio, que exhiben una propiedad específica conocida como el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico es un fenómeno que ocurre cuando se absorben fotones de luz y se liberan electrones; cuando estos electrones liberados son recolectados, se produce una corriente eléctrica. En otras palabras, el sistema PV convierte la luz solar (fotones) directamente en electricidad (voltaje) sin el uso de otros componentes [10]. La eficiencia de conversión eléctrica de un módulo fotovoltaico solar depende en gran medida de la temperatura de operación.

La Figura 1 representa el principio de funcionamiento del sistema PV con sus componentes principales, el panel alimenta el controlador de carga como única entrada de alimentación de energía y el foco representa la única salida carga en donde se emplea la energía; asimismo se conectó una batería para garantizar el abastecimiento de energía hacia la carga durante periodos de escasa radiación solar, ya que ésta es su configuración normal para realización de prácticas. Solo alrededor del 20 % de la radiación solar incidente se convierte en electricidad, mientras que el resto se refleja de vuelta al medio ambiente o se convierte en calor, lo que aumenta la temperatura del panel solar. El aumento en la temperatura de operación del panel fotovoltaico debido a la absorción de energía solar disminuye la eficiencia del sistema fotovoltaico, siendo esto un factor indeseable. El calentamiento continuo de los paneles durante un período prolongado de tiempo causa envejecimiento y puede resultar en fallos graves en los propios paneles solares [11].

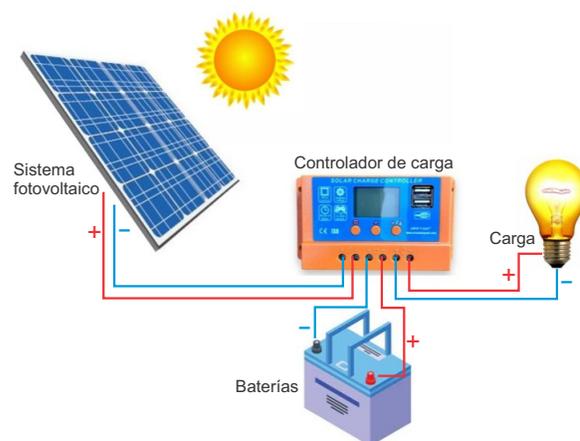


Figura 1: Descripción simplificada del funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

1.3. Factores ambientales que afectan el desempeño de un sistema fotovoltaico

Existe una variedad de factores ambientales que pueden afectar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, como se muestra en la Figura 2, incluyendo: radiación solar, temperatura, polvo y sombra [12]. A continuación, se menciona brevemente cómo algunos de estos factores los afectan:

- El rendimiento de los módulos fotovoltaicos disminuye a medida que aumenta la temperatura de los mismos. Sin enfriamiento adicional, un aumento de 1 °C en la temperatura provoca una pérdida de eficiencia del 0.03 % al 0.05 %.
- La cantidad total de energía extraída de un módulo fotovoltaico se ve afectada por la acumulación

de polvo en su superficie.

- En 45 días, si el vidrio no se limpia, su transmitancia puede disminuir en un 20 %. El ángulo de inclinación, las precipitaciones, la velocidad del viento y otros factores ambientales pueden contribuir a reducir la densidad de polvo.
- El funcionamiento de los paneles solares en entornos desafiantes, como aquellos con altas temperaturas y una humedad relativa superior al 70 %, puede causar una disminución considerable en su eficiencia.
- La corriente del módulo fotovoltaico puede verse afectada por sombras ligeras, pero el voltaje no cambiará. En el caso de sombras densas, el rendimiento dependerá de si ciertas celdas del módulo están sombreadas o si todas están sombreadas.
- Un sistema fotovoltaico sucio puede causar pérdidas diarias de rendimiento.



Figura 2: Factores ambientales que afectan el rendimiento de un sistema fotovoltaico.

