

# Predictive model of sunlight based on Artificial Intelligence for the optimization of electric power generation

Christian Ovalle<sup>1</sup>, Luis Rojas Nieves<sup>2</sup>, Hugo Villaverde Medrano<sup>3</sup>, Ernesto Paiva Peredo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [dovalle@utp.edu.pe](mailto:dovalle@utp.edu.pe)

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [c01201@utp.edu.pe](mailto:c01201@utp.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [c21209@utp.edu.pe](mailto:c21209@utp.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [epaiva@utp.edu.pe](mailto:epaiva@utp.edu.pe)

*Abstract— Due to the continuous depletion of resources and the increased social awareness of environmental problems, there is currently a constant need for energy, which has led researchers to seek new technologies to optimize the production of electrical energy. The present investigation has the type of applied investigation, it has a predictive level, its design is experimental and with a quantitative approach. The CRISP-DM data mining methodology was used, which is considered the de facto methodology for projects dedicated to extracting data values. In this sense, the data was collected, establishing the following variables: date, time, elevation angle and azimuth, later, the data was ordered in the Excel program, to be later processed in the Orange software. Which was used to predict the coordinates of the movement of the sun, so that it can optimize the electrical energy through the solar light tracker system. In addition, linear regression precision metrics were used and the design of the proposed prototype was carried out.*

*Keywords: Sunlight tracker, solar energy, solar panels, artificial intelligence, CRISP-DM*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Modelo predictivo de luz solar basado en Inteligencia Artificial para la optimización de generación de la energía eléctrica

Christian Ovalle, Docente<sup>1</sup>, Luis Rojas Nieves<sup>2</sup>, Hugo Villaverde Medrano<sup>3</sup>, José Cárdenas

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [dovalle@utp.edu.pe](mailto:dovalle@utp.edu.pe),

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [c01201@utp.edu.pe](mailto:c01201@utp.edu.pe)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [c21209@utp.edu.pe](mailto:c21209@utp.edu.pe)

<sup>4</sup>Universidad Tecnológica del Perú, [8980999@utp.edu.pe](mailto:8980999@utp.edu.pe)

*Resumen– Debido al agotamiento continuo de los recursos y la mayor conciencia social sobre los problemas ambientales, actualmente existe una necesidad constante de energía, lo que ha llevado a los investigadores a buscar nuevas tecnologías para optimizar la producción de energía eléctrica. La presente investigación tiene el tipo de investigación aplicada, posee un nivel predictivo, su diseño es experimental y con un enfoque cuantitativo. Se utilizó la metodología de minería de datos es CRISP-DM, la cual se considera como la metodología de facto para proyectos dedicados a extraer valores de datos. En ese sentido los datos fueron recolectados, estableciendo las siguientes variables: fecha, tiempo, ángulo de elevación y azimut, posteriormente, se ordenaron los datos en el programa Excel, para luego ser procesados en el software Orange. El cual, se utilizó para predecir las coordenadas del movimiento del sol, de modo que, pueda optimizar la energía eléctrica por medio del sistema de seguidor luz solar. Además, se emplearon métricas de precisión de regresión lineal y se realizó el diseño del prototipo propuesto.*

*Palabras claves: Seguidor de luz solar, energía solar, paneles solares, inteligencia artificial, CRISP-DM*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una constante demanda de energía, debido a la continua reducción de los recursos y la concientización de la sociedad con respecto a los temas medioambientales, todo ello ha ocasionado que las personas exploren nuevas tecnologías para la optimización de generación de energía eléctrica. En este contexto, la conversión de luz solar en energía eléctrica es una de las más prometedoras y desafiantes tecnologías energéticas, que está en desarrollo y con costos de mantenimiento. Muchos inventos maravillosos que han mejorado la vida humana han resultado del descubrimiento de la electricidad. Sin embargo, a medida que la tierra envejece, algunos de sus recursos se transforman en fuentes de energía no renovables [1].

De este modo, el crecimiento de la industria que afecta lo económico de un país está estrechamente relacionado con la

fuerza de energía de la electricidad. La producción de energía eléctrica óptima y eficiente desempeña un papel clave en la mejora del rendimiento comercial y en el impulso del crecimiento económico [14].

Por otro lado, el mayor desafío para los próximos años es la generación de energía a partir de la reducción de combustibles fósiles. Frente a otras fuentes de energía renovable, actualmente ocupa el primer lugar el concepto de convertir la energía solar en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Pero la constante reduce los vatios entregados por el panel solar. Ante esta situación, la mejor opción para aumentar la eficiencia del panel fotovoltaico es un sistema de monitorización solar, en el cual, durante todo el día, los seguidores solares mueven el objeto portador hacia el sol [12]. Actualmente existen muchas fuentes de energía renovable disponibles, la generación de energía basada en principios fotovoltaicos juega un papel importante entre todas las fuentes. El uso de la energía solar, que es gratuita y de fácil acceso, es lo que provoca algunos fenómenos [16].

