

**DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL  
MODELO DE LIU JORDAN.**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL  
MODELO DE LIU JORDAN.**

**AUTOR:  
DAVID DARIO FIALLOS CHAMORRO**

**TUTOR:  
LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA**

**Quito, octubre 2020**

David Dario Fiallos Chamorro

**DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2020  
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**David Dario Fiallos Chamorro**(Y'1991-F'03). Egresado de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Áreas de interés: Generación distribuida, Diseño eléctrico, Gestión de energía , energía renovable. [david\\_rdt@hotmail.com](mailto:david_rdt@hotmail.com)

Dirigido por:



**Luis Fernando Tipán Vergara** (Y'1982-J'21). Nació en Quito, Ecuador, el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica Como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional. sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en Eficiencia Energética. La mayor parte de su vida profesional la dedico al sector industrial y petrolero. Actualmente está involucrado en las áreas de Energías Alternativas y Eficiencia Energética en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus intereses de investigación incluyen los métodos de GD con Energías alternativas, el IoT basándose en controladores de bajo consumo. Electrónica de Potencia, entre otros.

[ltipan@ups.edu.ec](mailto:ltipan@ups.edu.ec)

**Todos los derechos reservados:**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS  
©2020 Universidad Politécnica Salesiana  
QUITO-ECUADOR

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.*” realizado por David Dario Fiallos Chamorro, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre 2020



Luis Fernando Tipán Vergara

Cédula de identidad: 1717329005

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, David Dario Fiallos Chamorro, con documento de identificación N° 1726838756, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación titulado: “DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Nombre: David Dario Fiallos Chamorro

Cédula: 1726838756

Fecha: octubre 2020

## INDICE GENERAL

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>2.</b> | <b>ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b> .....                                     | <b>3</b>  |
| 2.1       | Geometría Solar.....  | 3         |
| 2.1.1     | Ángulo de declinación ( $\delta$ ).....                               | 4         |
| 2.1.2     | Ángulo hora solar ( $\omega$ ).....                                   | 4         |
| 2.1.3     | Ángulo azimutal ( $\gamma$ ).....                                     | 4         |
| 2.1.4     | Latitud ( $\phi$ ).....   | 5         |
| 2.2       | Suciedad en los paneles.....  | 5         |
| 2.2.1     | Rocío como factor de limpieza.....                                    | 5         |
| 2.3       | Irradiancia.....  | 6         |
| 2.3.1     | Irradiancia Directa ( $I\beta_b$ ).....                               | 6         |
| 2.3.2     | Irradiancia Difusa ( $I\beta_d$ ).....                                | 6         |
| 2.3.3     | Irradiancia Reflejada ( $I\beta_p$ ).....                             | 6         |
| 2.3.4     | Inclinación del panel fotovoltaico( $\beta$ ).....                    | 6         |
| <b>3.</b> | <b>MODELO SOLAR LIU Y JORDAN</b> .....                                | <b>7</b>  |
| 3.1       | Factor de conversión geométrico de irradiancia directa ( $R_b$ )..... | 7         |
| 3.2       | Factor de conversión geométrico de irradiancia difusa ( $R_d$ ).....  | 8         |
| 3.3       | Factor de conversión para la irradiancia reflejada ( $R_r$ ).....     | 8         |
| <b>4.</b> | <b>MODELACIÓN MATEMÁTICA</b> .....                                    | <b>8</b>  |
| <b>5.</b> | <b>RESULTADOS</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>6.</b> | <b>CONCLUSIONES</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>7.</b> | <b>TRABAJOS FUTUROS</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>8.</b> | <b>REFERENCIAS</b> .....  | <b>14</b> |
| 8.1       | Matriz de Estado Arte.....  | 17        |

## INDICE DE FIGURAS

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Figura 1. Movimiento de la Tierra respecto al sol.....                        | 4                             |
| Figura 2. Declinación anual.....  | 4                             |
| Figura 3. Orientación del panel fotovoltaico.....                             | 5                             |
| Figura 4. Microscopia secado rocío [15].....                                  | 5                             |
| Figura 5. Tipos de irradiancia sobre el Panel.....                            | 6                             |
| Figura 6. Inclinação del Pv.....  | 7                             |
| Figura 7. Ángulo cenital.....   | 8                             |
| Figura 8. Paneles fotovoltaicos UPS campus sur.....                           | 9                             |
| Figura 9. Variación ángulo Solar en el día.....                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 10. Irradiancia dependiendo la inclinación del panel fotovoltaico..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 11. Irradiancia dependiendo la orientación del panel.....              | 11                            |
| Figura 12. Corriente de cortocircuito en condiciones reales.....              | 12                            |
| Figura 13. Corriente a máxima potencia en condiciones reales.....             | 12                            |
| Figura 14. Voltaje en circuito abierto.....                                   | 12                            |
| Figura 15. Voltaje en el punto de máxima potencia.....                        | 12                            |
| Figura 16. Punto máximo de potencia de mayor eficiencia del panel.....        | 12                            |
| Figura 17. Comparación de energía entre el modelo solar y datos medidos.....  | 13                            |
| Figura 18. Resumen e indicadores del estado del arte.....                     | 20                            |
| Figura 19. Resumen de formulación del problema.....                           | 20                            |
| Figura 20. Gráfico de soluciones.....   | 21                            |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Niveles de suciedad.....                                       | 5  |
| Tabla 2. Reflectancia en distintos ambientes.....                       | 6  |
| Tabla 3. Factores geométricos de irradiancia difusa y reflejada.....    | 10 |
| Tabla 4. Energía entregada de la UPS vs Energía luego de optimizar..... | 13 |
| Tabla 5. Matriz de estado del arte.....                                 | 17 |

# DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN

## Resumen

En el presente documento se centra en generación solar, específicamente en el punto óptimo de potencia entregada por el panel fotovoltaico. Para llegar al fin de estudio, es necesario desarrollar un modelo matemático el cual debe seguirse de manera secuencial basado inicialmente en el modelo solar de Liu & Jordan, el cual permite un estudio de la cantidad de irradiancia incidente sobre una superficie inclinada. Seguido por la suciedad como variable difusa, como afecta al panel. Además, se consideran variables climáticas como temperatura y humedad, variables necesarias para la obtención del punto óptimo de potencia. El modelo matemático propuesto tiene como objetivo determinar la inclinación y orientación de mayor captación de radiación solar en una superficie inclinada. Adicionalmente, como minimizar las pérdidas por suciedad y las variables climáticas como afectan su impacto en la eficiencia del panel.

Finalmente, en base a los parámetros ya mencionados se muestran resultados bajo tres consideraciones: para los datos obtenidos por los medidores de la UPS inclinación y orientación obtenidos con brújula e inclinómetro, resultado calculado bajo las condiciones actuales del emplazamiento y por último el cálculo bajo condiciones óptimas, con esto se determina el punto óptimo de potencia.

**Palabras Clave:** Efectos fotovoltaicos, Energía Solar, Celdas fotovoltaicas, Radiación solar, Paneles solares, generación de energía solar.

## Abstract

This document focuses on solar generation, specifically on the optimum point of power delivered by the photovoltaic panel. To reach the end of the study, it is necessary to develop a mathematical model which must be followed sequentially based initially on the solar model of Liu & Jordan, which allows a study of the amount of incident irradiance on an inclined surface. Followed by dirt as a diffuse variable, how it affects the panel. In addition, climatic variables such as temperature and humidity are considered, variables necessary to obtain the optimum power point.

The proposed mathematical model aims to determine the inclination and orientation of the highest solar radiation capture on an inclined surface. Additionally, how to minimize losses due to dirt and climatic variables as they affect their impact on the efficiency of the panel.

Finally, based on the aforementioned parameters, results are shown under three considerations: for the data obtained by the UPS meters, inclination and orientation obtained with a compass and inclinometer, the result calculated under the current conditions of the site and finally the calculation under conditions. optimum, this determines the optimum power point.

**Keywords:** Photovoltaic effects, Solar energy, Solar energy, Photovoltaic cells, Solar radiation, Solar panels, Solar power generation.

# 1. INTRODUCCIÓN

La energía proveniente del sol es un recurso de fácil acceso, renovable, sin costo e infinito. Ha ido cobrando cada vez más importancia por los bajos efectos de contaminación ambiental que produce al momento de generar energía eléctrica, por este motivo se busca al momento de instalar un sistema fotovoltaico aprovechar al máximo este recurso, generando la mayor cantidad de potencia capaz de entregar el parque fotovoltaico[1].

Ecuador tiene un gran potencial solar[2], es por ello que surge la necesidad de obtener la mayor cantidad de irradiancia sobre una superficie inclinada, para esto es necesario determinar la óptima inclinación y orientación del panel fotovoltaico. Para obtener los parámetros de inclinación como orientación es necesario basarnos en un modelo solar, para el documento se presenta el modelo solar de Liu & Jordan del cual se obtiene valores bastante reales.[3]

Existen autores que han visto la necesidad de determinar la mayor captación de irradiancia sobre el panel, utilizando principalmente el modelo de Liu & Jordan como lo detallamos a continuación.

En [3] se describe la eficiencia del panel solar, es dependiente de la cantidad de radiación solar capaz de captar el panel fotovoltaico. Es por esto la necesidad de captar los ángulos tanto de inclinación y orientación óptimos, bajo lo mencionado en el documento se considera la implementación de un sistema de seguimiento, pero este modelo resulta muy costoso. En este documento se realiza el estudio en 5 lugares de Malasia. Sin embargo, los valores calculados no son aplicables para todo el territorio de Malasia y mucho menos para todo el planeta tierra, de esto nace la gran importancia del estudio de un lugar o región determinada para poder determinar las condiciones óptimas de inclinación, para cada ubicación geográfica de estudio.

En [4] se realiza la búsqueda óptima de inclinación y orientación del panel fotovoltaico valiéndose de modelos matemáticos y software como ArcMap, IBM SPSS Statistics y Matlab. Adicionalmente, una vez definido los ángulos realiza la validación del modelo solar de Liu &

Jordan comparándolo con otros modelos solares, demostrando que el modelo solar de Liu & Jordan y los modelos de comparación dan valores de irradiancia muy similares.

En [5] se presenta la orientación e inclinación óptima para Luján mediante la comparación de tres modelos el isotrópico difuso de Liu & Jordan y los anisotrópicos de Klucher y Reindl en donde, se puso la inclinación del panel a  $45^\circ$  hacia los cuatro puntos cardinales, después de esta obtención se realiza la comparación con los valores medidos en la universidad de Luján.