1.4. Álgebra lineal para la solución de problemas ingenieriles

El empleo de las ecuaciones lineales para la resolución de problemas algebraicos tiene antecedentes desde el año 3000 a.C. con los babilónicos abordando temas económicos [13]. Actualmente, los sistemas de ecuaciones lineales se utilizan tanto en la ingeniería como en las ciencias sociales [14]. El álgebra lineal es una rama de las matemáticas que abarca conceptos de matrices, vectores, espacios vectoriales y ecuaciones lineales, y que tiene múltiples aplicaciones (análisis de imágenes digitales, eficiencia de costos, predicción de variables, etc.). Los vectores representan magnitudes físicas o abstractas, los espacios vectoriales son conjuntos de vectores interrelacionados; las transformaciones lineales representan vectores en otros vectores (facilitando la interpretación o interrelación de los mismos), mientras que las matrices representan a las transformaciones lineales como una tabla de números que organiza a los vectores [13]. Aterrizar un problema abstracto en un sistema de ecuacio-

nes lineales es el primer paso para llegar a su solución. Considerando que previamente se han identificado las variables de interés y se tiene información sobre ellas, el sistema de ecuaciones es analizado para conocer el tipo de solución, mediante el Teorema de Rouché. Posteriormente, se puede emplear un algoritmo de solución para sistemas de ecuaciones: método Gauss, Gauss-Jordan o Sistema de Cramer [15]. Asimismo, existen otros métodos de resolución tales como Montante o el uso de la matriz inversa. La elección del método depende del tipo de sistema y de la habilidad de quien lo resuelve. El objetivo de este trabajo fue identificar un problema ingenieril relacionado con la afectación de ciertas variables al funcionamiento y eficiencia de instalaciones fotovoltaicas, y resolverlo mediante un sistema de ecuaciones, lo cual implicó la abstracción del problema y su solución utilizando conceptos del álgebra lineal. Además, se buscó establecer la relación entre los hallazgos obtenidos en la investigación experimental y la solución teórica propuesta.

2. Materiales

Para el desarrollo y ejecución de este proyecto, se utilizó como plataforma principal un Arduino UNO, seleccionado por su flexibilidad y capacidad para manejar diversos sensores y módulos de manera simultánea. Entre los sensores empleados se incluyó un sensor de radiación solar logrado mediante un fototransistor PT202C [16] y un sensor DHT21 para medir la temperatura y la humedad. Además, se utilizó un sensor de corriente SCT013 para registrar la corriente eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Para el almacenamiento de los datos, se integró un módulo de almacenamiento basado en una tarjeta SD, *data logger* Shield V1. Las mediciones se realizaron sobre un panel fotovoltaico portátil ubicado en los laboratorios de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería de la UADY. En cuanto al *software*, se empleó el entorno de desarrollo Arduino IDE para programar la tarjeta Arduino en lenguaje C++, configurando el registro y almacenamiento de los datos. Finalmente, el Arduino y los sensores fueron alimentados por una batería recargable conectada a las baterías cargadas por el sistema fotovoltaico, lo que garantizó un funcionamiento continuo durante las 24 horas de toma de datos.

3. Metodología

El primer paso del proyecto consistió en el diseño conceptual y técnico del dispositivo de adquisición de datos (*data logger*). El diseño del sistema incluyó la selección de los componentes necesarios para almacenar la información en una memoria SD y para medir variables como la radiación solar, temperatura ambiente y corrien-

te eléctrica. Posteriormente, se procedió a la construcción física del sistema de adquisición de datos. Para ello, los sensores se conectaron al Arduino utilizando módulos específicos para captar las variables mencionadas, dicho proceso se llevó a cabo mediante el conjunto de conexiones especificado en la Figura 3. Se desarrolló un código capaz de registrar los datos en intervalos de tiempo regulares.

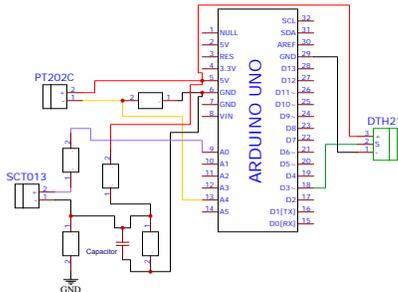


Figura 3: Diagrama esquemático del sistema de adquisición de datos.