Sin embargo, a pesar de ser una fuente abundante de energía renovable, la energía solar debe usarse adecuadamente. La capacidad de los consumidores para canalizar eficientemente la energía es uno de los factores claves para optimizar sus beneficios [1]. Las fuentes de energía renovable más limpias y abundantes en el mercado actual son los sistemas de energía solar, que han surgido en las últimas décadas [15]. Por lo cual, una de las energías naturales potenciales que se pueden utilizar en sustitución de las fuentes de energía eléctrica es la energía solar. Una fuente de luz fuerte dará como resultado un mayor flujo y una máxima potencia de salida. El panel solar siempre debe apuntar hacia el sol para que el valor sea siempre óptimo [13]. La energía solar es abundante y libre de contaminación, y está disponible en grandes cantidades. A pesar de que la conversión de energía solar térmica en energía eléctrica es de uso prolongado, la conservación de energía solar en forma de

energía eléctrica está creciendo. Nuestro mundo usa alrededor de 12 teravatios de energía cada día, en comparación con los 84 teravatios que la tierra recibe cada día. Por ello, tratamos de usar paneles solares para consumir más energía del sol [7].

La energía solar se considera una de las fuentes de energía renovable más prometedoras. A lo largo del día, la energía que el sol transfiere a la Tierra cambia. Por lo tanto, es fundamental captar la máxima cantidad de energía solar del panel y transferirla a la carga [10].

Con respecto a, la radiación del sol se convierte directamente en energía eléctrica mediante paneles solares [8]. Los cuales, están "orientados" hacia la posición real del sol por medio de sistemas de posicionamiento llamados seguidores solares. Además, aumentan la eficiencia energética de los sistemas de energía solar [15]. Sin embargo, no se puede negar el hecho de que los seguidores solares de hoy son cada vez más populares y ofrecen soluciones ampliamente aceptadas para una variedad de aplicaciones de conversión de energía solar [15].

Asimismo, los paneles solares deben seguir la trayectoria del sol para producir el mayor rendimiento dado que el sol se mueve durante el día. Los paneles de seguidores solares inteligentes se utilizan para rastrear la trayectoria del sol a fin de cumplir con estos criterios. Para determinar la posición del sol en el cielo, se utilizan ángulos azimutales y cenitales. La dirección en que se mueve el sol durante el día de este lado al este se llama acimut. Un ángulo horizontal también se puede definir como uno que se mide en la dirección del vértice del reloj desde cualquier ángulo fijo. El ángulo del sol visto desde el horizonte o el nivel del suelo se conoce como cenit. Esta variación diaria en el ángulo del sol toma la forma de un arco que se extiende desde el amanecer hasta el anochecer. La elevación del sol según su arco celeste es de aproximadamente 0 grados al amanecer, 90 grados al mediodía, cuando el sol está directamente sobre la cabeza, y 180 grados al atardecer [9].

Por otra parte, los principales objetivos de un agente artificial inteligente implican un gran número de tareas, concretamente las relacionadas con la detección, el modelado, la planificación, la gestión y la actuación. Sin embargo, las aplicaciones actuales de inteligencia artificial también incluyen percepción, análisis de texto, procesamiento de lenguaje natural, razonamiento lógico, juegos, sistemas de soporte de decisiones, análisis de datos, análisis predictivo, así como vehículos automatizados y otras formas de robótica. Además, puede involucrar cualquier cantidad de técnicas computacionales, ya sean inspiradas en la cognición natural o en el aprendizaje de estructuras tecnológicas a través de redes neuronales.

El difusor de lógica (FLC), redes neuronales artificiales (ANN), ANFIS, algoritmos genéticos, etc. son algunos de los métodos de IA más conocidos. Los problemas con la lógica no lineal se resuelven utilizando controladores lógicos

difusos. Esto hace posible rasterizar el punto de máxima potencia. Una operación flexible, una interfaz fácil de usar y la facilidad de implementación son algunas de las ventajas de este método [10].

El objetivo del presente estudio es diseñar un modelo predictivo de luz sola basado en Inteligencia Artificial para la optimización de generación de la energía eléctrica.

## II. ESTADO DEL ARTE

Actualmente, los sistemas de control de seguidor de luz solar basado en Inteligencia Artificial para la optimización de generación de la energía eléctrica no han sido muy exploradas como lo podría ser centrarse en el desarrollo nativo, sin embargo, existen algunas investigaciones las cuales han iniciado en campos similares, los mismos que se requieren precisar en el presente proyecto.

### A. Algoritmo de optimización de aprovechamiento de energía solar en un seguidor solar robótico con Sistema de monitoreo basado en Arduino

El estudio desarrolló un prototipo de seguidor solar robótico que es operado por un microcontrolador utilizando la perpendicularidad del sol y técnicas de sombreado en el diseño del mecanismo que inyectó un algoritmo comparador inteligente. Se utilizó un método de control de motores para ejecutar el mejor giro para aprovechar la energía solar óptima con un sistema de monitoreo basado en Arduino que midió los voltajes obtenidos de cada una de las configuraciones. El resultado fue una mejora del 29 % en la generación de electricidad utilizando el sistema de seguimiento solar robótico frente a la instalación de paneles estáticos [1].

### B. Desarrollo de Plataforma de Seguidores Solares para la Mejora de la Eficiencia Energética de Paneles Fotovoltaicos

El módulo principal de esta plataforma es el sistema de desarrollo listo para usar NIMyRIO construido sobre un procesador Field Programmable Gate Array (FPGA) de alto rendimiento que controla toda la unidad de seguimiento solar. El seguimiento óptimo del movimiento del sol y la obtención de la máxima tasa de eficiencia energética se logran mediante el control simultáneo en tiempo real tanto de la intensidad de la luz solar capturada como de las magnitudes de temperatura de la celda fotovoltaica. De esta forma, se ha desarrollado un sistema de posicionamiento robusto y versátil que realiza un camino de seguimiento exacto y de alta precisión. Todos los algoritmos de control se implementan allí bajo el kit de herramientas de software de programación gráfica LabView. La solución final se basa en un sistema de seguimiento útil y modular que parece útil en una amplia gama de aplicaciones tanto en sitios de proyectos industriales como domésticos con diferentes escalas de potencia [15].