En [6] se centra en el estudio para la locación de Salto, Uruguay. Donde se comparan con varios modelos solares para determinar los valores de irradiancia incidente sobre una superficie inclinada, determinando que la orientación óptima debe ser hacia el ecuador para permitir la mayor captación de irradiancia incidente sobre el panel.

En los trabajos mencionados anteriormente se demuestra que, la radiación global no en todos los lugares es la misma depende mucho del lugar geográfico a estudiar, es por eso la importancia de este documento, porque como se ha mencionado anteriormente el modelo solar de Liu & Jordan permite calcular la inclinación y orientación óptima basándose en cantidades de Irradiancia que recibe el panel. Es un método de aproximación bastante real. Sin embargo, no se consideran variables climáticas y de suciedad que deben considerarse para obtener el punto óptimo de potencia[7],[8].

Como se puede observar en los documentos de estudio se centra en la irradiancia obtenido específicamente con el modelo de Liu & Jordan, en este modelo no se toma en cuenta la suciedad siendo este otro factor que afecta la potencia. La cantidad de suciedad depende principalmente condiciones climáticas del emplazamiento donde se encuentre situado, es decir, si el lugar es desértico, húmedo, frío, etc.[9] A medida que exista variación de las condiciones climáticas puede aumentar o disminuir el nivel de suciedad. La transmitancia del vidrio se determina con la relación entre más sucio la irradiancia aprovechable disminuirá en el panel

fotovoltaico por ende la potencia aprovechable para alimentar determinada carga disminuirá [10],[11].

En [12]–[14] se realiza el estudio de la suciedad en condiciones desérticas y como afectan al impacto sobre la eficiencia del panel a base de prueba y error demostrando que para situaciones desérticas como Pakistán, Qatar y Rabat las pérdidas llegan a ser muy altas.

En [15] se presenta el estudio de una área urbana en cómo impacta la suciedad sobre el panel, se basa en un modelo matemático complejo. Como se menciona en este documento se detalla que para el área urbana la

La suciedad es menor.

Adicionalmente Un efecto natural de gran importancia basado en la climatología del lugar a estudiar es el rocío, que no es más que la humedad de la atmosfera se condensa en horas de la noche y madrugada provocando que se generen pequeñas gotas de agua que se posaran sobre el panel. Este fenómeno climático puede ser desfavorable en condiciones desérticas donde al condensarse y el polvo lo convierte en lodo en donde más que limpiar el panel lo ensucia[16], esto no sucede en el entorno urbano (caso de estudio) donde al condensarse servirá para limpiar la suciedad depositada sobre el panel [15][17].

Además, el factor de temperatura es necesario considerarlo por lo que dicho factor afecta directamente al voltaje de salida del panel.

En base a lo expuesto anteriormente este documento realiza en base a Liu & Jordan y las variables descritas la formulación matemática para la determinación de las condiciones óptimas de generación solar [1][18].

Para ello se amplía la formulación calculando como primer lugar inclinación y orientación con Liu & Jordan, luego se lo adiciona el factor de suciedad, temperatura y humedad. La diferencia de este documento a otros usados en esta investigación es el cálculo integral desde el modelo solar hasta la potencia de salida del panel fotovoltaico.

Finalmente, se muestra los resultados obtenidos en comparación entre los datos medidos en la Universidad politécnica Salesiana, Los cálculos mediante nuestra formulación matemática en las condiciones

instaladas y el cálculo de energía luego de determinar las condiciones adecuadas de montaje.

La locación de estudio es en Ecuador la ciudad de Quito específicamente en la Universidad politécnica Salesiana (Campus Sur), en donde se requiere determinar todas las variables antes mencionadas para mayor aprovechamiento de los paneles fotovoltaicos de la marca Simax (Suzhou) modelo SM572-190 con potencia de 190 Wp, ya que en el datasheet solo se puede observar en condiciones estándar lo cual difiere mucho a la realidad porque la cantidad de radiación y temperatura varia con la locación, hora y estación climática.[19]

## **2. ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

El sol es la fuente principal de generación de todo tipo de energía [20] siendo este un recurso considerado inagotable denominado energía renovable. En esta investigación se va a centrar en el uso para conversión de energía eléctrica, la cual se puede aprovechar por medio de la radiación electromagnética que proviene del sol sobre el panel fotovoltaico, dando lugar al llamado efecto fotoeléctrico el cual basa su funcionamiento en convertir la radiación solar en energía eléctrica por medio de dispositivos semiconductores (células fotovoltaicas). Estas células son construidas a base de silicio que se debe añadir impurezas de compuestos químicos como fósforo y boro [21].

Un panel fotovoltaico este compuesto de varias células conectadas en serie sobre los módulos solares dependiendo el fabricante para obtener el voltaje requerido. La corriente determinante en el panel viene determinada por la radiación global incidente como ya se lo ha mencionado anteriormente [20].

### **2.1 Geometría Solar**

La tierra pertenece al sistema solar donde tenemos como centro el sol bajo este concepto podemos decir que tiene el movimiento de traslación (gira alrededor del sol) y el movimiento de rotación que gira sobre el eje de este. En el primer movimiento la tierra se mueve alrededor del sol formando una elipse

este movimiento dura 365 días (un año), es importante tener en cuenta este movimiento ya que por la forma geométrica que se forma entre el sol y la tierra es la misma, teniendo una distancia variable[2][10].

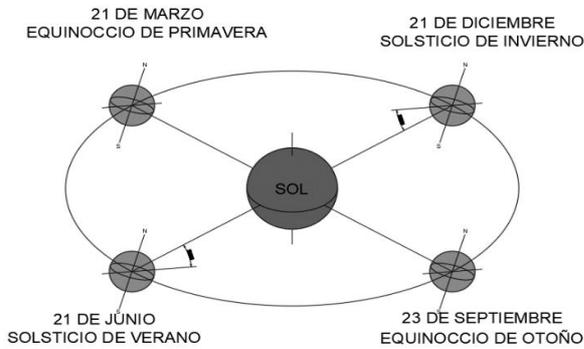


Figura 1. Movimiento de la Tierra respecto al sol.

### 2.1.1 Ángulo de declinación ( $\delta$ )

En cuanto al movimiento de rotación es el que gira su eje polar, y se encuentra de manera perpendicular al plano ecuatorial. De esta manera se puede determinar la desviación del eje de rotación y viene dado en un ángulo que puede tomar valores desde  $-23.45^\circ$  hasta  $23.45^\circ$  a lo que se le conoce como el ángulo de declinación a este ángulo es necesario mencionar que no depende del lugar de estudio si no del día del año y de ahí su variación viene dada por la siguiente ecuación[4][22].

$$\delta = 23.45^\circ * \cos\left(360 * \frac{(dn + 10)}{365}\right) \quad (1)$$

Donde:

- dn = número del día del año.
- $\delta$  =ángulo de declinación solar.
- 360/365 =factor de conversión del día del año en una posición de órbita.
- $23.45^\circ$  =ángulo de inclinación de la tierra sobre su propio eje de rotación.
- 10 =Valor tomado ya que el solsticio de invierno comienza antes del inicio de año.

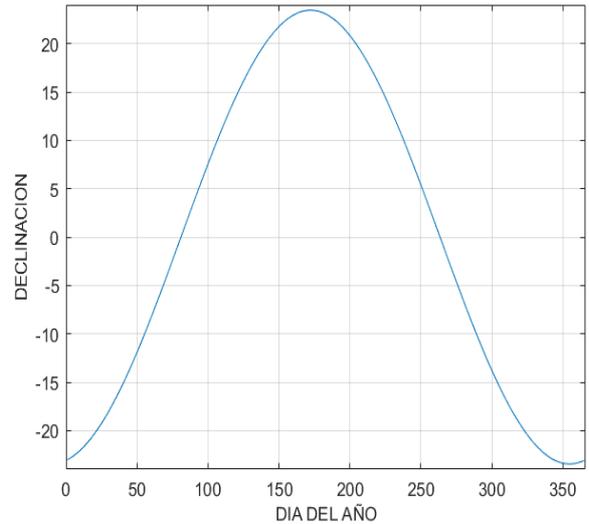


Figura 2. Declinación anual.

### 2.1.2 Ángulo hora solar ( $\omega$ )

Es el desplazamiento que realiza el sol sobre el plano ecuatorial, se caracteriza por ser negativo en la mañana y positivo en la tarde además su aumento es de  $15^\circ$  por cada hora para el cálculo de este ángulo utilizaremos la ecuación:[10]

$$\omega = 15 * (HS - 12) \quad (2)$$

Donde:

HS = Hora del día.

### 2.1.3 Ángulo azimutal ( $\gamma$ )

El ángulo azimutal es la orientación en la cual vamos a direccionar nuestro panel fotovoltaico va medido en sentido de las manecillas del reloj formando una circunferencia imaginaria sobre nuestro eje, esta circunferencia va a ir representada por los cuatro ejes cardinales (norte, este, sur, oeste) tomando valores de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $360^\circ$  respectivamente. Su representación para este documento será la letra del alfabeto griego  $\gamma$  [4].

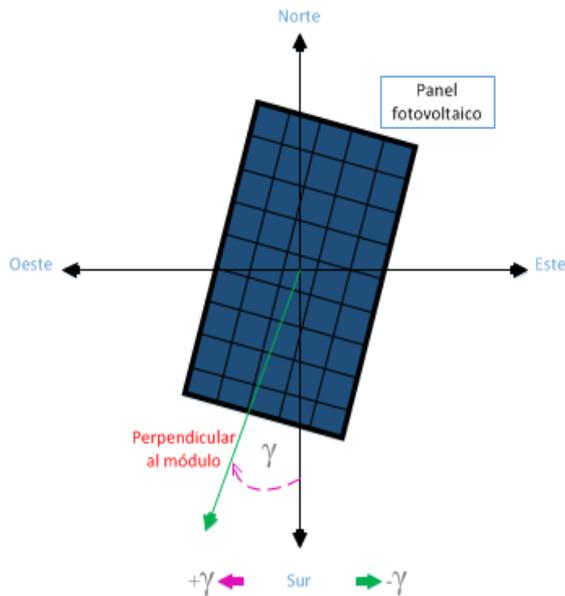


Figura 3. Orientación del panel fotovoltaico.

### 2.1.4 Latitud ( $\phi$ )

Es la medida angular que tiene como origen la línea ecuatorial, es decir la medida desde este país a cualquier punto del planeta tierra. Varía desde 0 a 90° hacia el polo norte y de 0 a -90° hacia el polo sur[4].