A continuación, se instaló el dispositivo en funcionamiento al sistema fotovoltaico, capturando los datos atmosféricos (temperatura [°C], humedad [%] e radiación solar [W/m²]) y la corriente eléctrica generada por el sistema fotovoltaico durante 24 horas. Tras concluir las mediciones, se analizaron los datos obteniendo gráficas de los parámetros registrados, se determinó la asociación entre variables mediante un análisis de correlación de Spearman, y se generó un sistema de ecuaciones basado en las proporciones de las variables atmosféricas que afectan la producción eléctrica de la instalación fotovoltaica. Se utilizó un enfoque matricial para organizar y representar las relaciones entre las variables atmosféricas y la generación de corriente eléctrica. Estas ecuaciones permitieron establecer correlaciones directas entre las variables y su impacto en el rendimiento del sistema. El sistema de ecuaciones generado fue resuelto utilizando técnicas matemáticas. Para este propósito, se emplearon métodos de resolución matricial, como el método de Gauss, lo que permitió obtener soluciones precisas que describen cómo las variaciones en las condiciones atmosféricas afectan el rendimiento del sistema fotovoltaico. En la Figura 4 se presenta un diagrama de la metodología.

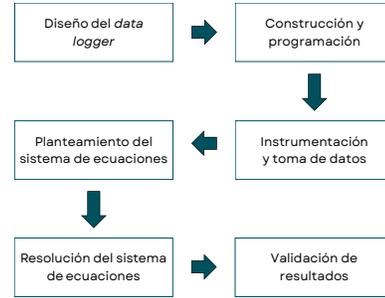


Figura 4: Diagrama de flujo representativo del proceso de metodología.

4. Resultados

4.1. Adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos desarrollado para este proyecto permitió la recolección continua de variables atmosféricas y eléctrica durante un periodo de 24 horas. Este sistema fue diseñado con el objetivo de monitorear de manera ininterrumpida las condiciones ambientales, como la radiación solar, la temperatura y la humedad, así como el comportamiento eléctrico del sistema fotovoltaico, incluyendo la corriente generada. En la Figura 5 se muestran los componentes del sistema final, que incluyen sensores de corriente, radiación solar, humedad y temperatura ambiental, así como también el gabinete donde se resguarda el sistema de adquisición de datos, mientras que en la Figura 6 se ilustra su correcta instalación y funcionamiento en el sistema fotovoltaico, donde se llevaron a cabo las mediciones, dicha ubicación se prefirió por su exposición a las condiciones ambientales y la proximidad al sistema fotovoltaico. Además, la instalación minimiza el riesgo de daños por factores externos, como la lluvia o el sobrecalentamiento, garantizando la fiabilidad de los registros obtenidos durante el período de estudio.



Figura 5: Sistema de adquisición de datos.



Figura 6: Implementación en un sistema fotovoltaico.

En la Figura 7 se presenta la variación de la radiación solar (W/m^2) y la corriente eléctrica (A) generada por el sistema fotovoltaico a lo largo de un periodo de 24 horas. Se observa que ambas curvas siguen un comportamiento similar, con un aumento progresivo en las primeras horas del día, alcanzando su punto máximo entre las 11:00 y las 13:00 horas, y descendiendo conforme avanza la tarde. La radiación solar alcanza un pico cercano a los $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, mientras que la corriente eléctrica generada llega a un máximo de aproximadamente 2 A. Esta relación directa entre la irradiación y la corriente eléctrica confirma la dependencia del sistema fotovoltaico de la energía solar para su funcionamiento óptimo.

