

# recimundo

Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento

**DOI:** 10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231

**URL:** <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/1521>

**EDITORIAL:** Saberes del Conocimiento

**REVISTA:** RECIMUNDO

**ISSN:** 2588-073X

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Artículo de Investigación

**CÓDIGO UNESCO:** 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas

**PAGINAS:** 225-231



## Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil

Two-axis solar tracker whose position is calculated using the angles elevation and Azimuth of the sun in Guayaquil

Seguidor solar de dois eixos cuja posição é calculada usando os ângulos de elevação e azimute do sol em Guayaquil

**Francisco Ruperto Riccio Anastacio<sup>1</sup>**

**RECIBIDO:** 15/11/2021 **ACEPTADO:** 05/12/2021 **PUBLICADO:** 30/01/2022

1. Master Universitario en Tecnología de los Sistemas Energía Solar Fotovoltaica; Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones; Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador; francisco.riccioa@ug.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-1487-1379>

### **CORRESPONDENCIA**

**Francisco Ruperto Riccio Anastacio**

francisco.riccioa@ug.edu.ec

**Guayaquil, Ecuador**

## **RESUMEN**

La presente investigación propone una alternativa al uso de seguidores solares basados en la búsqueda del punto de máxima potencia, mediante la implementación de algún algoritmo de búsqueda y que corrige la posición del panel solar de manera activa. Se propone usar un seguidor que cambie su posición basada en el uso del azimut y el ángulo de elevación solar, por lo tanto, no contará con un sistema que haga la corrección de su posición de manera automática, sino que su posición cambiará de manera predefinida a lo largo del día mediante el cálculo de la posición del Sol.

**Palabras clave:** Seguidor solar, azimut, elevación solar, algoritmo.

## **ABSTRACT**

The present research proposes an alternative to the use of solar trackers based on the search for the point of maximum power, through the implementation of a search algorithm that actively corrects the position of the solar panel. It is proposed to use a tracker that changes its position based on the use of azimuth and solar elevation angle, therefore, it will not have a system that performs the correction of its position automatically, but its position will change by default throughout of the day by calculating the position of the sun.

**Keywords:** Solar tracker, azimuth, solar elevation, algorithm.

## **RESUMO**

A presente pesquisa propõe uma alternativa ao uso de rastreadores solares baseado na busca do ponto de máxima potência, através da implementação de um algoritmo de busca que corrige ativamente a posição do painel solar. Propõe-se o uso de um rastreador que altera sua posição com base no uso do azimute e ângulo de elevação solar, portanto, não terá um sistema que realize a correção de sua posição automaticamente, mas sua posição mudará por padrão ao longo do dia calcular a posição do sol.

**Palavras-chave:** Rastreador solar, azimute, elevação solar, algoritmo.

## **1. Introducción**

La energía es un factor fundamental para nuestra sociedad y estilo de vida, su consumo crece conforme aumenta la población el consumo masivo de dispositivos eléctricos y electrónicos, por lo tanto, se vuelve necesario generar energía de manera eficiente y con el menor impacto al medio ambiente. El sector energético es uno de los que más contribuye al cambio climático, y representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (UNIDAS, 2017).

La generación de energía tradicionalmente es centralizada, con grandes centros de generación alejados de los centros de consumo. Ahora el nuevo enfoque es la generación distribuida, la cual se basa en generar energía eléctrica en pequeña escala, en lugares lo más próximos a los centros de consumo. Esta micro generación se puede conseguir por medio de energías renovables como la solar fotovoltaica (Loor Cruz & Narváez Sánchez, 2017).

El ángulo de azimut y el ángulo de elevación al mediodía solar son los dos ángulos clave que se utilizan para orientar los módulos fotovoltaicos. Estos ángulos se calculan utilizando lo que se denomina "tiempo solar", para el cálculo de la posición del sol, primero se encuentra la hora solar local y luego se calculan los ángulos de elevación y azimut (Palacios & Morales, 2017).

Como se mencionó, lo que se busca es que los rayos solares incidan de manera perpendicular a la superficie del panel en todo momento, pero de acuerdo con Michalsky (1988) puede existir una variación de 5° respecto a los rayos solares y la normal que se forma con la superficie del panel ya que su salida estará dentro del 0.4% de la respuesta máxima al componente de la radiación directa.

Este trabajo propone usar un seguidor que cambie su posición basada en el uso del azimut y el ángulo de elevación solar, por lo

tanto, no contará con un sistema que haga la corrección de su posición de manera automática, sino que su posición cambiará de manera predefinida a lo largo del día mediante el cálculo de la posición del sol usando The Astronomical Almanac's Algorithm for Approximate Solar Position (1950-2050) (Michalsky, 1988).