## 2.2 Suciedad en los paneles

Como se ha venido estudiando en el documento se busca obtener la mayor captación de irradiancia solar, dentro de los factores que afectan negativamente la eficiencia del panel es la acumulación del polvo depositado sobre los mismos[10]. Existen varios estudios en los cuales se ha podido evidenciar que en lugares desérticos las pérdidas ocasionadas por el polvo llegan a ser demasiado altas de hasta un 40% de la producción energética[23][24] a diferencia de un entorno urbano que en promedio llega a ser de un 8%[10].

Por lo expuesto con anterioridad se determina que la acumulación de polvo afecta considerablemente a la transmitancia provocando que la irradiancia que ingresa al panel sea menor entre más sucio se encuentre, una forma práctica para calcular la eficiencia del mismo se la determina con valores experimentales que viene dada por la relación de la irradiancia del panel sucio sobre la irradiancia cuando el panel se encuentra limpio[10].

$$T = \frac{G_{sucio}}{G_{limpio}} * 100 \quad (3)$$

Donde:

T = Transmitancia.

G<sub>sucio</sub>= Irradiancia en condiciones de suciedad.

G<sub>limpio</sub>= Irradiancia en condiciones de limpieza.

Cabe mencionar que la cuantificación de la cantidad de suciedad o polvo depositada en el panel fotovoltaico resulta muy complicado determinarlo con exactitud porque cada ubicación geográfica tiene diferentes condiciones climáticas[13]. Para nuestro caso de estudio se encuentra en un área urbana determinaremos la eficiencia dividiéndolo en cuatro grupos como lo detallamos en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de suciedad

| NIVEL DE SUCIEDAD | EFICIENCIA |
|-------------------|------------|
| Sin suciedad      | 100%       |
| Suciedad baja     | 98%        |
| Suciedad media    | 97%        |
| Suciedad alta     | 92%        |

### 2.2.1 Rocío como factor de limpieza

El rocío como ya lo hemos detallado es las gotitas producidas por la condensación de la humedad, en entornos urbanos ayuda a limpiar el panel sin embargo no es suficiente para la limpieza en su totalidad, las gotitas de agua que se forman al secarse dejan la marca circular del agua dejando de cierta manera sucio el panel, pero este factor no afecta a corto plazo como lo podemos observar en la figura 4.

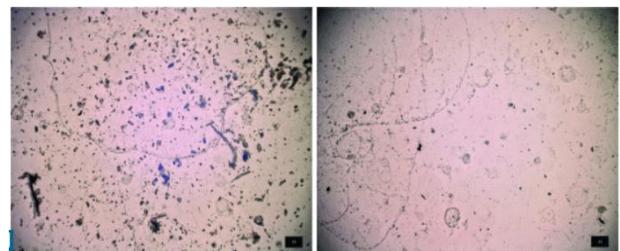


Figura 4. Microscopía secado rocío [15].

En lugares donde no existe abundante polvo el rocío brinda el fenómeno de autolimpieza, pero en lugares desérticos donde la acumulación de polvo es abundante es un factor perjudicial ya

que al momento de crear las gotas de agua y la deposición del polvo sobre el panel este se mezcla con el polvo generando una capa de lodo que al secarse se solidifica impidiendo que la radiación incida sobre el panel[16][25].

### 2.3 Irradiancia

La irradiancia solar es la potencia de la radiación proveniente del sol que incide en el plano por cada metro cuadrado ( $m^2$ ) sus unidades de medida en el sistema internacional son ( $W/m^2$ ), Es de suma importancia para sistemas fotovoltaicos en la etapa de diseño logrando estimar la potencia que puede entregar el parque solar o en parques solares ya instalados para el monitoreo de eficiencia y rendimiento del mismo [20][26].

En varios documentos que se centran en el estudio del impacto de la irradiancia sobre los paneles fotovoltaicos y en este trabajo se lo denomina con las letras  $I_t$ , que es la suma de la irradiancia directa ( $I\beta b$ ) más la irradiancia difusa ( $I\beta d$ ) y más la irradiancia reflejada ( $I\beta \rho$ ), como se muestra en la ecuación (3) [20][26][27].

$$I_t = I\beta b + I\beta d + I\beta \rho \quad (4)$$

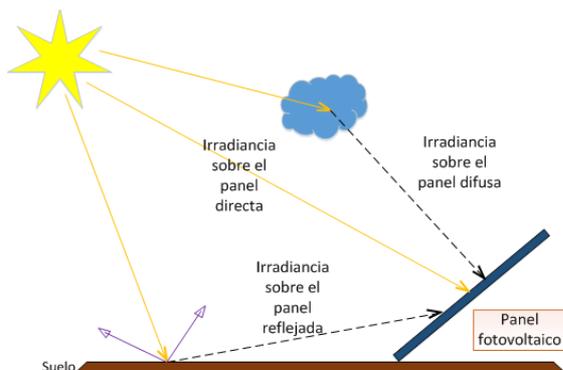


Figura 5. Tipos de irradiancia sobre el Panel.

#### 2.3.1 Irradiancia Directa ( $I\beta b$ )

Es la cantidad de radiación que proviene del sol en forma recta es decir, no tiene desviación ni un cuerpo sólido que impida o desvíe su camino en esta trayectoria [10].

#### 2.3.2 Irradiancia Difusa ( $I\beta d$ )

Es también conocida como radiación indirecta representa la irradiancia no llega de manera directa ya que después de pasar la atmosfera y nubes hace que la irradiancia se disperse en

[26] determina que la irradiancia indirecta en días que no existe una cantidad de nubes alta representa el 15% de la irradiancia global pero en días que son sombríos aumenta considerablemente[27].

#### 2.3.3 Irradiancia Reflejada ( $I\beta \rho$ )

Es la cantidad de radiación que se refleja en el suelo este componente es pequeño, para algunos cálculos se lo desprecia. Al coeficiente de reflexión se denomina albedo el cual varía dependiendo de las características reflectivas del suelo y de los materiales que lo rodean tomando valor de 1 para superficies que son completamente reflectivas, 0.8 para superficies donde exista nieve, 0.1 en superficies que el color sea opaco u oscuro y 0.2 en superficies que contengan vegetación o hierba el cual es el caso de estudio por lo que los paneles fotovoltaicos de estudio se sitúan en un lugar donde existe vegetación[26].

Tabla 2. Reflectancia en distintos ambientes.

| TIPO DE SUPERFICIE | REFLECTANCIA |
|--------------------|--------------|
| Nieve              | 0.87         |
| Arena seca         | 0.18         |
| Arena húmeda       | 0.09         |
| Bosque             | 0.05         |
| Concreto nuevo     | 0.33         |
| Hormigón viejo     | 0.23         |

#### 2.3.4 Inclinación del panel fotovoltaico( $\beta$ )

En Ecuador como lo hemos mencionado tiene una gran captación del recurso solar, varios documentos se han dedicado a la investigación sobre el ángulo óptimo todos llegando a la misma conclusión de no necesitar inclinación pero por tema de limpieza si resulta conveniente que tenga una pendiente de caída como lo dice en [28]. En [29] se realiza el estudio en Argentina la ciudad de San Juan y en Ecuador específicamente. En Ecuador en la ciudad de Ibarra se realizaron pruebas a  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ , y  $15^\circ$  concluyendo que en Ecuador el ángulo óptimo de inclinación debe ser lo más cercano a  $0^\circ$ . En esta investigación es necesario que el estudio sea en Ecuador en la ciudad de Quito en la Universidad Politécnica

salesiana campus sur, pero tomaremos en cuenta las recomendaciones de los estudios realizados anteriormente para evitar generar datos extensos e innecesarios, la representación de este ángulo es conocido como  $\beta$ .

Para poder conseguir un  $\beta$  adecuado debemos considerar la ubicación geográfica es por esto que la siguiente ecuación es a base de datos estadísticos de radiación anual en distintos sitios y distintos ángulos de inclinación.[30]

$$\beta_{op} = 3.7 + 0.69 * |\phi| \quad (5)$$

Donde:

$\beta_{op}$  = ángulo adecuado de inclinación(grados).  
 $|\phi|$  = latitud del lugar, sin signo en grados.

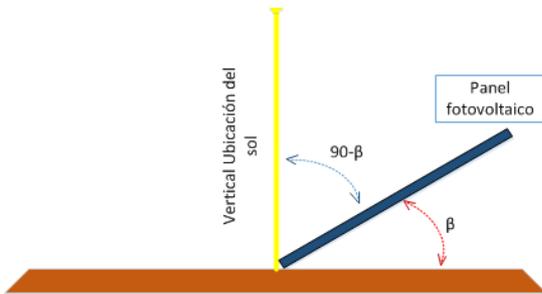


Figura 6. Inclinación del Pv .

### 3. MODELO SOLAR LIU Y JORDAN

La energía solar ha demostrado en los últimos años un incremento considerable pero para lo cual resulta prioritario poder calcular la radiación solar que incide sobre dicho panel y así poder determinar la potencia resultante que entregará el sistema fotovoltaico es por eso que se han estudiado varios modelos solares en diversos documentos pero para este caso el modelo de Liu & Jordán fue considerado el correcto porque permite una aproximación bastante real con pocas variables manteniendo un margen de error muy pequeño en comparación con la medición en campo[31]. Sin embargo, se debe conocer el ángulo de inclinación correcto, en el documento se presenta la variación necesaria para determinarlo cabe recalcar que Ecuador tiene gran posibilidad de generación solar por su situación geográfica los paneles se pueden colocar con una inclinación de 0° pero resulta

desfavorable ya que al no tener un ángulo de inclinación se presta para que la suciedad se deposite sobre ellos necesitando un plan de mantenimiento más frecuente y de no hacerlo perdería eficiencia por perdida de transmitancia por la suciedad depositada[28].

La inclinación y orientación se debe considerar como una de las partes primordiales ya que esta determina la cantidad de irradiación que puede captar el panel, dentro de este modelo solar permite mediante coeficientes de corrección determinar la irradiancia global sobre una superficie inclinada, ya que todos las bases de datos disponibles entregan información sobre una superficie horizontal [28].