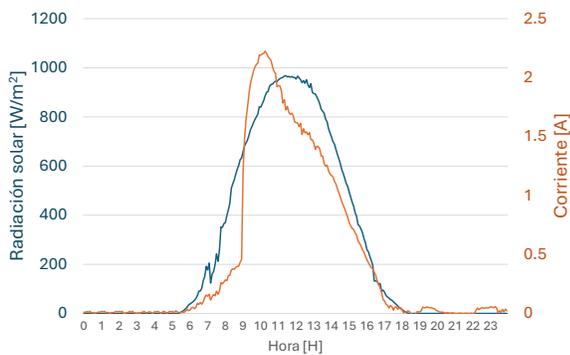


Figura 7: Curva descriptiva de corriente obtenida de la instalación fotovoltaica en comparación a la irradiación incidente

La Figura 8 muestra la variación de la temperatura y la humedad relativa a lo largo de 24 horas. Se observa que la temperatura comienza en valores bajos durante la madrugada, aumentando progresivamente hasta alcanzar su punto máximo alrededor de las 13:00 horas, con un valor cercano a los $45 \text{ }^\circ\text{C}$, para luego disminuir gradualmente. Por otro lado, la humedad relativa presenta un comportamiento inverso, con niveles elevados durante la noche y madrugada, alcanzando casi el 100 %, y una marcada disminución durante el día, llegando a valores cercanos al 20 % en las horas de mayor temperatura.



Figura 8: Curva descriptiva del porcentaje de humedad registrado en proporción a la temperatura ambiente.

En la Tabla 1 se presentan los principales parámetros estadísticos de las variables registradas por el sistema de adquisición de datos. Las variables incluyen temperatura, humedad, radiación solar y corriente.

Tabla 1: Principales valores estadísticos.

Variable	Min	Max	μ	σ
Temperatura [$^\circ\text{C}$]	27.8	45.6	33.4	5.3
Humedad [%]	21.0	100.0	74.6	24.7
Irradiación [W/m^2]	0	968.0	490.7	353.7
Corriente [A]	0	2.2	0.9	0.7

4.2. Valores de correlación

El análisis de correlación da soporte a los resultados observados en las Figuras 7 y 8 donde se presenta el comportamiento de variables como irradiación - corriente y humedad - temperatura respectivamente. Para entender si existe correlación entre las variables, se calcula el coeficiente de correlación de Spearman entre los diferentes parámetros, como se muestra en la Figura 9. Como se esperaba, las asociaciones entre variables fueron moderadas, altas y muy altas. La mayor correlación se observó entre la temperatura y la humedad (-0.986), siendo una correlación fuerte negativa, lo que indica que a medida que la temperatura aumenta, la humedad disminuye significativamente. También hay una fuerte correlación positiva entre la irradiación y la corriente (0.894), así como entre la radiación solar y la temperatura (0.850), sugiriendo que cuando la radiación solar aumenta, la temperatura y la corriente también lo hacen. La menor de las correlaciones se da entre la humedad y corriente (-0.712). Estas relaciones son importantes para comprender el comportamiento conjunto de estas variables en el sistema.

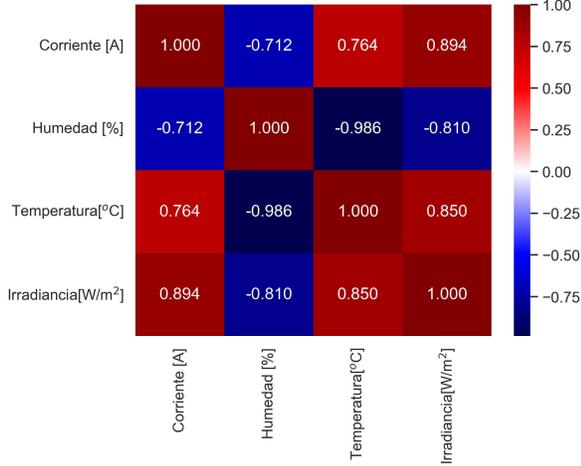


Figura 9: Matriz de correlación de Spearman entre las variables medidas (Corriente, Humedad, Temperatura, y Radiación solar). Los valores cercanos a 1 o -1 indican una fuerte correlación positiva o negativa, respectivamente.