## **2. Marco teórico**

### **Seguidores solares**

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico capaz de buscar la posición del Sol en cualquier momento del día, siguiendo al Sol desde el este hasta el oeste (Martínez, 2006). Los seguidores funcionan por medio de motores que mueven la estructura donde se encuentran instalados los paneles solares, siempre procurando que los rayos solares incidan de manera perpendicular a la superficie del panel.

Los seguidores solares se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de movimiento que hagan (Machado, Lussón, & Leysdian, 2015):

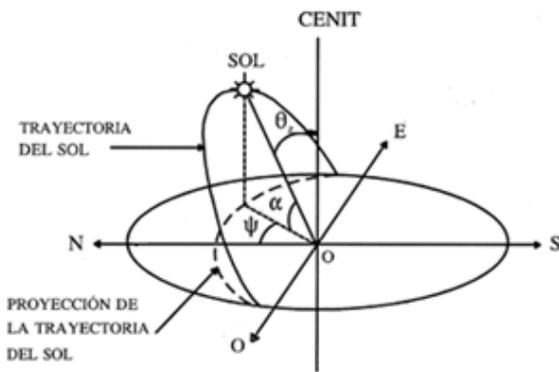
Seguidores a un eje: presentan un grado de libertad en su movimiento. La rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, este puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Esto lo limita ya que no puede realizar un seguimiento completo del Sol ya que solo puede seguir ya sea el azimut o la altura solar, pero no ambas.

Seguidores a dos ejes: poseen dos grados de libertad, capaces de hacer un seguimiento solar más preciso. Este tipo de seguidor está en capacidad de realizar un seguimiento total del Sol, tanto en altura como en azimut y es normal que este tipo de seguidor sea superior en comparación con los de un solo eje.

### **Posición relativa sol-superficie horizontal**

Para conocer la posición del sol en el cielo en cualquier momento se utilizan principalmente dos ángulos conocidos como azimut

y altura solar, también la posición geográfica exacta y el tiempo solar. La elevación solar ( $\alpha$ ) se define como el ángulo, en un plano vertical, entre los rayos del sol y la proyección de éstos sobre un plano horizontal. El azimut ( $\psi$ ) es el ángulo, medido en el plano horizontal, que forman la proyección de los rayos del sol en este plano con el norte ( $0^\circ$ ) medido en sentido horario. Otros ángulos que también se utilizan, y que están relacionados con estos son: El ángulo cenital ( $\theta_z$ ), es el ángulo entre los rayos del sol y una línea perpendicular al plano horizontal (Vasar, 2019).



**Imagen 1.** Ángulos de posicionamiento respecto al Sol.

**Fuente:** AjpdSoft

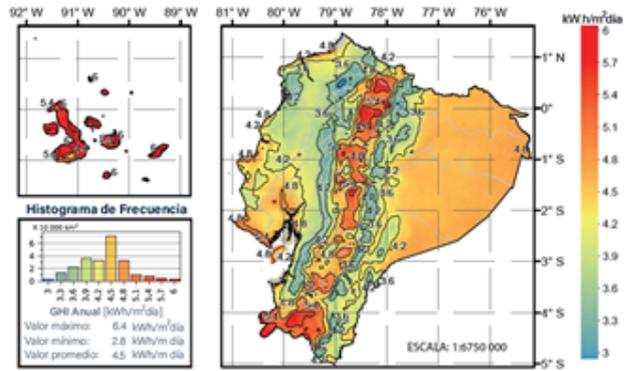
### Radiación solar

La radiación solar que llega a la Tierra no se distribuye de manera homogénea sobre la superficie, esta varía con la posición geográfica, la época del año y la hora del día. El total de radiación procedente del Sol que incide en una superficie en la Tierra estará compuesto por tres componentes (Revelo, 2020).

Radiación directa: la que llega a la tierra directamente en línea con el disco solar.

Radiación difusa: originada por los efectos de dispersión de los componentes de la atmósfera, incluidas las nubes.

Radiación reflejada: radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo.



**Imagen 2.** Irradiación solar global anual en el Ecuador.

**Fuente:** Mapa Solar del Ecuador 2019.

### The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050)

Este algoritmo se usa para el cálculo de la posición solar que tiene establecida una precisión de 0.01 grados hasta el año 2050. Calcula el azimut local y la elevación del sol en una ubicación y un tiempo específicos utilizando una aproximación a las ecuaciones utilizadas para generar tablas en El Almanaque Astronómico (Michalsky, 1988).