La suma de las tres irradiancias como se las ha descrito anteriormente son para superficies de incidencia horizontal, para el caso es necesario estudiar factores de corrección para una superficie inclinada descrito en la ecuación 4 basado en el modelo de Liu & Jordan.[4][6]

$$I_t = I_b * R_b + I_d * R_d + I_p * R_r \quad (6)$$

Donde:

$I_t$  = Es la irradiancia total sobre el panel fotovoltaico  
 $I_b$  = Es la irradiancia directa horizontal  
 $I_d$  = Es la irradiancia difusa horizontal  
 $I_p$  = Es la irradiancia reflejada horizontal  
 $R_d$  = Componente geométrico para irradiancia difusa.  
 $R_b$  = Componente de conversión para la radiación directa sobre una superficie horizontal

#### 3.1 Factor de conversión geométrico de irradiancia directa (Rb)

Antes que nada explicaremos que este como los demás factores de conversión geométrico no es más que la relación que existe entre las irradiancias sobre la superficie inclinada y la superficie horizontal[32]. El factor geométrico de la irradiancia directa sobre una superficie inclinada se la puede establecer como:[5]

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (7)$$

Donde:

$R_b$  = Factor de conversión geométrico de irradiancia directa.  
 $\cos(\theta)$  = Angulo de incidencia horizontal.  
 $\cos(\theta_z)$  = Angulo cenital.

El ángulo de incidencia sobre la superficie depende de varios factores como se lo describe en la ecuación 6.

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * \cos(\beta) - \\ & \text{sen}(\delta) * \cos(\phi) * \text{sen}(\beta) * \cos(\gamma) + \\ & \cos(\delta) * \cos(\phi) * \cos(\beta) * \cos(\omega) + \\ & \cos(\delta) * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\beta) * \cos(\gamma) * \\ & \cos(\omega) + \cos(\delta) * \text{sen}(\beta) * \text{sen}(\gamma) * \\ & \text{sen}(\omega) \end{aligned} \quad (8)$$

Donde, como ya se lo ha descrito anteriormente cada uno de sus componentes son:  $\delta$  la declinación solar,  $\phi$  latitud,  $\beta$  ángulo de inclinación del panel,  $\gamma$  ángulo de orientación o azimut y  $\omega$  es el ángulo horario. Bajo este supuesto para el ángulo cenital consideraremos que la orientación ( $\gamma$ ) y la inclinación ( $\beta$ ) es de  $0^\circ$ . [33]

$$\begin{aligned} \cos(\theta_z) = & \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) * \\ & \cos(\phi) * \cos(\omega) . \end{aligned} \quad (9)$$

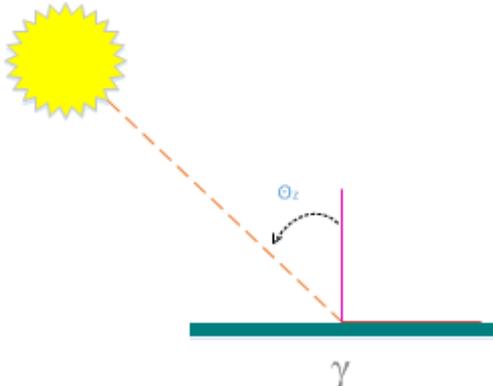


Figura 7. Ángulo cenital.

### 3.2 Factor de conversión geométrico de irradiancia difusa (Rd)

Este factor es una parte de la radiación difusa de la superficie horizontal sobre el panel inclinado [4].

$$Rd = \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (10)$$

### 3.3 Factor de conversión para la irradiancia reflejada (Rr)

Este factor asume que la radiación directa y difusa son reflejadas en el suelo de manera isotrópica, es decir que la irradiancia reflejada en el suelo afectará al panel fotovoltaico y se

lo puede determinar con la siguiente ecuación: [5] [22] .

$$Rr = \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (11)$$

Una vez descompuesto los factores geométricos para corrección de la superficie inclinada nuestro modelo matemático de Liu & Jordan queda de la siguiente manera:

$$It = Ib * \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} + Id * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + Ip * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (12)$$

## 4. MODELACIÓN MATEMÁTICA

### Seudocódigo de optimización

#### Paso 1:

Inicio

Variables: lat, long, idirec, idif, iref, alb

#### Paso 2:

Imprimir "Ingrese latitud (lat)"

Leer lat

Imprimir "Ingrese longitud (long)"

Leer long

Imprimir "Ingrese irradiancia directa (idirec)"

Leer idirec

Imprimir "Ingrese irradiancia difusa (idif)"

Leer idif

Imprimir "Ingrese irradiancia reflejada (iref)"

Leer iref

Imprimir "Ingrese albedo (alb)"

Leer alb

#### Paso 3:

Calcular Rb con [  $\delta = 0: 365; \beta_{op} =$

$0: 90; \gamma_{op} = 0: 360; \omega = -180: 180$  ]

Si  $\beta_{op} > 10^\circ$

Calcular Rd con [  $\beta = \beta_{op}$  ]

Calcular Rr con [  $\beta = \beta_{op}$  ]

Caso contrario

Calcular Rd con [  $\beta \geq 10^\circ$  ]

Calcular Rr con [  $\beta \geq 10^\circ$  ]

Calcular  $I_{top} = idirec * Rb + idif * Rd + iref * Rr * alb$

#### Paso 4:

Calculo  $E_e = I_{top} * T$

Si  $\beta < 10^\circ; T_{eff} = 92\%$

Caso contrario

Si  $10^\circ > \beta < 25^\circ; T_{eff} = 97\%$

Caso contrario  
 Si  $25^\circ > \beta \leq 90^\circ$ ;  $T_{eff}=98\%$   
 $E_{eop}$  si  $\beta \geq 10^\circ$

**Paso 5:**

$$I_{sop} = I_{sc,ref} * \frac{I_{top}}{1000} * (1 + \alpha I_{sc}(T_c - T_o))$$

$$I_{mpop} = I_{mp,ref} * \frac{I_{sop}}{I_{sc,ref}}$$

**Paso 6:**

$$V_{ocop} = V_{oc,ref} + s * \Delta T_c * \ln(E_{eop}) + \beta_{oc}(T_c - T_o)$$

$$V_{mpop} = V_{mp,ref} * \frac{V_{ocop}}{V_{oc,ref}}$$

**Paso 7:**

$$P_{Dcop} = V_{mpop} * I_{mpop}$$

**Paso 8:**

**fin**

Todos los parámetros necesarios de nuestro modelo solar partiremos a modelar y determinar el punto óptimo de potencia de los paneles fotovoltaicos para este caso de estudio se centra en Ecuador-Quito específicamente en la universidad politécnica salesiana campus sur la cual tiene instalado 10 paneles como se lo muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Paneles fotovoltaicos UPS campus sur.

Se parte con la cantidad de irradiancia que incide sobre el arreglo fotovoltaico en la cual se unen las ecuaciones (12) y (3) para obtener un valor de irradiancia efectiva en la que se encuentre relacionada la acumulación de

polvo o suciedad quedando la siguiente ecuación.

$$E_e = \left[ I_b * \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} + I_d * \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I_p * \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \right] * T \quad (13)$$

Una vez obtenido estos valores de irradiancia la temperatura del emplazamiento juega un papel fundamental para la determinación de la potencia máxima de generación eléctrica va ir variando en cuanto a la cantidad de radiación solar y temperatura del panel[27] para lo expuesto es necesario utilizar las siguientes ecuaciones donde con ayuda de la hoja técnica del panel[19] y condiciones del emplazamiento se determina el punto de máxima potencia de acuerdo a las condiciones climáticas en nuestro punto de estudio.

$$I_{sc} = I_{sc,ref} * \frac{I_t}{1000} * (1 + \alpha I_{sc}(T_c - T_o)) \quad (14)$$

Donde:

- $I_{sc}$  = Corriente de cortocircuito real
- $I_{sc,ref}$  = Corriente de cortocircuito en datasheet
- $I_t$  = Irradiancia sobre el plano inclinado
- $\alpha I_{sc}$  = Coeficiente de cortocircuito
- $T_c$  = Temperatura de la celda.
- $T_o$  = Temperatura bajo condiciones estándar

Cuando ya obtenemos la corriente de cortocircuito real, se calcula la corriente de máxima potencia dada por la siguiente ecuación.

$$I_{mp} = I_{mp,ref} * \frac{I_{sc}}{I_{sc,ref}} \quad (15)$$

Donde:

- $I_{mp,ref}$  = Corriente de máxima potencia de referencia

Después, es necesario calcular el valor de voltaje en circuito abierto se la debe calcular como:

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + s * \Delta T_c * \ln(E_e) + \beta_{oc}(T_c - T_o) \quad (16)$$

Donde:

$V_{oc,ref}$  = Voltaje de circuito abierto como referencia

$s$  = Cantidad de celdas del PV conectadas en serie

$\Delta T_c$  = Voltaje Térmico

Para el cálculo de  $V_{oc}$  es necesario calcular el voltaje térmico que viene dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta T_c = n * k * \frac{(T_c + 273.15)}{q} \quad (17)$$

Donde:

$n$  = Factor del diodo

$k$  = Constante de Boltzmann  $1.38066E-23$  (J/K)

$q$  = Carga elemental  $1.60218E-19$

Al igual que la corriente es necesario calcular el voltaje de máxima potencia descrito por la ecuación (18).

$$V_{mp} = V_{mp,ref} * \frac{V_{oc}}{V_{oc,ref}} \quad (18)$$

En base a las ecuaciones 15 y 17 se procede a calcular la potencia que se entregaran a la salida de las celdas fotovoltaicas definida como:

$$P_{Dc} = V_{mp} * I_{mp} \quad (19)$$

## 5. RESULTADOS

La ecuación (5) permite calcular la inclinación adecuada del panel de acuerdo con nuestra ubicación geográfica, sin embargo, se tiene que realizar un estudio más a fondo ya que en dicha ecuación no se estudian parámetros de orientación, suciedad, temperatura, etc. Una vez mencionado esto se utiliza dicha ecuación para tener una aproximación bastante buena para determinar el ángulo de inclinación adecuado.

$$\beta_{op} = 3.7 + 0.69 * 0.28339 = 3.89^\circ$$

Una vez calculado se ratifica que, para Ecuador, país que cuenta con un gran potencial solar, la inclinación óptima debe ser lo más cercana a 0. No puede colocarse el panel a 0 grados por lo que facilitaría la deposición de polvo, para el caso de estudio

se toma valores de  $0^\circ$  a  $15^\circ$  para determinar el punto de máxima potencia considerando todas las variables antes mencionadas.

