

Diseño y optimización de sistemas de energía solar

Mateo Fernando Herran Murcia

Autor

**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento Ingeniería

Eléctrica

4 de septiembre del 2025

Tabla de Contenido

1. Marco Teórico

- 1.1 Conceptos Fundamentales de Energía Solar
- 1.2 Geometría Solar y Ángulos Clave
- 1.3 Irradiancia, Constante Solar y Eficiencia
- 1.4 Tipos de Paneles Fotovoltaicos
- 1.5 Factores Ambientales que Afectan el Rendimiento

2. Metodología de Python

- 2.1 Lectura y análisis de datos
- 2.2 Cálculos
- 2.3 Visualización de Resultados
- 2.4 Manejo de Errores

3. Resultados y Análisis

4. Conclusiones y Recomendaciones

5. Referencias y Anexos

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Energía sola y optimización

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable más significativas, utilizada principalmente para la generación de electricidad. Para aprovechar la energía proveniente del sol, existen dos métodos principales: el solar térmico y el fotovoltaico; Vamos a definir brevemente la térmica pero no va a ser usada en este proyecto por lo tanto no se va a profundizar en ella.

- La energía solar térmica utiliza el calor del sol, que es capturado por un receptor. Este calor se transfiere a un fluido que, al evaporarse, mueve una turbina para producir electricidad. Es un proceso similar al de una central eléctrica convencional, pero sin usar combustibles fósiles.
- La energía solar fotovoltaica se basa en el aprovechamiento de la luz solar (fotones) para generar electricidad de forma directa. Esta tecnología es la que se implementa en los paneles solares.

Energía Solar Fotovoltaica: Concepto y Funcionamiento

La energía solar fotovoltaica se obtiene directamente de la luz del sol a través de un proceso físico. Los paneles solares están compuestos por células fotovoltaicas, que generalmente se fabrican con silicio. Cuando los fotones de la luz solar influyen sobre estas células, su energía libera electrones, generando un flujo de carga eléctrica. Este movimiento de electrones crea una corriente eléctrica continua (CC).

Conversión de Corriente Continua a Alterna

Para que la electricidad generada por los paneles solares pueda ser utilizada en la mayoría de los aparatos eléctricos del hogar y ser inyectada a la red de distribución, debe ser convertida de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA). Este proceso es realizado por un dispositivo llamado inversor.

El inversor transforma la corriente al manipular el flujo eléctrico. Internamente, utiliza interruptores electrónicos que abren y cierran rápidamente, creando las oscilaciones necesarias que caracterizan a la corriente alterna.

Variabilidad de la Energía Solar a Nivel Global

La generación de energía solar no es constante en todo el planeta. La cantidad de energía que se puede obtener depende directamente de la **irradiación solar** disponible en una ubicación específica.

La irradiancia solar varía considerablemente a causa de múltiples factores:

- **Latitud y Estaciones del Año:** La inclinación del eje de la Tierra provoca que las regiones cercanas al ecuador reciban luz solar de manera más directa y constante que las regiones en latitudes más altas. Esto también es la causa de las estaciones, que afectan la cantidad de horas de luz y la intensidad de la radiación a lo largo del año.
- **Hora del Día:** La radiación solar alcanza su punto máximo alrededor del mediodía solar y disminuye gradualmente hacia el amanecer y el atardecer.

El Impacto de la Ubicación Geográfica en la Generación

La ubicación geográfica es un factor determinante en el potencial de un sistema fotovoltaico. En áreas con menor irradiación solar (por ejemplo, zonas con alta nubosidad o en latitudes lejanas al ecuador), la cantidad de energía generada será menor en comparación con una región soleada.