### Tiempo

La fecha juliana actual puede especificarse directamente o calcularse a partir de expresiones de tiempo.

$$\text{delta} = \text{year} - 1949 \quad (1)$$

$$\text{leap} = \text{aint}\left(\frac{\text{delta}}{4}\right) \quad (2)$$

$$jd = 32916.5 + \text{delta} * 365 + \text{leap} - \text{day} + \frac{\text{hour}}{24} \quad (3)$$

Coordenadas eclípticas

$$n = jd - 51545.0 \quad (4)$$

$$L(\text{mean long}) = 280.460 + 0.9856474 * n \quad (0 \leq L < 360^\circ) \quad (5)$$

$$g(\text{mean anomaly}) = 357.528 + 0.9856003 * n \quad (0 \leq g < 360^\circ) \quad (6)$$

$$l(\text{ecliptic long}) = L + 1.915 * \sin(g) + 0.020 * \sin(2 * g) \quad (0 \leq l < 360^\circ) \quad (7)$$

$$\text{ep}(\text{obliquity of ecliptic}) = 23.439 - 0.0000004 * n \quad (8)$$

### Coordenadas celestes

Para calcular la ascensión recta y la declinación se usan las siguientes fórmulas:

$$ra = atan\left(\frac{\cos(ep) * \sin(l)}{\cos(l)}\right) \quad (9)$$

$$dec = asin(\sin(ep) * \sin(l)) \quad (10)$$

### Coordenadas locales

Para obtener el azimut y elevación, necesitamos conocer la declinación y el ángulo horario. En orden para calcular el ángulo horario, necesitamos conocer el tiempo sidéreo medio local (lmst) y la ascensión recta. El ángulo horario se obtiene restando la ascensión recta del lmst. El Almanaque tabula el tiempo sidéreo medio de Greenwich (gmst) a la medianoche y la fórmula para aproximar gmst en un arbitrario tiempo lo da

$$gmst = 6.697375 + 0.0657098242 * n + hour(UT) \quad (11)$$

$(0 \leq gmst < 24 h)$

$$lmst = gmst + \frac{(east\ long)}{15} \quad (12)$$

$(0 \leq lmst < 24 h)$

y el ángulo horario (ha) viene dado por

$$ha = lmst - ra \quad (13)$$

$(-12 < ha \leq 12 h)$

Para calcular la elevación y el azimut, usamos lo siguiente

$$el = asin(\sin(dec) * \sin(lat) + \cos(dec) * \cos(lat) * \cos(ha)) \quad (14)$$

$$az = asin\left(-\cos(dec) * \frac{\sin(ha)}{\cos(el)}\right) \quad (15)$$

### 3. Métodos utilizados

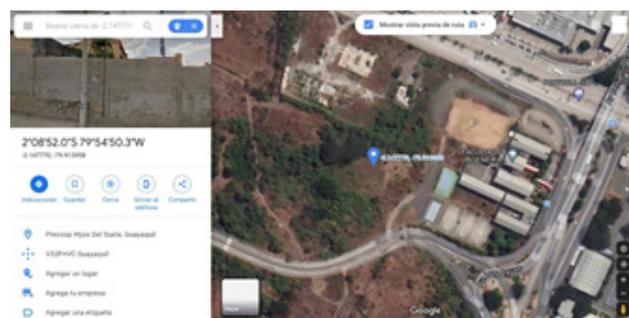
El presente estudio propone usar un seguidor que cambie su situación basada en la posición del sol de manera predefinida a lo largo del día, y para lo cual necesitamos de dos ángulos conocidos como azimut y el ángulo de elevación solar, por lo tanto, no contará con un sistema que haga la corrección de su posición de manera automática, sino que su posición cambiará mediante el cálculo de estos ángulos usando The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050).

Los parámetros de entrada utilizados por el algoritmo son:

- Coordenadas de latitud y longitud en grados.
- Año deseado.
- Periodo de tiempo en minutos para realizar el cálculo de la posición del sol.

### Ubicación

El lugar elegido como referencia para realizar los cálculos se encuentra en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil y sus coordenadas son: 2°08'52.0"S y 79°54'50.3"W. La ubicación como se muestra en la figura tiene las condiciones para instalar paneles solares con seguidor solar.



**Imagen 3.** Ubicación geográfica.

**Fuente:** Google Maps.

### 4. Resultados

De acuerdo con lo expresado en Métodos usamos el algoritmo con los siguientes parámetros de entrada: año 2021, ubicación geográfica 2°08'52.0"S y 79°54'50.3"W y con periodo de tiempo de 20 minutos, porque en este lapso el Sol recorre 5o y sabemos que esta desviación respecto a la normal del panel no afecta significativamente la respuesta máxima al componente de la radiación directa.