Los factores geométricos de irradiancia difusa y reflejada dependen directamente del ángulo de inclinación, los valores a usar se observan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Factores geométricos de irradiancia difusa y reflejada

| Ángulo de inclinación | Rr     | Rd     |
|-----------------------|--------|--------|
| 0                     | 0      | 1      |
| 1                     | 0.0001 | 0.9999 |
| 2                     | 0.0003 | 0.9997 |
| 3                     | 0.0007 | 0.9993 |
| 4                     | 0.0012 | 0.9988 |
| 5                     | 0.0019 | 0.9981 |
| 6                     | 0.0027 | 0.9973 |
| 7                     | 0.0037 | 0.9963 |
| 8                     | 0.0049 | 0.9951 |
| 9                     | 0.0062 | 0.9938 |
| 10                    | 0.0076 | 0.9924 |
| 11                    | 0.0092 | 0.9908 |
| 12                    | 0.0109 | 0.9891 |
| 13                    | 0.0128 | 0.9872 |
| 14                    | 0.0149 | 0.9851 |
| 15                    | 0.0170 | 0.9830 |

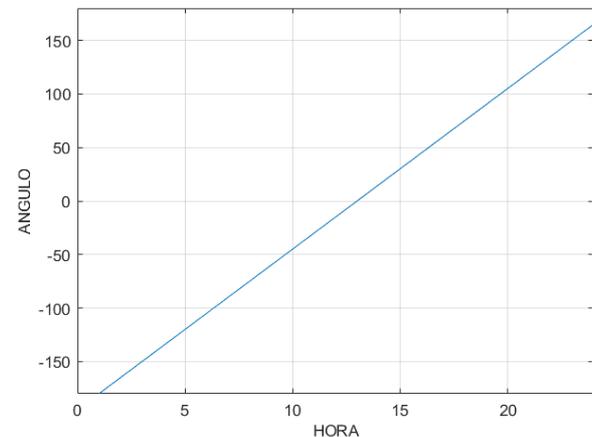


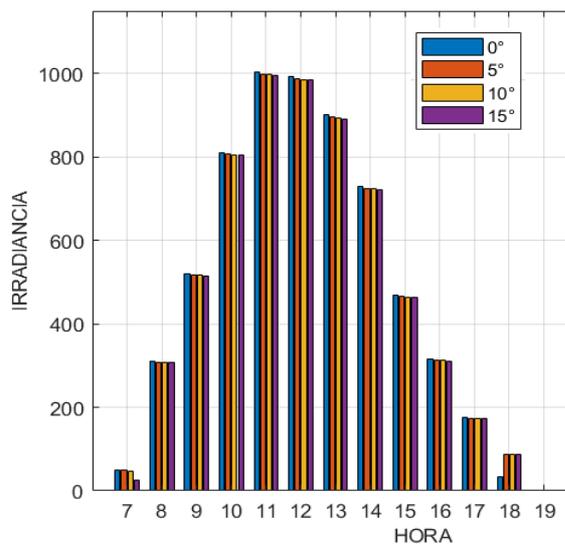
Figura 9. Variación ángulo Solar en el día

El ángulo de hora solar ( $\omega$ ) llega a tener un valor mínimo horas antes y después del medio día que en Ecuador, a esta hora la cantidad de radiación aprovechable es mayor, luego los ángulos van incrementando con signo positivo o negativo como lo muestra la figura 9, pero para nuestro modelado vamos a tomar valores desde las 7:00 hasta las 19:00, dichos valores se toman por las bases de datos solares de la Nasa y PvGis de Europa

que indican un promedio de horas que Ecuador recibe radiación solar aprovechable de 12 horas.

Otro parámetro necesario para el cálculo es la latitud y longitud, la universidad politécnica Salesiana campus sur se encuentra ubicada en la latitud  $-0.28339$  y longitud  $-78,54959$ . En cuanto al valor del albedo la Nasa proporciona valores mensuales, para determinación del punto máximo de potencia se encuentra el valor promedio de 0.19.

En base a los valores mencionados y datos proporcionado por las bases de datos ya mencionadas se obtiene el tercer factor de conversión geométrico necesario para proceder a estimar la cantidad de irradiación solar sobre el sitio de estudio, luego de obtener el valor del factor  $R_b$  se aplica la ecuación 12 con las diferentes variaciones para poder estimar la orientación e inclinación adecuada.

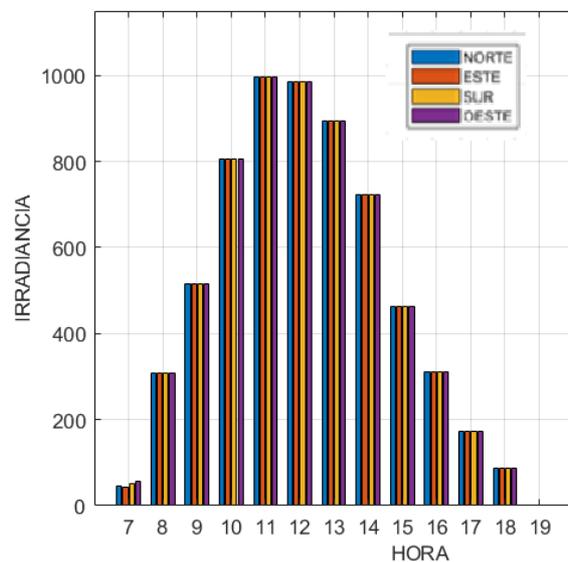


**Figura 10.** Irradiancia dependiendo la inclinación del panel fotovoltaico.

Para nuestro sitio de estudio se comienza a notar una disminución de irradiancia a los  $15^\circ$  como se muestra en la figura 10, sin embargo, se debe tener en cuenta que entre mayor sea el parque fotovoltaico serán más notables las pérdidas de irradiancia que se verá reflejado en la potencia entregada, por lo que se considera para el lugar una inclinación de  $10^\circ$  con esto se elimina la posibilidad de

depósito de partículas o agua que disminuyan la eficiencia del panel.

Otro factor de estudio para la máxima captación de irradiancia es la orientación del panel, se toma como caso de estudio los cuatro puntos cardinales norte, sur, este y oeste demostrando que en Quito-Ecuador, específicamente en el lugar de estudio son despreciables las pérdidas ocasionadas por la variación de la orientación (azimut), como se puede ver en la figura 11. En esta comparación se tomaron en cuenta la variación de la inclinación de 0 a 15 grados en los 4 puntos cardinales.



**Figura 11.** Irradiancia dependiendo la orientación del panel.

El ángulo y orientación para el caso de estudio se ha determinado de  $10^\circ$  y una orientación hacia el norte azimut de  $0^\circ$  siendo los más óptimos para nuestro emplazamiento, Con estos datos se procede a realizar el cálculo de la corriente de cortocircuito, mostrando en la figura 12 que entre mayor sea la irradiancia es mayor la corriente de cortocircuito y esto a su vez se ve reflejado en la corriente de máxima potencia ( $I_{mp}$ ), ya que en el datasheet valores de voltajes, coeficientes son probados bajo circunstancias estándar de  $1000\text{w/m}^2$  y a una temperatura de  $25^\circ$  grados centígrados, lo cual es variante para cada ubicación geográfica y estación climática .

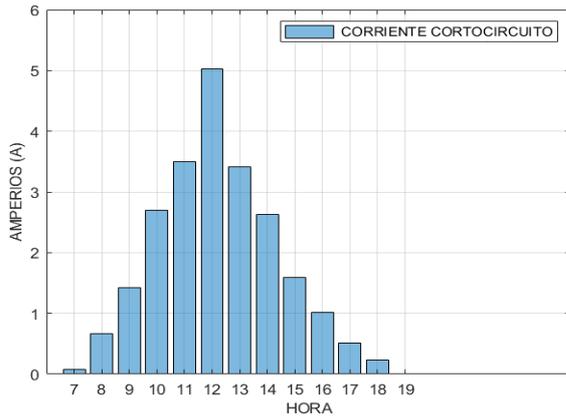


Figura 12. Corriente de cortocircuito en condiciones reales.

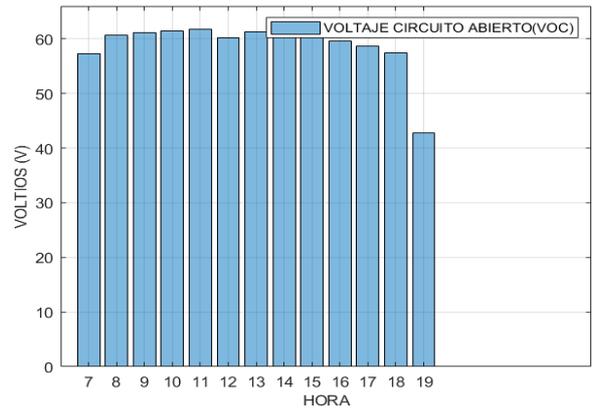


Figura 14. Voltaje en circuito abierto.

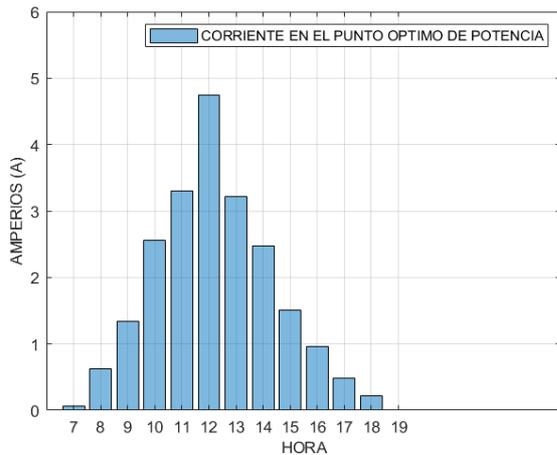


Figura 13. Corriente a máxima potencia en condiciones reales.

En la figura 14 se observa la variación del voltaje en circuito abierto en condiciones reales, se utiliza la ecuación 16 que depende de temperatura, irradiancia y suciedad depositada sobre el panel.

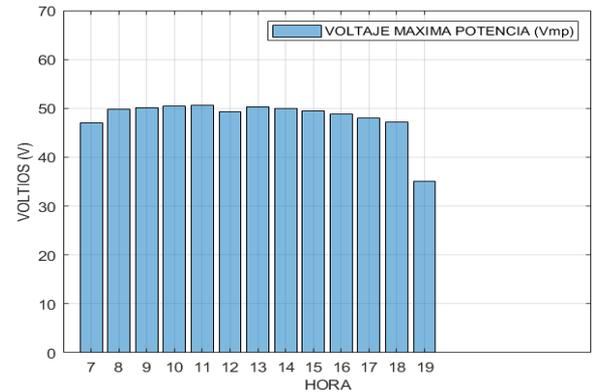


Figura 15. Voltaje en el punto de máxima potencia .