4.3. Resolución por el método de eliminación Gaussiana

Mediante proporciones, se obtuvieron valores representativos a periodos de una hora por cada variable analizada (usados en las Figuras 7 y 8), de las cuales se tomó un conjunto de valores puntuales que representen momentos de producción mínima y máxima de corriente (véase Tabla 2).

Tabla 2: Valores obtenidos pertinentes al sistema de ecuaciones.

Hora de registro	HR	T	RS	CE
5:00 h	100.0 %	27.9 °C	9.1 W/m ²	0 A
11:00 h	39.9 %	40.2 °C	1007.3 W/m ²	1.7 A
17:00 h	59.5 %	33.0 °C	39.6 W/m ²	0 A

HR-Humedad Relativa; T-Temperatura; RS-Radiación Solar;
CE-Corriente eléctrica.

La información se utilizó a modo de coeficientes, vinculándolos a una variable ambiental, así considerando el siguiente sistema de ecuaciones :

$$x \rightarrow \text{Humedad}$$

$$y \rightarrow \text{Temperatura}$$

$$z \rightarrow \text{RadiaciónSolar}$$

$$\begin{cases} 100x + 27.9y + 9.1z = 0 \\ 39.9x + 40.2y + 1007.3z = 1.7 \\ 59.5x + 33y + 39.6z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

El conjunto de ecuaciones (1) se reescribió como elementos pertenecientes a cuatro vectores distintos, tres de distribución (x,y,z) y un vector solución $[A_1,A_2,A_3]$ generando así dos estructuras de notación matricial, una matriz de coeficientes y una matriz aumentada.

Relación incógnita \rightarrow variable:

$$a_1 = (100, 27.9, 9.1)$$

$$a_2 = (39.9, 40.2, 1007.3)$$

$$a_3 = (59.5, 33, 39.6)$$

$$b = (0, 1.7, 0)$$

Matriz de coeficientes:

$$\begin{pmatrix} 100 & 27.9 & 9.1 \\ 39.9 & 40.2 & 1007.3 \\ 59.5 & 33 & 39.6 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Matriz aumentada:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 100 & 27.9 & 9.1 & 0 \\ 39.9 & 40.2 & 1007.3 & 1.7 \\ 59.5 & 33 & 39.6 & 0 \end{array} \right) \quad (3)$$

El proceso de resolución se aplicó a la matriz aumentada, utilizando las operaciones elementales por renglones, para llegar a su representación como forma canónica de Jordan simplificándola por el método de reducción por renglones como se describe a continuación:

Se multiplicó la primera fila por $(\frac{399}{1000})$ y se restó a la segunda fila, se repitió con, la primera fila por $(\frac{199}{200})$ y se restó a la tercera fila, eliminando los primeros términos, con lo que se obtuvo:

$$F_2 \rightarrow F_2 - \frac{399}{1000} \cdot F_1$$

$$F_3 \rightarrow F_3 - \frac{199}{200} \cdot F_1$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 100 & 27.9 & 9.1 & 0 \\ 0 & 29.0679 & 1003.6691 & 1.7 \\ 0 & 16.3995 & 34.1855 & 0 \end{array} \right) \quad (4)$$

A partir de este punto las fracciones se representarán con notación científica, pero los cálculos se hicieron utilizando 20 cifras significativas. Usando la segunda fila para eliminar el segundo termino de la tercera fila. Se multiplicó la segunda fila por (5.64×10^{-1}) y se restó a la tercera fila, con lo que se obtiene:

$$F_3 \rightarrow F_3 - 5.64 \times 10^{-1} \cdot F_2$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 \times 10^2 & 2.79 \times 10^1 & 9.1 & 0 \\ 0 & 2.90 \times 10^1 & 1.00 \times 10^3 & 1.7 \\ 0 & 0 & -5.32 \times 10^1 & -9.59 \times 10^{-2} \end{array} \right) \quad (5)$$