Esto no invalida el uso de la energía solar, pero implica que un sistema debe ser diseñado y dimensionado de acuerdo con las condiciones climáticas y geográficas del lugar para que sea económicamente viable y pueda cubrir la demanda energética de manera efectiva.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Geometría Solar y Ángulos Clave

Para poder acertar con mayor precisión la irradiación que se consigue debemos tener en cuenta la posición del sol la cual va cambiando constantemente debido a la rotación terrestre durante el día, para poder comprender bien la geometría solar debemos tener en cuenta 3 ángulos:

- El Angulo de inclinación en el que se instaló el panel solar.
- La dirección en la que se instalo el panel (Ejemplo si mira hacia el sur el angulo viene a ser de 180 grados)
- La posición del sol durante el día la cual es cambiante. (Es un patrón predecible el cual nos permite encontrarla con una formula usando la hora del día y la latitud de la ubicación)

Irradiancia y la constante solar

Para entender la eficiencia de un panel, primero hay que medir la energía que recibe. La irradiancia es la potencia que el sol emite en un instante y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Este es el valor que tus sensores miden en tiempo real.

El valor máximo de irradiancia posible se conoce como la constante solar, que es aproximadamente 1361 W/m^2 . Este valor representa la potencia que el sol emite por unidad de área en el espacio exterior, antes de que la atmósfera terrestre la debilite.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Eficiencia del Panel

La eficiencia de un panel fotovoltaico es una métrica clave que evalúa su rendimiento. Se define como la relación entre la energía eléctrica que un panel produce y la energía solar que recibe. Se expresa como un porcentaje.

En la actualidad los paneles de mayor gama que hay en el comercio promedian entre un 20% y 24%, si consigues un porcentaje menor a 20% suele deberse a que el sitio donde hiciste la prueba es muy extenso por lo tanto tienes una mayor cantidad de paneles y esto suple la baja eficiencia, esta acción se debe a que estos paneles suelen ser más económicos por lo tanto es más rentable comprar más de dichos paneles a comprar una cantidad menor con un precio mayor. (En este proyecto solo se tomarán valores científicos, no se tomará en cuenta ningún valor económico)

Si consigues una eficiencia mayor al 30% por ciento se debe a que usas paneles de laboratorios, esto significa que son paneles que no han sido establecidos en el mercado por lo tanto estas muestras son experimentales.

Tipos de paneles

A la fecha (2025) el mercado de paneles solares lo dominan 3 tecnologías las cuales son:

- **Monocristalinos:** Estos paneles son los más eficientes en la actualidad promediando entre 20% y 24%; Se pueden reconocer ya que estos son de color negro.
- **Policristalinos:** Esta tecnología en paneles solares promedian una eficiencia de 15% a 18%; Estos tienen un color azulado.
- **De capa fina (Thin-film):** Esta tecnología es la menos eficiente de las tres ya que promedian una eficiencia entre el 10% y 13%; su fabricación es más económica por lo tanto se vuelven los más accesibles en el mercado.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Metodología utilizada en Python

Para tener una comprensión más sencilla del código utilizado en Python vamos a dividirlo en 4 pasos.

1. Lectura y análisis de datos

En este paso procedemos a exportar todas las librerías usadas en el código las cuales son:

- Pandas: Esta librería tiene la función de leer los archivos donde están almacenados los datos que queremos procesar, en este caso vamos a usar archivos provenientes de Excel los cuales tienen la particularidad que su terminal es .xlsx
- Numpy: Numpy es una librería que contiene las operaciones matemáticas que vamos a usar para poder procesar los datos.
- Matplotlib.pyplot: Esta librería va a ser nuestra encargada de poder graficar los datos que estamos analizando con la cual nos facilita la comprensión de dichos datos.
- Os, Glob: Para poder hacer el código mas sencillo para el uso del usuario usamos estas dos librerías las cuales se encargan de encontrar el archivo más reciente de Excel lo cual nos evita la fatiga de estar cambiando las rutas de archivos cuando alguien quiera usar este código.
- Datetime: Siguiendo con la idea de hacerlo más dinámico para el usuario tenemos esta librería la cual va a ser la encargada de poder comprender que la columna #0 del archivo va a ser el tiempo lo cual nos conviene para poder preguntarle al usuario en que intervalos de tiempo se evalúen los datos.
- Geopy.geocoders: Esta librería es la encargada de brindarnos la latitud del lugar donde se realizó la prueba preguntándole el lugar donde se realizó la muestra (Nombre de la ciudad)