### **C. Desarrollo de un Prototipo de Seguimiento Solar para la Optimización Energética de Celdas Solares con Internet de Tecnología de las cosas (IoT)**

Esta investigación utilizó la tecnología de Internet de las cosas (IoT) y la combinó en PLTS, que utiliza la conectividad a Internet para el control del sistema y el intercambio de datos en tiempo real. Este prototipo de sistema de seguimiento solar utiliza el microcontrolador STM32, servo DS3218MG. Según los resultados del banco de pruebas de compilación del seguidor solar, se demostró que hubo un aumento del valor de la corriente con un 25%, un 15% para el voltaje, un 20% para la intensidad de la luz y un 35% para la producción de energía [13].

### **D. Aumento de la eficiencia del panel solar mediante el sistema de seguimiento solar**

Este trabajo tiene como objetivo diseñar y desarrollar un modelo de sistema de seguimiento solar. El microcontrolador ATmega328P se utiliza para la fabricación del circuito de control. Las resistencias dependientes de la luz (LDR) se utilizan para reconocer la luz del día que impulsa al servomotor a girar el panel solar. El panel solar se mantiene en una región de exposición extrema a la luz del día. El mayor par y velocidad se logran mediante un servomotor. El servomotor es más eficiente con un alcance de 80-90%. Los servomotores están libres de problemas de vibración. La ejecución y los atributos del panel solar se examinan tentativamente. Las células solares hechas de silicio produjeron una eficiencia máxima del 20%. La mayoría de los paneles solares todavía funcionan a un nivel inferior al 40%. Por su reducido rendimiento. [7].

### **E. Sobre el diseño del sistema de seguimiento de energía solar**

En este trabajo se analiza el diseño y construcción de un modelo predictivo de luz sola basado en machine learning. Las resistencias dependientes de la luz (LDR) se utilizan para la detección de la luz solar. El circuito de control se basa en un microcontrolador ATmega328P. Fue programado para detectar la luz solar a través de los LDR antes de accionar el servo para colocar el panel solar. El panel solar se coloca donde puede recibir la máxima luz. En comparación con otros motores, los servomotores son capaces de mantener su par a alta velocidad. También son más eficientes con eficiencias en el rango de 80-90 %. Los servos pueden suministrar aproximadamente el doble de su par nominal durante períodos breves. Además, son silenciosos y no vibran ni sufren problemas de resonancia. El rendimiento y las características de los paneles solares se analizan experimentalmente [8].

## **III. METODOLOGÍA**

El tipo de investigación del presente proyecto es aplicada, su término "investigación aplicada" o "investigación empírica" se refiere a la investigación que se utiliza en la práctica. Este tipo de investigación busca aplicar o utilizar conocimientos

previamente adquiridos y, al mismo tiempo, adquirir nuevos conocimientos después de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación [3]. De la misma forma, posee un nivel predictivo, del cual su propósito principal es "predecir" la dirección futura de los eventos investigados. Además, consiste en prever situaciones futuras, a partir de estudios exhaustivos de la evolución dinámica de los eventos, de su interrelación con el contexto, de las fuerzas volitivas de los actores que intervienen, y del estudio de las probabilidades de que algunos de esos eventos pudieran presentarse [4].

Por otro lado, este proyecto tiene diseño experimental, pudiendo ser considerado como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos. Por lo general, este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en las cuales hacemos conjeturas sobre un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas suposiciones, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente, comportándose cíclicamente [5]. Asimismo, presenta un enfoque cuantitativo, el cual es secuencial y probatorio. No podemos "bordear" o saltarnos pasos porque cada fase viene antes de la siguiente. Aunque más adelante podemos redefinir algunas fases, el orden es rígido. Una parte de un concepto que se está desarrollando y, una vez definido, se generan objetivos y preguntas de investigación. Se revisa la literatura y se construye un marco teórico o perspectiva [6].

### **PROCESAMIENTO DE DATOS**

Orange Data Mining es un programa informático de código abierto para la extracción de datos o el análisis predictivo, que proporciona las herramientas necesarias para el aprendizaje automático y la visualización de datos, lo que lo hace excelente tanto para usuarios novatos como experimentados, también incluye búsqueda inteligente para una mejor visualización [19].

### **METODOLOGÍA DE MINERÍA DE DATOS**

La metodología seleccionada es CRISP-DM, se considera como la metodología de facto para proyectos dedicados a extraer valor de los datos, ha inspirado otros estándares como SEMMA de SAS y ASUM-DM de IBM durante los últimos veinte años. También ha dado lugar a otras variantes que amplían o especializan CRISP-DM para una determinada industria o tipo de proyecto [18].