Generando el siguiente conjunto de igualdades:

$$\begin{aligned} 1 \times 10^2 x + 2.79 \times 10^1 y + 9.1 z &= 0 \\ 2.90 \times 10^1 y + 1.00 \times 10^3 z &= 1.7 \\ -5.32 \times 10^1 z &= -9.59 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad (6)$$

A partir del desarrollo de la ecuación (6), la matriz ampliada se encuentra en su forma escalonada por renglones, por lo que es posible aplicar el proceso de sustitución hacia atrás para hallar los valores de pivotes x , y , z .

$$z = \frac{-9.59 \times 10^{-2}}{-5.32 \times 10^1} \rightarrow z = 1.80 \times 10^{-3}$$

$$2.90 \times 10^1 y + (1.00 \times 10^3)(1.80 \times 10^{-3}) = 1.7 \rightarrow$$

$$\rightarrow y = \frac{-1.06 \times 10^{-1}}{2.90 \times 10^1} \rightarrow y = -3.75 \times 10^{-3}$$

$$1 \times 10^2 x + (2.79 \times 10^1)(-3.75 \times 10^{-3}) + (9.1)(1.80 \times 10^{-3}) = 0$$

$$\rightarrow x = \frac{8.84 \times 10^{-2}}{1 \times 10^2} \rightarrow x = 8.84 \times 10^{-4}$$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 8.84 \times 10^{-4} \\ 0 & 1 & 0 & -3.75 \times 10^{-3} \\ 0 & 0 & 1 & 1.80 \times 10^{-3} \end{array} \right) \quad (7)$$

Con la forma canónica de Jordan obtenida de la matriz ampliada, es posible determinar un vector único de solución que describa la relación entre las incógnitas (x, y, z) y $A_{1,2,3}$

4.4. Aplicación del teorema de Rouché-Fröbenius

Tras reducir la matriz ampliada (3) es posible definir la naturaleza de la relación del sistema a partir del Teorema Rouché-Fröbenius. El resultado de la reducción de la matriz es una matriz identidad del tamaño de la matriz original (a la izquierda), con un vector respuesta a la derecha, lo que significa que el sistema es consistente determinado (las ecuaciones son linealmente independientes).

La matriz de coeficientes (2) y la matriz ampliada (3) cumplen con poseer un valor igual en ambos rangos y la característica de ser linealmente independientes, por ello es adecuado establecer el sistema como compatible determinado.

El vector respuesta encontrado en (7) significa el grado de afectación de cada variable sobre la corriente eléctrica, siendo esta proporción de 8.84×10^{-4} A, -3.75×10^{-3} A y 1.80×10^{-3} A, para humedad, temperatura y radiación solar, respectivamente.

4.5. Planteamiento del vector proporción

La matriz 7, obtenida del proceso de reducción por renglones, determina igualdades entre las incógnitas y su solución, formuladas a modo de variables ambientales y corriente eléctrica, descritas en la Tabla 3

Tabla 3: Relación obtenida tras llevar a cabo el método Gauss.

Variable atmosférica	Modificación de corriente
Humedad	8.8×10^{-4} A
Temperatura	-3.75×10^{-3} A
Radiación Solar	1.80×10^{-3} A

Dada la igualdad, la variación propia a cada variable atmosférica satisface un comportamiento de correlación múltiple, siendo posible describirla mediante una distribución de carácter vectorial por columna de tres dimensiones característico al valor de la modificación de corriente eléctrica.

$$A = \begin{bmatrix} 8.84 \times 10^{-4} \\ -3.75 \times 10^{-3} \\ 1.80 \times 10^{-3} \end{bmatrix} \quad (8)$$

5. Conclusiones

Emplear los sistemas de ecuaciones con métodos de resolución matricial, permite crear un panorama inmediato sobre el comportamiento de distintos factores que resguardan una relación lógica. Se observó que la radiación solar incidente en el sistema fotovoltaico describe un comportamiento directamente proporcional al aumento de corriente eléctrica generada debido al aprovechamiento de la absorción de luz. Sin embargo, este efecto se ve influenciado por el calentamiento derivado de la temperatura ambiente y moderado por la concentración de humedad.