La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) y la corriente del punto máximo de potencia ( $I_{mp}$ ) son similares como se observa en las figuras 12 y 13, pero para el cálculo del punto óptimo de potencia se toma la  $I_{mp}$ . Como se lo menciono antes es necesario calcular el voltaje máximo de potencia, para el cual se calcula el voltaje en circuito abierto real el cual depende de variables como temperatura y suciedad (figura 14), para Quito la temperatura promedio se mantiene en un rango de condiciones estándar lo cual es favorable debido a que mayor temperatura su voltaje disminuye y por la inclinación propuesta de  $10^\circ$  la gravedad natural permite que cualquier partícula de polvo o suciedad caiga al piso, adicional a esto el factor de rocío que se produce en la madrugada ayuda a su limpieza mientras caen las gotas de agua por la inclinación, el emplazamiento bajo estas consideraciones tiene una eficiencia de suciedad baja del 98%.

Una vez obtenido el  $I_{mp}$  y  $V_{mp}$  se puede obtener el punto de máxima potencia que no es más que la multiplicación de los dos factores mencionados como se lo indica en la ecuación 19.

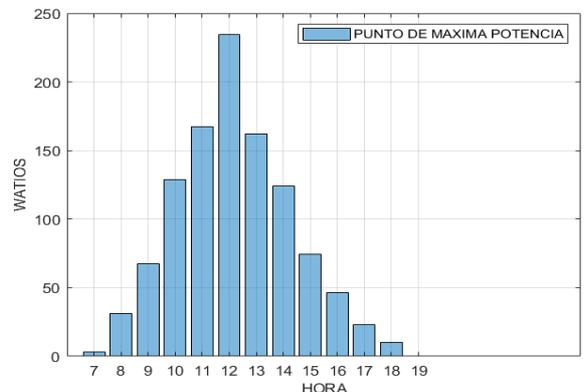


Figura 16. Punto máximo de potencia de mayor eficiencia del panel.

Una vez obtenido todos los valores requeridos tanto para el modelo de Liu & Jordan y cálculo de potencia con todas las variables que influyen considerablemente en la eficiencia del panel, se realiza la comparación de energía suministrada con los paneles instalados en la universidad politécnica salesiana. Los datos de irradiancia se toman desde las bases de datos solares antes mencionadas las cuales son para superficies horizontales de ahí la importancia del modelo de Liu & Jordan con los factores de corrección geométricos para diferentes ángulos de orientación e inclinación, adicionalmente se toman datos de energía suministrada desde el medidor de energía ubicado en el campus, datos de orientación e inclinación con la utilización de una brújula e inclinómetro, valores de temperatura proporcionados por la universidad de su base meteorológica. Una vez realizado la simulación y toma de datos se compara la instalación actual con los requerimientos óptimos.

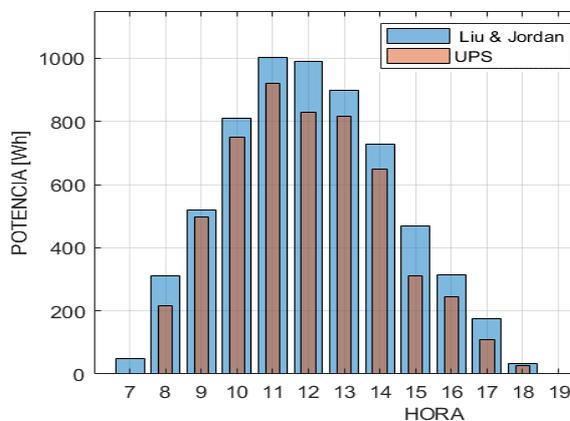


Figura 17. Comparación de energía entre el modelo solar y datos medidos.

En la figura 17 se puede observar la comparación de energía suministrada por los paneles fotovoltaicos instalados actualmente en la Universidad politécnica Salesiana campus sur y la energía luego del cálculo de condiciones óptimas basándonos en el modelo solar propuesto, es decir la cantidad de energía capaz de entregar el panel fotovoltaico aumentaría luego de hacer los ajustes necesarios en el parque fotovoltaico de estudio.

Tabla 4. Energía entregada de la UPS vs Energía luego de optimizar

| HORA  | ENERGIA            | ENERGIA                     | ENERGIA                               |
|-------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
|       | UPS<br>(Wh)<br>23° | LIU &<br>JORDAN<br>(Wh) 23° | LIU &<br>JORDAN<br>(Wh)<br>OPTIMO 10° |
| 7:00  | 0.83               | 1.23                        | 50.00                                 |
| 8:00  | 217.47             | 225.27                      | 311.52                                |
| 9:00  | 498.97             | 510.71                      | 520.15                                |
| 10:00 | 750                | 768.13                      | 811.25                                |
| 11:00 | 920.12             | 931.84                      | 1003.15                               |
| 12:00 | 830.51             | 838.68                      | 991.75                                |
| 13:00 | 816.25             | 824.91                      | 900.14                                |
| 14:00 | 648.50             | 659.10                      | 728.50                                |
| 15:00 | 312.25             | 383.04                      | 467.62                                |
| 16:00 | 246.15             | 266.10                      | 315.01                                |
| 17:00 | 108.28             | 124.69                      | 176.19                                |
| 18:00 | 27.03              | 31.23                       | 33.10                                 |
| 19:00 | 0.08               | 0.07                        | 0.08                                  |

Finalmente basándonos en la figura 17 se puede determinar la importancia de realizar una investigación con un modelo solar apropiado, se considera que Liu & Jordan es un modelo bastante aproximado a valores reales como se muestra en la tabla 4, en donde se detalla los valores obtenidos con la modelación matemática y la instalación física siendo bastante similares. Por último, luego se compara la instalación en condiciones óptimas permitiéndonos observar que se puede aprovechar una mayor cantidad de potencia. Para las condiciones óptimas, se tomaron varios grados de inclinación como lo indica la figura 10, adicionalmente se considera todos estos grados de inclinación en diferentes orientaciones como se lo indica en la figura 11.

## 6. CONCLUSIONES

Se concluye en base a los resultados, es necesario un estudio adecuado de inclinación y orientación del panel para captar la irradiancia máxima posible, por lo cual en el caso de estudio se obtiene un valor de orientación óptimo lo más cercano a 0°, en [29] y [4] también lo sugieren de esta manera, pero es necesario tomar en cuenta también la suciedad y acumulación de polvo, por este motivo se concluye que la inclinación adecuada no debe ser inferior a 10°.

La temperatura aumenta a medida que la radiación solar también lo hace, para las condiciones óptimas de potencia es favorable que la temperatura sea lo menos posible, en Quito-Ecuador se observa que la mayor cantidad de radiación solar es al medio día aumentando la temperatura a esta hora, pero se mantiene en un rango de condiciones estándar, siendo las pérdidas por temperatura bajas.

En base a los cálculos de irradiancia se demuestra que para la ubicación geográfica de Ecuador la hora más aprovechable de irradiación solar es al medio día, esto se debe a que los rayos solares caen perpendicularmente sobre el captador solar permitiendo que reciba la mayor cantidad de radiación solar y no se disperse por el emplazamiento.

El sistema fotovoltaico se debe instalar en un lugar donde no exista sombras que puedan generar sombra, así mismo se debe contemplar un plan de limpieza más periódico en lugares desérticos que zonas urbanas, estas pérdidas llegan pueden ser altas limitando considerablemente la potencia de salida.

El ángulo de hora solar ( $\omega$ ) solar para nuestro modelo solar se tomó desde las 7:00 a 19:00 que es el tiempo aproximado que recibe radiación solar aprovechable, por lo que se pudo observar que al medio día este ángulo tiende a cero, pero es el momento en el que la irradiación global sobre el panel es mayor. De lo mencionado anteriormente podemos concluir que entre menor sea el ángulo de hora solar mayor va a ser la irradiancia incidente.

En trabajos como [16] y [13] son lugares desérticos con un gran potencial solar, sin embargo el rocío es un aspecto desfavorable para lugares desérticos en los cuales dicha condensación genera que con la alta cantidad de polvo se mezcle y se termine haciendo lodo el cual ensucie el panel mermando la capacidad de potencia de salida, en estudio [15] es un emplazamiento urbano similar al de estudio en este se puede observar que al igual que Ecuador generan un efecto de autolimpiado cuando se encuentran a una

inclinación óptima que permita por gravedad caída las gotas de agua con las partículas de polvo, sin embargo es necesario tener un plan de mantenimiento para su limpieza.

## 7. TRABAJOS FUTUROS

En base a la investigación desarrollada se sugiere que se puede ampliar la investigación determinando geoméricamente las horas efectivas del emplazamiento, para nuestro caso de estudio lo tomamos de la NASA, pero calcularlo matemáticamente se podrá obtener una aproximación más real. También se sugiere ampliar la investigación con la cantidad de contaminación producida por vehículos que funcionan a base de combustibles.