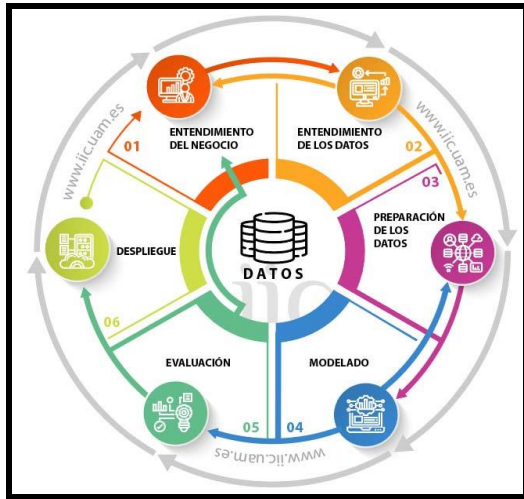


Fig. 1 Esquema del ciclo CRISP- DM

#### IV. RESULTADOS

Para la recopilación de datos necesitaremos: Obtener los datos para el eje de rotación horizontal, este eje se utiliza en un sistema dual para hacer el seguimiento al sol, es decir, debemos calcular el ángulo de altura. Luego, Obtenemos los datos para el eje de rotación vertical, es el eje que sigue al ángulo acimut del sol, para ello, debemos calcular el ángulo azimut.

##### Modelo de seguimiento de doble eje (horizontal y vertical)

En este modelo se calcula el ángulo acimut (dirección según la brújula que indica de donde proviene la luz solar de norte a sur) del sol con respecto a los paneles, como la ubicación del país se encuentra en el hemisferio sur por debajo de la línea ecuatorial, los ángulos óptimos están entre  $10^\circ - 30^\circ$ , la posición depende de la ubicación geográfica, por eso, siempre deben apuntar hacia el ecuador, entonces siempre el acimut al mediodía solar está apuntado directamente al norte.

Para realizar el seguimiento de la altura del acimut solar (ángulo horizontal del sol) con respecto al sol ( $\alpha$ ), utilizaremos un eje de rotación horizontal de norte a sur y para rastrear ( $\gamma$ ) de este a oeste como se muestra en la figura 1, emplearemos un eje vertical de viraje. La ecuación del ángulo acimut depende de la latitud y estaciones del año, teniendo como en la ecuación (11) y el ángulo de la altura del sol depende de la latitud y estación del año como en la ecuación (12).

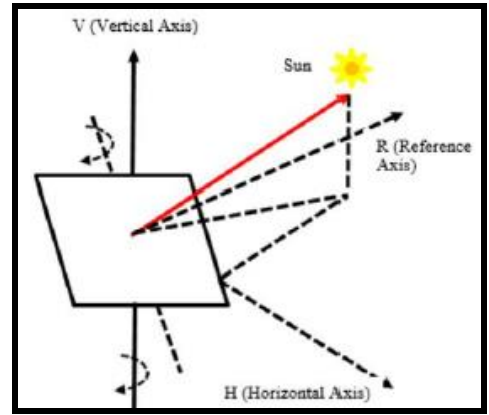


Fig. 2 Seguimiento solar de dos ejes

$$y = \arccos \left( \frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos HRA}{\cos \alpha} \right) \quad (11)$$

$$\alpha = \arcsin (\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos HRA) \quad (12)$$

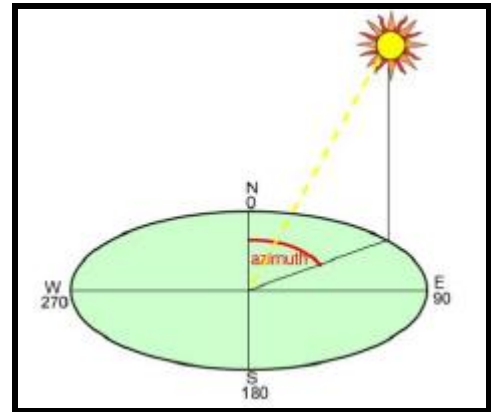


Fig. 3 Ángulo azimut del sol

Donde:

$\alpha$ : elevación

Azimut = Azi, para LST < 12 o HRA < 0

Azimut =  $360^\circ - Azi$ , para LST > 12 o HRA > 0

El ángulo que tiene el sol con respecto al norte, se calcula en base a la referencia de la Carta Solar de Lima en este caso.

##### Modelo de eje horizontal

El momento de inercia de la celda solar y la aceleración del ángulo de giro afectan el valor del par de cargas fotovoltaicas. Como se muestra en la ecuación (16) es el momento de inercia del sol giratorio del eje horizontal. Seguimiento de sol rotatorio de eje horizontal como en la ecuación (17).

$$J_1 = \frac{1}{2} m_{pv} L^2 (N_z/N_1)^2 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (13)$$

$$J_{T1} = J_{T1} + J_1 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (14)$$

$$J_1 = 2.71684 \times 10^{-5} + J_1 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (15)$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(J_{T1}s + b) + (Ls + R) + K^2} \quad (16)$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.0274}{6.375875 \times 10^{-9} s^2 + 0.009274 s^2 + 0.0007647308 s} \quad (17)$$

### Modelo de eje vertical

Como se muestra en la ecuación (18) representa el momento de inercia de un eje giratorio vertical. El momento de inercia del eje rotativo vertical del seguidor fotovoltaico como en la ecuación (21) y la función de transferencia del seguidor solar de eje rotativo vertical como en la ecuación (22).

$$J_1 = \frac{1}{2} m_p(L^2 + W^2)(N_2/N_1)^2 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (18)$$

$$J_{T2} = J_{T1} + J_2 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (19)$$

$$J_{T2} = 2.71684 \times 10^{-5} + J_2 \text{ [kg. m}^2\text{]} \quad (20)$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s((T2s+b)+(Ls+R)+K^2)} \quad (21)$$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.0274}{6.126285 \times 10^{-9} s^2 + 9.646175 \times 10^{-9} s + 0.00075076s} \quad (22)$$

### DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Primero, se ordenaron los datos en el programa Excel, teniendo las variables: fecha, E/A (Elevación, Azimut), hora y coordenada.