Agradecimientos

Agradecemos Al Dr. Mauricio Alberto Escalante Soberanis por las facilidades en el uso de las instalaciones Fotovoltaicas de la Facultad de Ingeniería.

Referencias

- [1] L. S. P. Cedillo, C. V. Pinzón, M. L. C. Molina, R. L. Sánchez, El juego como estrategia para reforzar el conocimiento en temas de álgebra en estudiantes del primer año de ingeniería, *Ingeniería* 23 (1) (2019) 36–51.
- [2] O. L. Pérez González, La formación y desarrollo conceptual en el cálculo diferencial y el álgebra lineal en las carreras de ingeniería., *Paradigma* (2020).
- [3] N. Báez-Ureña, O. L. Pérez-González, R. Blanco-Sánchez, Los registros de representación semiótica como vía de materialización de los postulados vigotskianos sobre pensamiento y lenguaje, *Academia y Virtualidad* 11 (1) (2018) 16–26.
- [4] N. Karami, M. Rahimi, Heat transfer enhancement in a pv cell using boehmite nanofluid, *Energy conversion and management* 86 (2014) 275–285.
- [5] H. Wang, B. Ang, B. Su, A multi-region structural decomposition analysis of global co2 emission intensity, *Ecological Economics* 142 (2017) 163–176.
- [6] K. Tucki, A. Baczyk, M. Zimoch, et al., Analysis of impact of wind on photovoltaic panels, in: *Proceedings of Engineering for Rural Development Conference*, Jelgava, Latvia, 2018, pp. 617–622.
- [7] G. R. Timilsina, The economics of deploying distributed solar photovoltaics in developing countries: Some insights from an analysis for bangladesh, *Energy for Sustainable Development* 70 (2022) 247–258.
- [8] Resumen ejecutivo – World Energy Outlook 2023 – Analysis - IEA — [iea.org, https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=es](https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=es), [Accessed 12-10-2024].
- [9] G. Raina, S. Sinha, A comprehensive assessment of electrical performance and mismatch losses in bifacial pv module under different front and rear side shading scenarios, *Energy Conversion and Management* 261 (2022) 115668.
- [10] N. Guerra, M. Guevara, C. Palacios, F. Crupi, Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview, *I+ D Tecnológico* 14 (2) (2018) 84–95.
- [11] A. K. Suresh, S. Khurana, G. Nandan, G. Dwivedi, S. Kumar, Role on nanofluids in cooling solar photovoltaic cell to enhance overall efficiency, *Materials Today: Proceedings* 5 (9) (2018) 20614–20620.
- [12] L. D. Jathar, S. Ganesan, U. Awasarmol, K. Nikam, K. Shahapurkar, M. E. M. Soudagar, H. Fayaz, A. El-Shafay, M. Kalam, S. Bouadila, et al., Comprehensive review of environmental factors influencing the performance of photovoltaic panels: Concern over emissions at various phases throughout the lifecycle, *Environmental Pollution* 326 (2023) 121474.
- [13] M. E. C. Mayorga, C. A. S. Benítez, O. Toscano, T. H. P. Rosa, Aplicación del álgebra lineal en la ingeniería, *Dominio de las Ciencias* 9 (2) (2023) 1639–1656.
- [14] A. D. Cárcamo, J. M. Fortuny, C. E. Fuentealba, Identificando una progresión de aprendizaje para un sistema de ecuaciones lineales con infinitas soluciones, *Formación universitaria* 16 (1) (2023) 77–86.
- [15] D. Álvarez de Luis, et al., *Sistemas de ecuaciones en 4o de eso de matemáticas orientadas a enseñanzas académicas* (2021).
- [16] F. G. Hidalgo, R. F. Martínez, E. F. Vidal, Design of a low-cost sensor for solar irradiance, URL: <http://oceanoptics.com/wpcontent/uploads/Fernando-Guerra-Hidalgo-Sensors-Design.pdf> (2013).