2. Cálculos:

- Esta va a ser nuestra sección donde definimos las operaciones que tenemos que hacer para poder conseguir los datos que necesitamos al graficar y exponer nuestros resultados
- Vamos a calcular el ángulo de horario en el cual vamos a usar la hora de la muestra y multiplicamos por 15 grados ya que esta viene a ser la velocidad de la tierra
- Altitud solar en la cual vamos a necesitar la latitud del lugar y el ángulo de horario
- El ángulo de incidencia, este es el mas importante ya que viene a ser el ángulo en el cual los rayos solares golpean el panel; Viene a ser una formula algo compleja donde vamos a usar la latitud, la inclinación en la que se coloco el panel, el ángulo azimut (este es el ángulo hacia donde apunta el panel horizontalmente ejemplo sur 180 grados) y el ángulo de horario
- Irradiación teórica, está la conseguimos multiplicado la constante solar por el coseno del ángulo de incidencia
- Eficiencia de la muestra, este calculo es bastante sencillo donde dividimos la irradiancia real (es la irradiación que nos brinda la muestra analizada) entre la irradiancia teórica (es la que calculamos en el código con los ángulos y la constante solar), a esa división se le multiplica por 100 para tener porcentaje

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

3. Visualización de resultados:

- Esta sección va a ser manejada por la librería de Matplotlib.pyplot, ya que vamos a convertir los datos conseguidos anteriormente en una grafica para poder tener un entendimiento más dinámico de nuestros resultados.
- Cuando ejecutemos el software nos va a graficar varias cosas:
 1. Nos brinda una gráfica de cada sensor (El archivo de Excel puede almacenar datos de diferentes paneles para poder hacer comparaciones y ver cual es mas eficiente) la cantidad de sensores que tenga tu archivo de Excel van a ser las gráficas que nos brinde.
 2. Una comparación de la eficiencia de los sensores para ver cual tiene mejor rendimiento y así mismo saber con cual podemos tener una cantidad mayor de energía.
 3. La ultima ayuda visual va a ser la altitud del sol respecto al tiempo (entre mas altitud mas directos van a ser los rayos del sol por lo tanto más irradiancia vamos a conseguir)

4. Manejo de errores:

- Esta sección es la encargada de que el software sea tolerante a errores del usuario en el cual, si comete errores de rutas, datos absurdos o mal redactados no se detenga inmediatamente, te va a mostrar cual fue el error que cometiste para que puedas ejecutarlo correctamente y así consigas lo que necesitas.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Resultados y análisis

Nota importante: Los datos usados son hipotéticos, simplemente se usan estos datos para demostrar que lo que se realizó en Python cumple con lo antes prometido.

Datos utilizados:

Vamos a usar un documento de Excel el cual se encuentra en la carpeta donde esta este archivo y todos los usado en el proyecto; el archivo de Excel usado tiene 3 columnas con datos las cuales son:

Columna 0: Fecha y hora en la que fue tomada la muestra

Columna 1: Muestra tomada por un sensor desconocido que se le llamo AH3

Columna 2: Muestra tomada por un sensor desconocido que se le llamo LSParking

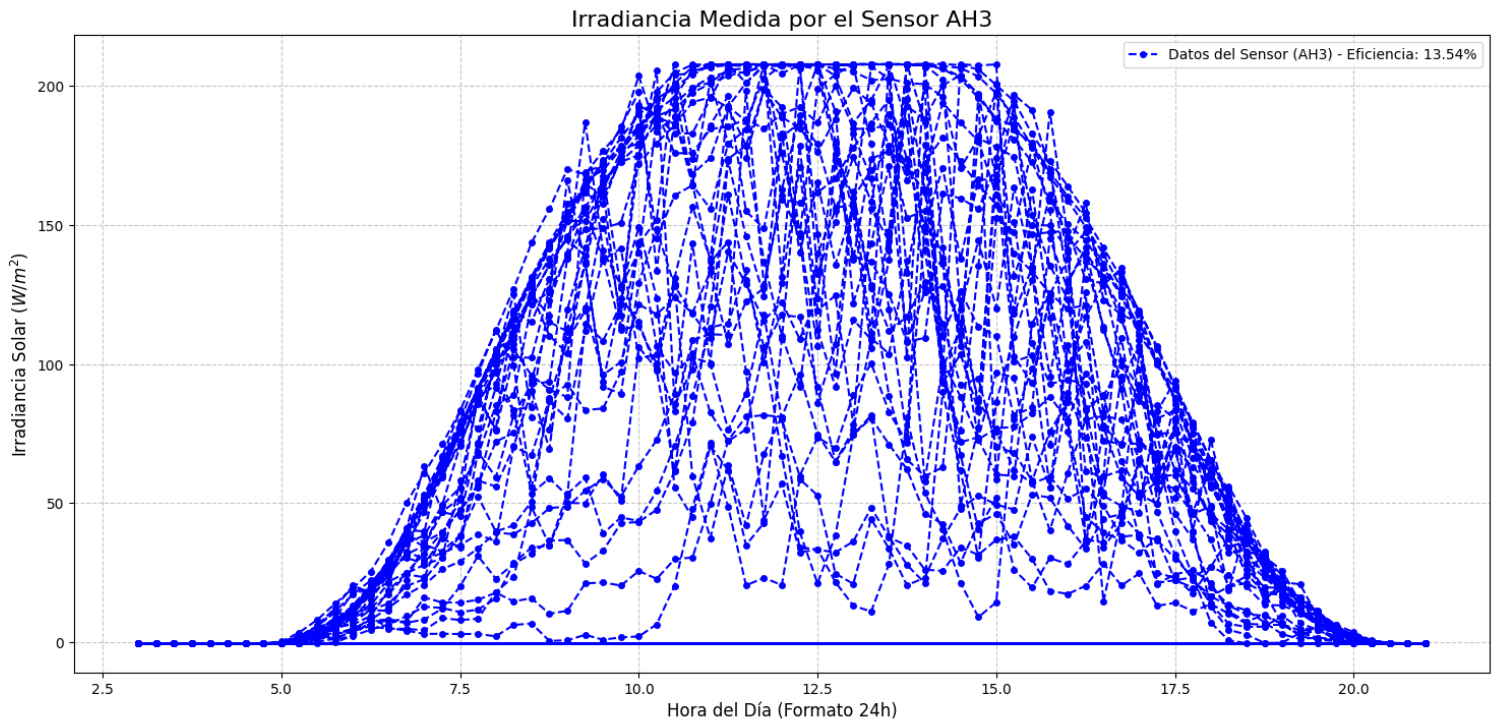
También se utilizó como localidad la ciudad de Medellín la cual viene a tener una latitud de 6,27 grados; se simulo una instalación de estos paneles con una inclinación de 15 grados y en dirección al sur (180 grados)

El intervalo de tiempo en el que se analizo fue de 3:00 am a 21:00 pm (Los datos antes de las 3:00 am y después de las 21:00 pm son nulos, ya que no tienen ninguna irradiación solar) durante 30 días (1 mes).