Fecha	E/A	Hora	Coordenada
1/01/2022	E	07:00:00	2.21
1/01/2022	A	07:00:00	113.03
1/01/2022	E	08:00:00	15.83
1/01/2022	A	08:00:00	110.76
1/01/2022	E	09:00:00	29.6
1/01/2022	A	09:00:00	109.76
1/01/2022	E	10:00:00	43.39
1/01/2022	A	10:00:00	110.36
1/01/2022	E	11:00:00	57.01
1/01/2022	A	11:00:00	113.88
1/01/2022	E	12:00:00	69.88
1/01/2022	A	12:00:00	125.35
1/01/2022	E	13:00:00	78.75
1/01/2022	A	13:00:00	166.93
1/01/2022	E	14:00:00	74.01

Fig. 4 Base de datos en Excel

Segundo, se cargó la data del Excel al programa Orange, en la pestaña File.

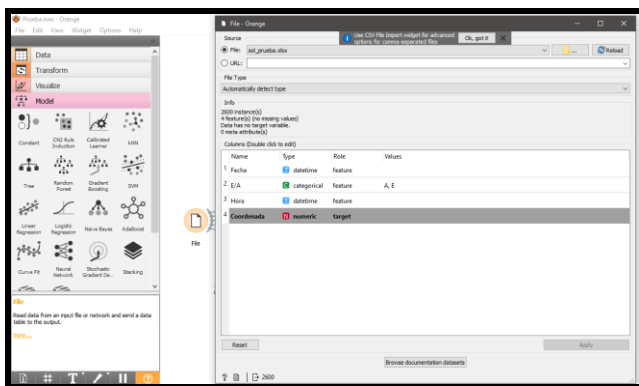


Fig. 5 Data en Orange

Tercero, utilizamos la herramienta Data Table, donde se muestra las 4 variables y 2600 registros.

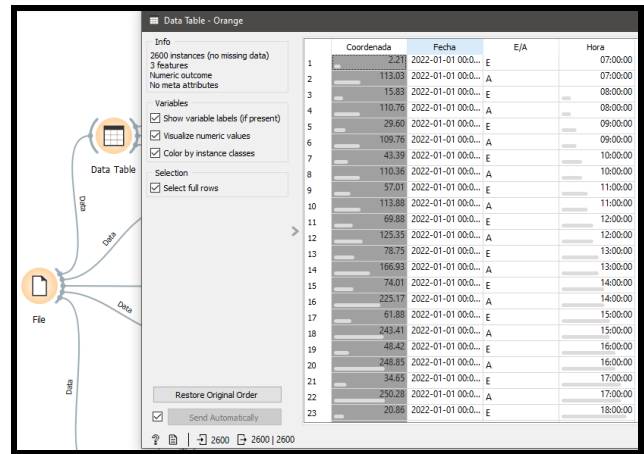


Fig. 6 Herramienta Data Table

Cuarto, para examinar los datos utilizamos las herramientas Distributions and Box Plot.

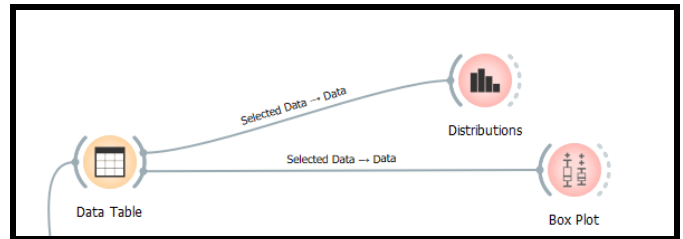


Fig. 7 Herramienta Distribución y Box Plot

Finalmente, para la verificación de los datos utilizamos las siguientes figuras:

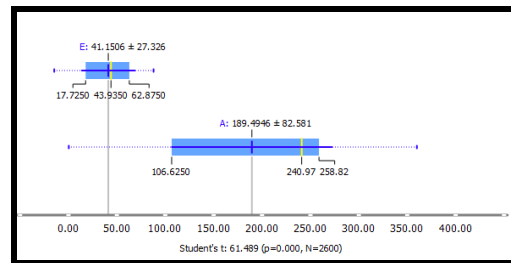


Fig. 8 Gráfico de cajas de coordenada

En la Figura 8, el grafico de caja de coordenada E, existe una media de 41.1506 y una desviación estándar de 27.326 y coordenada A existe una media de 189.4946 y una desviación estándar de 82.581.

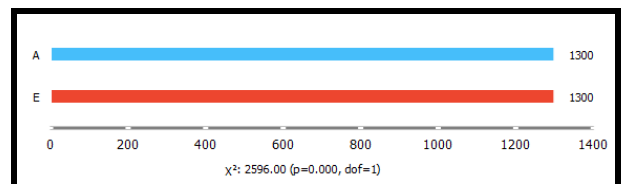


Fig. 9 Gráfico de cajas de A/E

En la Figura 9, se puede señalar que, de un total de 449 registros, 1300 son de coordenada A y 1300 de coordenada B.