## 8. REFERENCIAS

- [1] F. Li, N. Ma, J. Zhao, K. Qu, X. Yang, and Z. Chen, "Evaluating optimum tilt angle for PV modules using solar radiation models in Wuhan, China," *9th Int. Conf. Power Electron. - ECCE Asia "Green World with Power Electron. ICPE 2015-ECCE Asia*, pp. 2507–2512, 2015, doi: 10.1109/ICPE.2015.7168126.
- [2] J. Constante Segura and E. Palacios Chacón, *El Recurso Solar Para Generación De Energía*. 2014.
- [3] T. Khatib, A. Mohamed, and K. Sopian, "On the monthly optimum tilt angle of solar panel for five sites in Malaysia," *2012 IEEE Int. Power Eng. Optim. Conf. PEOCO 2012 - Conf. Proc.*, no. June, pp. 7–10, 2012, doi: 10.1109/PEOCO.2012.6230827.
- [4] Doris Adriana Alvares Lozano, "Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador," Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [5] M. J. Denegri, "Estimación de la irradiación global horaria en una superficie inclinada y con diferentes orientaciones en Luján" *J. Renew.*

- Sustain. Energy*, vol. 6, no. 5, p. 10, 2016, doi: 10.1063/1.4896956.
- [6] I. Piccioli, A. Laguarda, and G. Abal, "Transporte De Irradiación Global Horizontal a Una Superficie Inclinada: Efecto De La Separación Directa-Difusa," *XII Congr. Iberoam. Energía Sol. Madrid, España, 20-22 junio 2018*, vol. ©Asociació, pp. 785–792, 2018.
- [7] C. Cui, Y. Zou, L. Wei, and Y. Wang, "Evaluating combination models of solar irradiance on inclined surfaces and forecasting photovoltaic power generation," *IET Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 123–130, 2019, doi: 10.1049/iet-stg.2018.0110.
- [8] P. Pangnaada and S. Chaitusaney, "Estimation of solar radiation on the tilted surfaces in Songkhla, Thailand," *2016 13th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol. ECTI-CON 2016*, no. 1, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561242.
- [9] S. Kumar and V. Dave, "ANN based controller to mitigate soiling loss on solar panels," *Int. Conf. 21st Century Energy Needs - Mater. Syst. Appl. ICTFCEN 2016*, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICTFCEN.2016.8052723.
- [10] O. P. Lamigueiro, "Energía solar Fotovoltaica," *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, vol. 8, no. 3, pp. 779–781, 2001, doi: 10.1590/s0104-59702001000400018.
- [11] A. G. Haddad and R. Dhaouadi, "Modeling and analysis of PV soiling and its effect on the transmittance of solar radiation," *2018 Adv. Sci. Eng. Technol. Int. Conf. ASET 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/ICASET.2018.8376787.
- [12] N. Barth, B. Figgis, A. A. Abdallah, S. P. Aly, and S. Ahzi, "Modeling of the Influence of Dust Soiling on Photovoltaic Panels for Desert Applications the Example of the Solar Test Facility at Doha, Qatar," *Proc. 2017 Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2017*, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/IRSEC.2017.8477249.
- [13] H. Imran, Z. Maqsood, A. Ullah, and N. Z. Butt, "Effective Prediction of Transmission of Solar Irradiance through Dusty Solar Panels using Atmospheric Aerosol Data for Lahore, Pakistan," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, pp. 2889–2893, 2019, doi: 10.1109/PVSC40753.2019.8980728.
- [14] D. Dahlioui *et al.*, "Evaluation of losses in PV performances due to soiling effect in Rabat," *Proc. 2018 6th Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2018*, pp. 2–4, 2018, doi: 10.1109/IRSEC.2018.8702967.
- [15] S. Toth, M. Hannigan, M. Vance, and M. Deceglie, "Enhanced Photovoltaic Soiling in An Urban Environment," *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, pp. 2904–2907, 2019, doi: 10.1109/PVSC40753.2019.8980735.
- [16] K. Ilse, B. Figgis, M. Z. Khan, V. Naumann, and C. Hagendorf, "Dew as a Detrimental Influencing Factor for Soiling of PV Modules," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 9, no. 1, pp. 287–294, 2019, doi: 10.1109/Jphotov.2018.2882649.
- [17] M. Naser Reda, M. Spinnler, H. Al-Kayiem, and T. Sattelmayer, "Experimental investigation of temperature and condensation control of photovoltaic panels," *Proc. - 2019 6th Int. Conf. Electr. Electron. Eng. ICEEE 2019*, pp. 312–316, 2019, doi: 10.1109/ICEEE2019.2019.00067.
- [18] Y. Jiang, "Estimation of monthly mean hourly diffuse solar radiation," *WNWEC 2009 - 2009 World Non-Grid-Connected Wind Power Energy Conf.*, pp. 517–520, 2009, doi: 10.1109/WNWEC.2009.5335849.
- [19] SIMAX, "SIMAX 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-310W High salt mist and ammonia resistance Leading Warranty in PV Industry Simax 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-

- 310W.”
- [20] CONELEC Consejo Nacional de Electricidad, “Atlas Solar Del Ecuador Con Fines De Generación Eléctrica,” *Corporación para la Investig. Energética*, 2008.
- [21] L. Urdiales and J. L. Espinoza, *Energia solar en el Ecuador*, no. January. 2015.
- [22] I. Tabet, K. Touafek, N. Bellel, N. Bouarroudj, A. Khelifa, and M. Adouane, “Optimization of angle of inclination of the hybrid photovoltaic-thermal solar collector using particle swarm optimization algorithm,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 5, 2014, doi: 10.1063/1.4896956.
- [23] M. C. Rodil, J. P. Montenegro, K. Kampouropoulos, F. Andrade, and L. Romeral, “A Novel Methodology for Determination of Soiling on PV Panels by Means of Grey Box Modelling,” *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 2019-Octob, pp. 2271–2276, 2019, doi: 10.1109/IECON.2019.8927584.
- [24] A. Baras, R. K. Jones, A. Alqahtani, M. Alodan, and K. Abdullah, “Measured soiling loss and its economic impact for PV plants in central Saudi Arabia,” *2016 Saudi Arab. Smart Grid Conf. SASG 2016*, pp. 1–7, 2017, doi: 10.1109/SASG.2016.7849657.
- [25] B. L. and A. B. Samira Belihi, Dounia Dahlioui, “On the Use of Dew for Cleaning PV Panels in Morocco Literature,” vol. 6, no. 52, pp. 1–2, 2011.
- [26] S. C. Collaguazo, “Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición de variables eléctricas de paneles fotovoltaicos,” 2019.
- [27] A. Molina and F. Martinez, “Generación fotovoltaica,” p. 13, 2017.
- [28] M. A. G. Pujos, “Diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector rio blanco perteneciente a la comunidad Yatzaputzan Autor:,” no. 1, p. 43, 2017, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [29] E. J. Salazar, “paneles fotovoltaicos en parques solares,” 2019.
- [30] M. H. I. Andrés, “diseño de una instalacion fotovoltaica optimizando el angulo de inclinacion de los paneles solares,” Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil, 2015.
- [31] B. Y. H. Liu and R. C. Jordan, “The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation,” *Sol. Energy*, vol. 4, no. 3, pp. 1–19, 1960, doi: 10.1016/0038-092X(60)90062-1.
- [32] C. M. E. Rey, “guia metodologica para la implementacion de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala en colombia,” 2017.
- [33] H. C. P. Oehninger, “Análisis y sistematización de datos para el diseño de sistemas solares térmicos en Chile,” 2007.

## 8.1 Matriz de Estado Arte

Tabla 5. Matriz de estado del arte

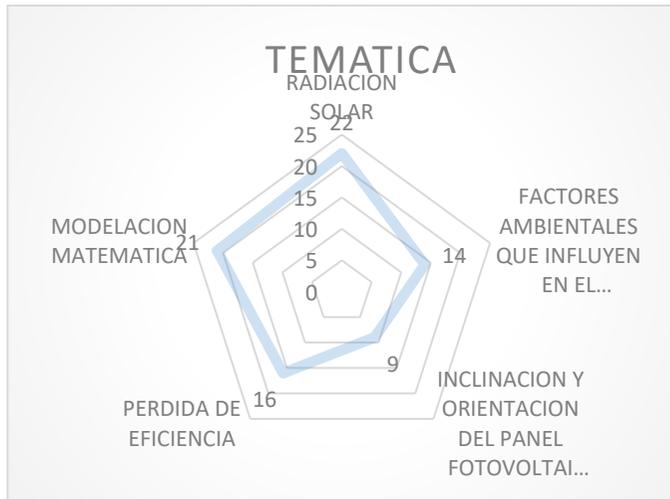
| DETERMINACION DEL PUNTO OPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN. |      |   |                 |  |  |                       |                          |                               |                                     |   |                             |                            |                      |                            |                                      |   |                                      |                              |                                   |  |  |   |
|---|------|---|-----------------|--|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
| ITEM  | AÑO  | DATOS   | TEMÁTICA        |  |  |                       | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA |                               |                                     |   | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA  |                            |                      |                            | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA |   |                                      |                              | SOLUCIÓN PROPUESTA                |  |  |   |
|   |      |   | RADIACION SOLAR | FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO | INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL FOTOVOLTAICO | PERDIDA DE EFICIENCIA | MODELACION MATEMATICA    | OPTIMIZAR LA ENERGIA GENERADA | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL | MINIMIZACION DE PERDIDAS POR FACTORES AMBIENTALES | CANTIDAD DE RADIACION SOLAR | TEMPERATURA SOBRE EL PANEL | PERDIDAS POR MISMACH | PRECISION DEL MODELO SOLAR | CAMBIO AMBIENTALES                   | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL ADE CUADA | SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO CORRECTO | LIMPIEZA PERIODICA DEL PANEL | MEDICION DE VARIABLES AMBIENTALES | ADQUISICION DE DATOS MEDIANTE COMPARACION DE PANELES | DETERMINAR LA CORRECTA INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL | ESTUDIO EN BASE AL MODELO SOLAR PARA ESTIMAR LA POTENCIA GENERADA |
| 1   | 2015 | Evaluating optimum tilt angle for PV modules using solar radiation models in Wuhan, China   | ☒               |  |  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           | ☒                          | ☒                    | ☒                          | ☒                                    | ☒   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  |   |
| 2   | 2012 | On the monthly optimum tilt angle of solar panel for five sites in Malaysia   | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           | ☒                          | ☒                    |                            | ☒                                    | ☒   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  |   |
| 3   | 2016 | Estimation of solar radiation on the tilted surfaces in Songkhla, Thailand  | ☒               | ☒  |  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           | ☒                          | ☒                    | ☒                          | ☒                                    | ☒   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  |   |
| 4   | 2019 | Evaluating combination models of solar irradiance on inclined surfaces and forecasting photovoltaic power generation  | ☒               | ☒  |  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           |                            |                      |                            | ☒                                    | ☒   |                                      | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  |   |
| 5   | 2009 | Estimation of monthly mean hourly diffuse solar radiation   | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           |                            | ☒                    | ☒                          | ☒                                    |   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  |   |
| 6   | 2010 | SIMAX 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-310W High salt mist and ammonia resistance Leading Warranty in PV Industry SIMAX 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-310W | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           | ☒                          | ☒                    | ☒                          | ☒                                    | ☒   |                                      | ☒                            |                                   | ☒  | ☒  |   |