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA
1 8 0 3

Irradiación sensor AH3



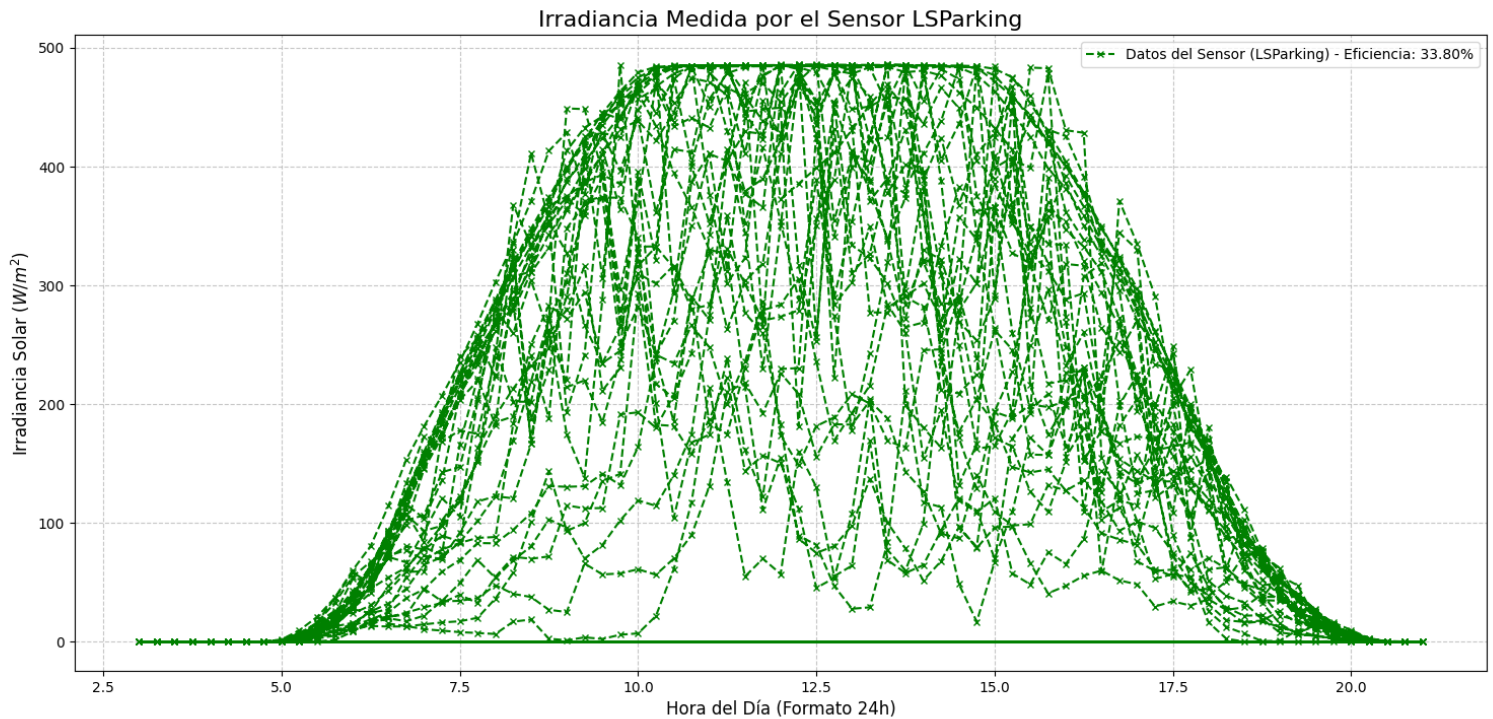
Podemos visualizar una eficiencia del 13,54%, con un tope de poco mas de $200 W/m^2$ lo que nos da la probabilidad de que estas tomas fueron tomadas con paneles de capa fina.

Para que esa eficiencia nos resulte útil en la generación de energía eléctrica deberíamos tener un gran volumen de estos sensores ya que nos reduciría gastos de inversión.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