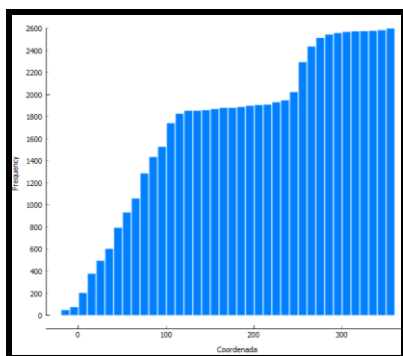


Fig. 10 Distribución de coordenada

En la figura 10, se puede observar la distribución de coordenada por registro.

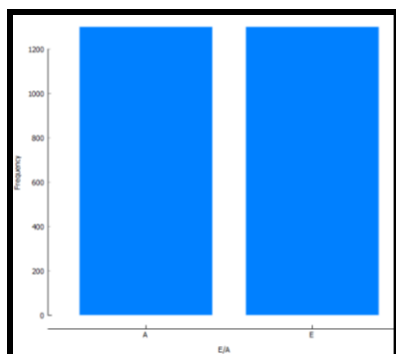


Fig. 11. Distribución de E/A

En la figura 11, se puede observar la distribución de E/A por registro.

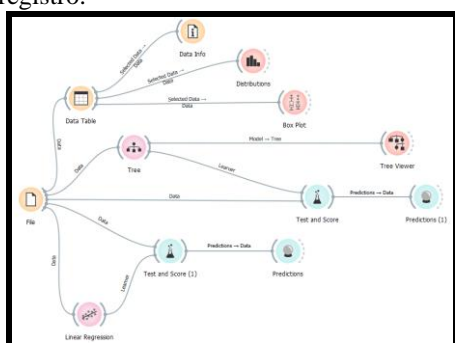


Fig. 12 Elaboración de modelado

Figura 12, se muestra el modelo utilizando los siguientes algoritmos: árbol de decisión y regresión lineal.

Coordenada	Tree	Field	Fecha	E/A	Hora
113.03	135.923	2	2022-01-01 00:00	A	07:00:00
15.83	-4.47672	3	2022-01-01 00:00	E	08:00:00
110.76	144.01	4	2022-01-01 00:00	A	08:00:00
29.60	1.88074	5	2022-01-01 00:00	E	09:00:00
109.76	152.09	6	2022-01-01 00:00	A	09:00:00
43.39	11.6392	7	2022-01-01 00:00	E	10:00:00
110.36	160.164	8	2022-01-01 00:00	A	10:00:00
57.01	19.6983	9	2022-01-01 00:00	E	11:00:00
113.88	168.229	10	2022-01-01 00:00	A	11:00:00
66.88	27.7279	11	2022-01-01 00:00	E	12:00:00
123.35	176.288	12	2022-01-01 00:00	A	12:00:00
76.75	35.8237	13	2022-01-01 00:00	E	13:00:00
166.83	184.287	14	2022-01-01 00:00	A	13:00:00
74.91	43.9144	15	2022-01-01 00:00	E	14:00:00
229.17	182.253	16	2022-01-01 00:00	A	14:00:00
44.44	5.30992	17	2022-01-01 00:00	E	15:00:00
343.41	200.295	18	2022-01-01 00:00	A	15:00:00
48.42	60.1329	19	2022-01-01 00:00	E	16:00:00
248.85	208.361	20	2022-01-01 00:00	A	16:00:00
14.65	48.2542	21	2022-01-01 00:00	E	17:00:00
250.28	216.436	22	2022-01-01 00:00	A	17:00:00
30.86	76.387	23	2022-01-01 00:00	E	18:00:00
248.80	224.516	24	2022-01-01 00:00	A	18:00:00
7.17	94.5346	25	2022-01-01 00:00	E	19:00:00
347.99	232.508	26	2022-01-01 00:00	A	19:00:00
22.66	-12.5085	27	2022-01-01 00:00	E	20:00:00

Fig. 13 Herramienta Predictions para regresión lineal

En la Figura 13, observamos los valores ingresados y obtenidos al aplicar el algoritmo. Así como, el registro 14 que al aplicar el algoritmo se obtuvo un 184.2 de probabilidad de predecir el movimiento del sol, el cual es distinto al valor ingresado, contrario al registro 25 se puede determinar que al aplicar el algoritmo se obtuvo un 84.5 de probabilidad de predecir el movimiento del sol, el cual es casi igual al valor ingresado.

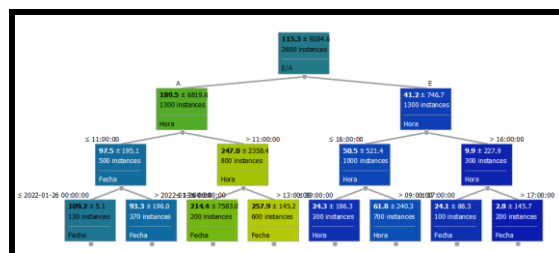


Fig. 14 Árbol de decisión

En la Figura 14, se muestra el árbol de decisión.