## DETERMINACION DEL PUNTO OPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.

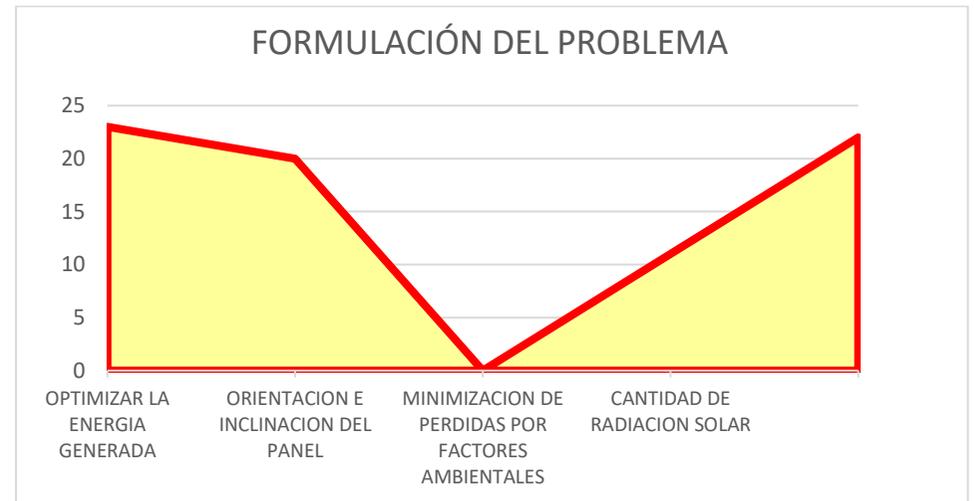
| ITEM | DATOS |  | TEMÁTICA        |  |  |                       | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA |                               |                                     |   | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA  |                            |                       |                            | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA |   |                                      |                              | SOLUCIÓN PROPUESTA                |  |  |   |                                  |
|------|-------|--|-----------------|--|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|----------------------------------|
|      | AÑO   | DETERMINACION DEL PUNTO OPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.              | RADIACION SOLAR | FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO | INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL FOTOVOLTAICO | PERDIDA DE EFICIENCIA | MODELACION MATEMATICA    | OPTIMIZAR LA ENERGIA GENERADA | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL | MINIMIZACION DE PERDIDAS POR FACTORES AMBIENTALES | CANTIDAD DE RADIACION SOLAR | TEMPERATURA SOBRE EL PANEL | PERDIDAS POR MISTMACH | PRECISION DEL MODELO SOLAR | CAMBIOS AMBIENTALES                  | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL ADE CUADA | SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO CORRECTO | LIMPIEZA PERIODICA DEL PANEL | MEDICION DE VARIABLES AMBIENTALES | ADQUISISION DE DATOS MEDIANTE COMPARACION DE PANELES | DETERMINAR LA CORRECTA INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL | ESTUDIO EN BASE AL MODELO SOLAR PARA ESTIMAR LA POTENCIA GENERADA | FRECUENCIA DE LIMPIEZA DEL PANEL |
| 8    | 2001  | Energá Solar Fotovoltaica  | ☒               |  |  | ☒                     | ☒                        |                               |                                     |   | ☒                           | ☒                          |                       |                            |                                      | ☒   | ☒                                    |                              | ☒                                 |  | ☒  |   | ☒                                |
| 9    | 2018  | Modeling and analysis of PV soiling and its effect on the transmittance of solar radiation   | ☒               |  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   |   | ☒                           | ☒                          | ☒                     |                            | ☒                                    | ☒   | ☒                                    |                              |                                   | ☒  | ☒  | ☒   |                                  |
| 10   | 2018  | Modeling of the Influence of Dust Soiling on Photovoltaic Panels for Desert Applications the Example of the Solar Test Facility at Doha, Qatar | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           | ☒                          | ☒                     |                            | ☒                                    | ☒   | ☒                                    | ☒                            |                                   | ☒  |  | ☒   | ☒                                |
| 11   | 2019  | Effective Prediction of Transmission of Solar Irradiance through Dusty Solar Panels using Atmospheric Aerosol Data for Lahore, Pakistan        | ☒               | ☒  | ☒  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   |   | ☒                           | ☒                          | ☒                     | ☒                          | ☒                                    | ☒   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  | ☒   | ☒                                |
| 12   | 2018  | Evaluation of losses in PV performances due to soiling effect in Rabat   | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        |                               | ☒                                   |   | ☒                           |                            | ☒                     |                            | ☒                                    |   | ☒                                    |                              | ☒                                 |  | ☒  |   |                                  |
| 13   | 2019  | Enhanced Photovoltaic Soiling in An Urban Environment  | ☒               | ☒  | ☒  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   |   | ☒                           | ☒                          | ☒                     |                            | ☒                                    | ☒   | ☒                                    |                              |                                   | ☒  | ☒  | ☒   |                                  |
| 14   | 2019  | Dew as a Detrimental Influencing Factor for Soiling of PV Modules  | ☒               | ☒  |  |                       | ☒                        | ☒                             | ☒                                   | ☒   | ☒                           |                            |                       |                            |                                      | ☒   | ☒                                    | ☒                            | ☒                                 | ☒  | ☒  | ☒   | ☒                                |
| 15   | 2019  | Experimental investigation of temperature and condensation control of photovoltaic panels  | ☒               | ☒  |  | ☒                     | ☒                        | ☒                             | ☒                                   |   | ☒                           | ☒                          | ☒                     | ☒                          | ☒                                    | ☒   | ☒                                    |                              | ☒                                 | ☒  | ☒  | ☒   | ☒                                |

**DETERMINACION DEL PUNTO OPTIMO DE POTENCIA DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN BASE A VARIABLES DIFUSAS MEDIANTE EL MODELO DE LIU JORDAN.**

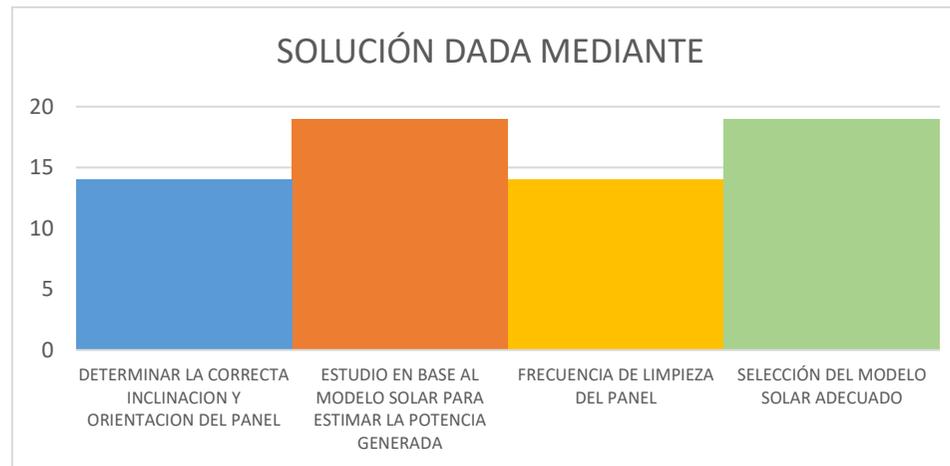
| ITEM | AÑO  | DATOS   | TEMÁTICA        |  |  |                       | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA |                               |                                     |   | RESTRICCIONES DEL PROBLEMA  |                            |                       |                            | PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA |   |                                      |                              | SOLUCIÓN PROPUESTA                |  |  |   |
|------|------|---|-----------------|--|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|
|      |      |   | RADIACION SOLAR | FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO | INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL FOTOVOLTAICO | PERDIDA DE EFICIENCIA | MODELACION MATEMATICA    | OPTIMIZAR LA ENERGIA GENERADA | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL | MINIMIZACION DE PERDIDAS POR FACTORES AMBIENTALES | CANTIDAD DE RADIACION SOLAR | TEMPERATURA SOBRE EL PANEL | PERDIDAS POR MISTMACH | PRECISION DEL MODELO SOLAR | CAMBIOS AMBIENTALES                  | ORIENTACION E INCLINACION DEL PANEL ADE CUADA | SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO CORRECTO | LIMPIEZA PERIODICA DEL PANEL | MEDICION DE VARIABLES AMBIENTALES | ADQUISICION DE DATOS MEDIANTE COMPARACION DE PANELES | DETERMINAR LA CORRECTA INCLINACION Y ORIENTACION DEL PANEL | ESTUDIO EN BASE AL MODELO SOLAR PARA ESTIMAR LA POTENCIA GENERADA |
| 17   | 2015 | Energía solar en el Ecuador   |                 |  |  | ☒                     |                          |                               |                                     | ☒   |                             |                            | ☒                     |                            |                                      |   |                                      | ☒                            |                                   |  | ☒  | ☒   |
| 18   | 2014 | El Recurso Solar Para Generación De Energía   |                 |  | ☒  | ☒                     |                          |                               |                                     | ☒   |                             |                            |                       |                            | ☒                                    |   | ☒                                    |                              |                                   |  |  | ☒   |
| 19   | 2017 | Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador | ☒               |  | ☒  | ☒                     |                          | ☒                             | ☒                                   |   |                             | ☒                          | ☒                     |                            |                                      | ☒   | ☒                                    |                              |                                   |  |  | ☒   |
| 20   | 2014 | Optimization of angle of inclination of the hybrid photovoltaic-thermal solar collector using particle swarm optimization algorithm                       |                 | ☒  | ☒  | ☒                     |                          | ☒                             | ☒                                   | ☒   |                             | ☒                          |                       |                            | ☒                                    | ☒   |                                      |                              |                                   |  | ☒  |   |
| 21   | 2019 | A Novel Methodology for Determination of Soiling on PV Panels by Means of Grey Box Modelling  |                 |  |  | ☒                     |                          | ☒                             | ☒                                   |   | ☒                           |                            |                       |                            |                                      |   | ☒                                    |                              | ☒                                 |  |  |   |
| 22   | 2016 | Measured soiling loss and its economic impact for PV plants in central Saudi Arabia   | ☒               |  | ☒  |                       |                          | ☒                             | ☒                                   | ☒   |                             | ☒                          |                       |                            |                                      | ☒   |                                      |                              |                                   |  |  | ☒   |
| 23   | 2011 | On the Use of Dew for Cleaning PV Panels in Morocco Literature  | ☒               |  |  |                       |                          | ☒                             |                                     |   |                             | ☒                          |                       |                            |                                      |   | ☒                                    |                              |                                   |  | ☒  | ☒   |
| 24   | 2019 | Estimación de irradiancia solar basada en modelos matemáticos y medición de variables eléctricas de paneles fotovoltaicos                                 | ☒               |  | ☒  | ☒                     |                          | ☒                             |                                     |   |                             | ☒                          |                       |                            |                                      |   | ☒                                    | ☒                            |                                   |  | ☒  | ☒   |



**Figura 18.** Resumen e indicadores del estado del arte



**Figura 19.** Resumen de formulación del problema



**Figura 20.** Gráfico de soluciones