irradiación sensor LSParking



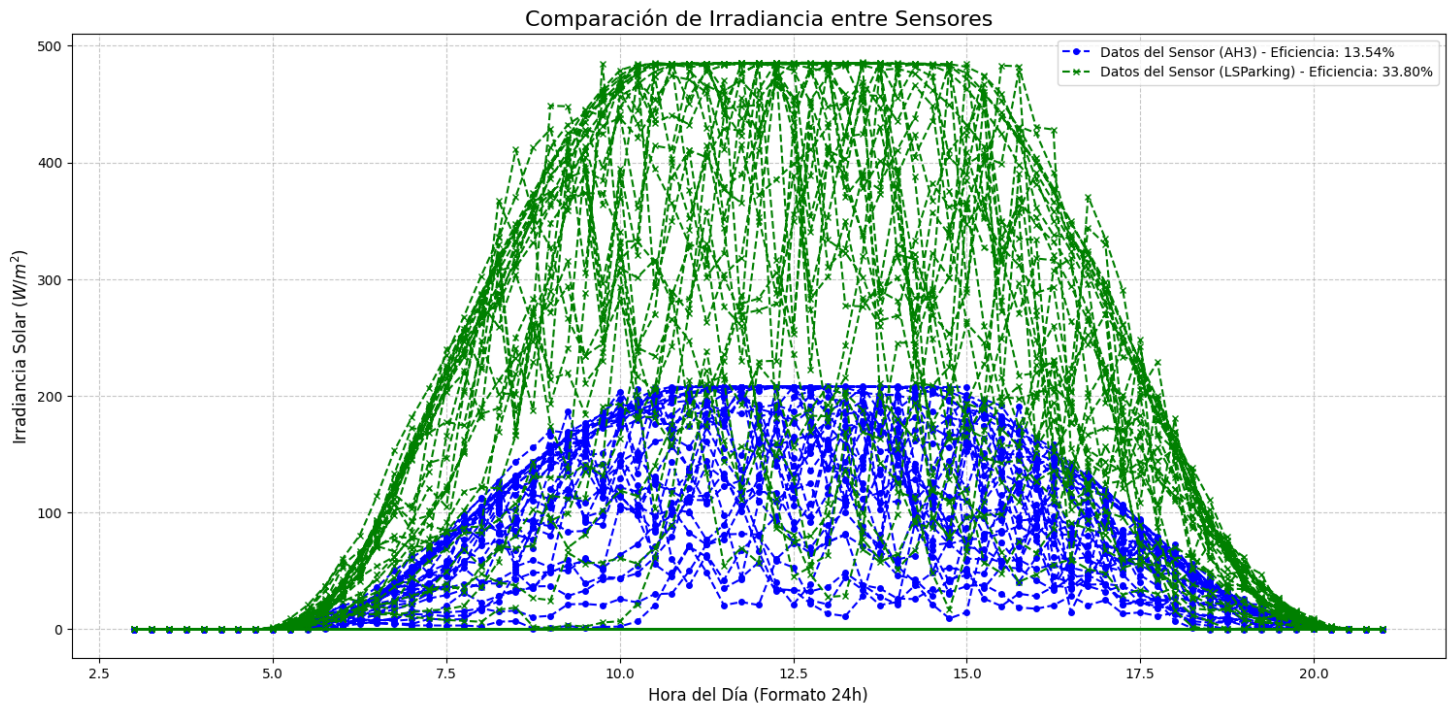
En esta muestra comprendemos que la eficiencia es superior al 30% para ser exactos tiene 33,8% de eficiencia, lo que nos da a entender que los sensores usados en estas tomas deben ser de algún laboratorio de forma experimental ya que no hay sensores solares que tengan eficiencia mayor al 30% en el mercado.

Estos sensores son más útiles en espacios reducidos ya que al tener una eficiencia tan alta se necesita un volumen menor para poder suplir las necesidades energéticas.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Comparación de eficiencias de los sensores