Coordenada	Tree	Field	Fecha	E/A	Hora
113.03	112.668	2	2022-01-01 00:00	A	07:00:00
15.83	15.42	3	2022-01-01 00:00	E	08:00:00
110.76	110.329	4	2022-01-01 00:00	A	08:00:00
29.60	28.9627	5	2022-01-01 00:00	E	09:00:00
109.76	109.09	6	2022-01-01 00:00	A	09:00:00
43.39	42.8282	7	2022-01-01 00:00	E	10:00:00
110.36	109.224	8	2022-01-01 00:00	A	10:00:00
57.01	56.591	9	2022-01-01 00:00	E	11:00:00
113.88	112.833	10	2022-01-01 00:00	A	11:00:00
66.88	69.7283	11	2022-01-01 00:00	E	12:00:00
123.35	123.789	12	2022-01-01 00:00	A	12:00:00
76.75	79.8838	13	2022-01-01 00:00	E	13:00:00
166.83	164.34	14	2022-01-01 00:00	A	13:00:00
74.91	74.8029	15	2022-01-01 00:00	E	14:00:00
225.17	225.625	16	2022-01-01 00:00	A	14:00:00
44.44	46.2883	17	2022-01-01 00:00	E	15:00:00
343.41	244.198	18	2022-01-01 00:00	A	15:00:00
48.42	48.8267	19	2022-01-01 00:00	E	16:00:00
248.85	249.49	20	2022-01-01 00:00	A	16:00:00
14.65	35.2764	21	2022-01-01 00:00	E	17:00:00
250.28	250.79	22	2022-01-01 00:00	A	17:00:00
30.86	21.368	23	2022-01-01 00:00	E	18:00:00
248.80	250.323	24	2022-01-01 00:00	A	18:00:00
7.17	7.57776	25	2022-01-01 00:00	E	19:00:00
347.99	248.536	26	2022-01-01 00:00	A	19:00:00
22.66	1.799	27	2022-01-01 00:00	E	20:00:00

Fig. 15 Herramienta Predictions para árbol de decisión

En la Figura 15, observamos los valores ingresados y obtenidos al aplicar el algoritmo. Así como, el registro 3 que al aplicar el algoritmo se obtuvo un 109.8 de probabilidad de predecir el movimiento del sol, el cual es casi igual al valor ingresado, contrario al registro 14 se puede determinar que al aplicar el algoritmo se

obtuvo un 84.5 de probabilidad de predecir el movimiento del sol, el cual es distinto al valor ingresado.

### APLICAR MÉTRICAS DE PRECISIÓN PARA EL MODELO DEL SISTEMA PROPUESTO

- Error medio absoluto (MAE): Esta métrica de regresión es el valor medio de la diferencia absoluta entre el valor real y el valor predicho.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|, \text{ where } e_i = \text{original}_i - \text{predict}_i$$

- Error cuadrático medio (MSE): calcula el valor medio de la diferencia al cuadrado entre el valor real y el predicho para todos los puntos de datos.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2, \text{ where } e_i = \text{original}_i - \text{predict}_i$$

- Raíz del error cuadrático medio (RMSE): Es la raíz cuadrada del MSE. Es fácil de interpretar en comparación con el MSE y utiliza valores absolutos más pequeños, lo que es útil para los cálculos informáticos.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2}, \text{ where } e_i = \text{original}_i - \text{predict}_i$$

A continuación, podemos visualizar los valores obtenidos al aplicar las métricas de precisión para un modelo de regresión lineal.

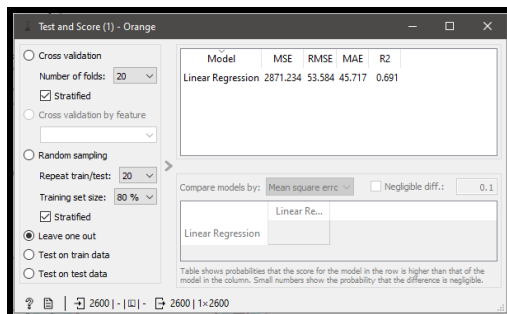


Fig. 16 Test and Score del algoritmo de regresión

En la figura 16, podemos observar el nivel de precisión al utilizar el algoritmo de regresión lineal es del 69% lo cual demuestra un nivel bueno para realizar la predicción. Según [20] “un valor cercano a 1 (entre 0.6 y 1) implicará que buena parte de la varianza es explicada por la recta de regresión”.

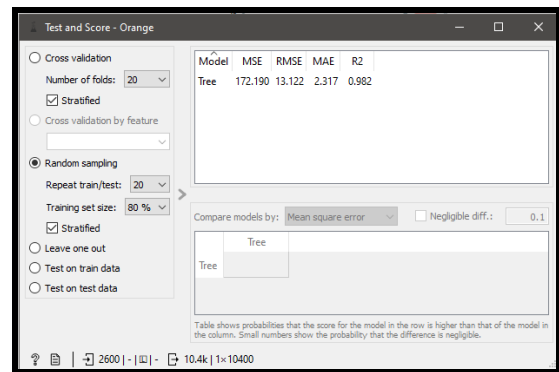


Fig. 17 Test and Score del algoritmo árbol de decisión

En la figura 17, podemos observar el nivel de precisión al utilizar el algoritmo de árbol de decisión es del 98% lo cual demuestra un nivel alto para realizar la predicción.

### DISEÑAR UN SEGUIDOR DE LUZ SOLAR BASADO EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

De acuerdo, con el diseño del prototipo que se muestra en la siguiente Figura 18, se sugiere una plataforma de seguidor solar de dos ejes. Para soportar el panel solar elegido para las medidas, se trae una estructura mecánica especialmente diseñada.



Fig. 18 Diseño del prototipo

### V. CONCLUSIONES

Luego de haber aplicado algoritmos de machine learning utilizando el programa Orange para predecir las coordenadas del movimiento del sol, a través del eje horizontal y eje vertical con inercia del eje giratorio se observó un 109.8 de probabilidad de predicción del movimiento del sol que está conformado por el ángulo de elevación y azimut, lo cual, permitirá que el sistema de seguidor luz solar optimice la generación de la energía eléctrica. Por otro lado, también se aplicaron las métricas de precisión Error Medio Absoluto (MAE), Error Cuadrático Medio (MSE) y Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) para un modelo de regresión lineal donde se obtuvo el nivel de precisión del 69% lo cual demuestra el buen nivel de predicción y también el nivel de precisión en el algoritmo de árbol de decisión fue de 98% lo cual



demuestra el nivel óptimo para realizar la predicción. Finalmente se realizó el diseño del prototipo del seguidor de luz solar, el que, se encuentra en la fase de construcción y posteriormente, se realizarán las pruebas de integración entre algoritmos de machine learning y Arduino para tener el Angulo óptimo de la posición del sol en tiempo real y así poder brindar una alternativa a las ciudades donde el consumo de la electricidad es cada vez mayor con lo cual genera un impacto en el cambio climático, degradación de la capa de ozono.

## REFERENCIAS

- [1] M. R. Próspero, N. P. Balba, R. V. Bustamante y G. R. Muya, «Solar Energy Harnessing Optimization Algorithm in a Robotic Solar Tracker with Arduino Based Monitoring System,» *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 08, nº 10, pp. 1275-1279, 2019.
- [2] R. M. Z. Ferreira, «Artificial Intelligence: Artificial Moral Agents,» *Revista Jurídica*, vol. 05, nº 67, pp. 556-567, 2021.
- [3] Z. R. Vargas Cordero, «La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia,» *Educación*, pp. 155-165, 2009.
- [4] M. N. Córdoba y C. Monsalve, «Tipo de investigación: predictiva, proyectiva, interactiva, confirmativa y evaluativa,» *Webbly*, 2011.
- [5] D. Granados Mora, «Capítulo 6: Diseño experimental,» Universidad de las Américas Puebla. Dirección de Bibliotecas, Puebla, 2003.
- [6] C. Fernández Collado, *Metodología de la Investigación, Colonial: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.*, 2016.
- [7] I. A., P. S., V. N., A. A. A. y G. K. B., «Increasing the efficiency of solar panel by solar tracking system,» *IOP Publishing*, pp. 01-07, 2020.
- [8] M. Abdulhamid y M. Al-Rawi, «On the Design of Solar Energy Tracker System,» *Journal of Siberian Federal University Engineering & Technologies*, pp. 689-702, 2021.
- [9] M. Alif Ismail, K. A. Ramanathan, M. Hafizi Idris, K. Ananda-Rao, M. Mazlán y N. Fairuz, «Improving the performance of solar panels by the used of dual axis solar tracking system with mirror reflection,» *IOP Publishing*, vol. 1432, nº 01, pp. 01-07, 2020.
- [10] A. A. Koochaksaraei y H. Izadfar, «High-Efficiency MPPT Controller Using ANFIS reference Model For Solar Systems,» *IEEE 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation*, pp. 770-775, 2019.
- [11] A. RA, S. ST, A. RY, H. D y Y. D., «Reflector based smart solar tracker (RBSST) as a solution of global climate change and its economic analysis for 900VA customer,» *AIP Publishing*, pp. 020013-1–020013-9, 2020.
- [12] S. Racharla y R. K., «Solar Tracking System-A review,» *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 10, nº 02, pp. 72-81, 2017.
- [13] N. Soedjarwanto, V. Widiawati, N. Purwasih y G. F. Nama, «Developing a Prototype of Solar Tracking for Solar Cell Energy Optimization with Internet of Things (IoT) Technology,» *1st International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering, ICCTEIE 2021*, pp. 31-35, 2021.
- [14] S. Sukono, E. Lesmana, B. B. Nugraha, S. Supian, J. Saputra y A. T. Bin Bon, «Linear programming for electrical energy generation power plant: An economic optimization approach,» *Utopía y Praxis Latinoamericana*, vol. 25, nº 02, pp. 144-159, 2020.
- [15] C. Szász, «Solar Tracker Platform Development for Energy Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels,» *International Review of Applied Sciences and Engineering*, vol. 10, nº 03, pp. 267-273, 2019.
- [16] K. S. Tamilselvan, G. Mageshkumar, S. Suthagar y G. Murugesan, «A Case Study on Implementation of an Efficient and Cost-Effective Solar Power Generation System for Irrigation Purpose,» *ResearchGate*, pp. 807-815, 2020.
- [17] J. A. García, J. S. G. Guzmán, J. A. S. Díaz y J. R. Grillo, «Experimental validation of Artificial Intelligence model for the energy absorption capacity of UHPFRC,» *DYNA*, pp. 150-159, 2020.
- [18] P. Haya, «La metodología CRISP-DM en ciencia de datos,» *iic*, 2021.
- [19] J. A. Jami Fernández y K. G. Machángara Quilca, «MINERÍA DE DATOS STREAMS APLICADA A PARÁMETROS ABIÓTICOS; CASO PRÁCTICO: INVERNADERO DE ROSAS ESPE-IASA I,» Repositorio Espe, Singolquí, 2019.
- [20] J. Morales, «Bookdown,» [En línea]. Available: [https://bookdown.org/j\\_morales/webinmod/03ML-Regre.html](https://bookdown.org/j_morales/webinmod/03ML-Regre.html).