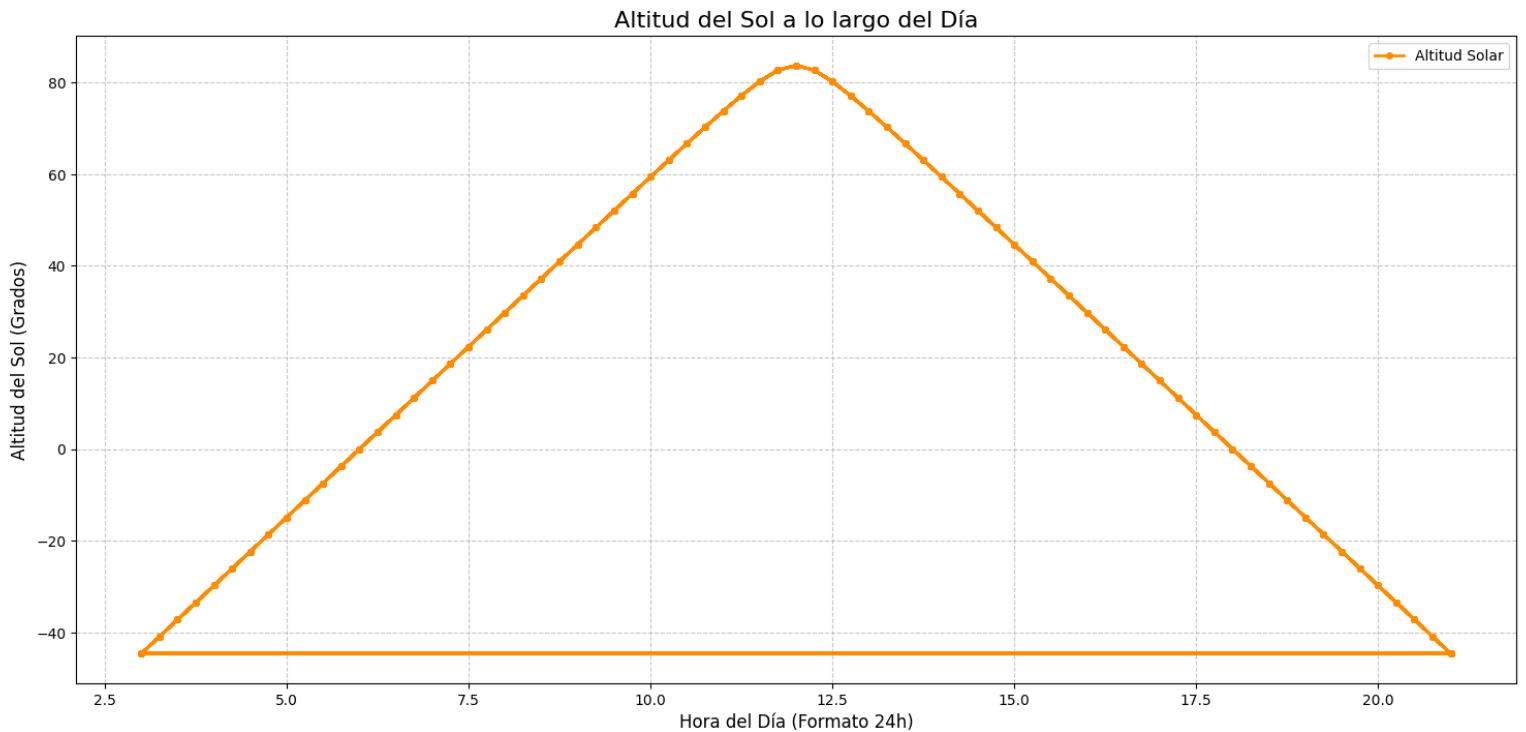


Como podemos evidenciar con esta grafica los sensores LSParking en términos de eficiencia son muy superiores a los AH3, lo que en términos energéticos va a significar más energía generada por metro cuadrado en el LSParking.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Altitud del sol



Podemos evidenciar que el sol tiene un movimiento continuo durante el día, el pico de altitud es similar a los picos de irradiación de los sensores por lo tanto podemos concluir que el código maneja adecuadamente el movimiento solar.

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

Conclusiones y recomendaciones

En conclusión, el presente estudio nos demostró que el sensor LSParking tuvo un rendimiento mayor a diferencia del sensor AH3, lo que nos evidencia que para la generación de energía es mas optimo utilizar este sensor.

Para futuros estudio se recomienda utilizar datos a largo plazo para evaluar la eficiencia de ambos sensores contando con variables climatológicas

Bibliografías

Teóricas

<https://new.abb.com/south-america/energias-renovables/energia-solar>

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

<https://www.solar360.es/blog/autoconsumo/que-es-un-inversor-solar>

Código

<https://gemini.google.com/app> (Uso de ia)

<https://www.reddit.com/r/programacion/> (Uso de foros)

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3