Con este algoritmo se obtienen los datos de todo el año, a continuación, mostramos los datos de 2 días del 2022 como ejemplo, estos días son los solsticios de verano y de invierno.

**Tabla 1.** Posición del seguidor día 21 de junio de 2022.

Hora	Inclinación	Azimut	Hora	Inclinación	Azimut
6:00:00	--	--	12:40:00	25,98	351,25
6:20:00	--	--	13:00:00	27,24	341,14
6:40:00	86,61	66,76	13:20:00	29,27	332,2
7:00:00	82,04	66,39	13:40:00	31,92	324,63
7:20:00	77,49	65,86	14:00:00	35,05	318,39
7:40:00	72,96	65,14	14:20:00	38,54	313,29
8:00:00	68,46	64,22	14:40:00	42,29	309,15
8:20:00	64,01	63,08	15:00:00	46,25	305,77
8:40:00	59,6	61,67	15:20:00	50,37	303,01
9:00:00	55,26	59,94	15:40:00	54,6	300,75
9:20:00	51,02	57,84	16:00:00	58,93	298,9
9:40:00	46,88	55,28	16:20:00	63,32	297,38
10:00:00	42,89	52,15	16:40:00	67,77	296,14
10:20:00	39,1	48,31	17:00:00	72,26	295,14
10:40:00	35,57	43,59	17:20:00	76,79	294,35
11:00:00	32,38	37,79	17:40:00	81,34	293,75
11:20:00	29,65	30,72	18:00:00	85,91	293,32
11:40:00	27,51	22,28	18:20:00	89,99	293,05
12:00:00	26,12	12,56	18:40:00	--	--
12:20:00	25,59	1,98	19:00:00	--	--

**Tabla 2.** Posición del seguidor día 21 de diciembre de 2022.

Hora	Inclinación	Azimut	Hora	Inclinación	Azimut
6:00:00	--	--	12:40:00	21,95	190,59
6:20:00	88,63	112,97	13:00:00	23,61	202,36
6:40:00	84,04	112,87	13:20:00	26,07	212,28
7:00:00	79,46	112,91	13:40:00	29,13	220,23
7:20:00	74,88	113,13	14:00:00	32,62	226,45
7:40:00	70,31	113,51	14:20:00	36,42	231,29
8:00:00	65,77	114,09	14:40:00	40,44	235,08
8:20:00	61,25	114,88	15:00:00	44,61	238,04
8:40:00	56,77	115,92	15:20:00	48,91	240,38
9:00:00	52,34	117,25	15:40:00	53,28	242,23
9:20:00	47,98	118,96	16:00:00	57,72	243,69
9:40:00	43,71	121,11	16:20:00	62,21	244,83
10:00:00	39,56	123,84	16:40:00	66,74	245,70
10:20:00	35,58	127,31	17:00:00	71,29	246,35
10:40:00	31,84	131,75	17:20:00	75,86	246,80
11:00:00	28,43	137,45	17:40:00	80,44	247,07
11:20:00	25,48	144,76	18:00:00	85,02	247,18
11:40:00	23,18	153,98	18:20:00	89,61	247,13
12:00:00	21,72	165,16	18:40:00	--	--
12:20:00	21,30	177,75	19:00:00	--	--

La información en la Tabla 1 y 2 muestra los ángulos calculados con el algoritmo, la elevación del panel en grados medido desde el suelo y el azimut medido de este a norte, de 0o a 360°, estos ángulos indican la posición del seguidor solar para cualquier día del año, en la práctica existen limitaciones mecánicas respecto a los ángulos máximo y mínimo que puede realizar el seguidor.

#### 4. Conclusión

En base a lo expuesto en este artículo, se pudo desarrollar una opción para determinar el posicionamiento de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar ubicado en la ciudad de Guayaquil-Ecuador, el cual solo utiliza como entradas la ubicación geográfica cuyas coordenadas de latitud y longitud están en grados, el año, el periodo de tiempo para realizar el cálculo del ángulo que toma el Sol conforme avanza el día.

El algoritmo utilizado para determinar la posición del seguidor solar es The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050), pero se pueden

utilizar otros algoritmos que existen en la literatura científica.

Para futuros trabajos, la propuesta aquí presentada puede usarse en un estudio comparativo con un seguidor solar activo que utilice un algoritmo de PMP.

#### Bibliografía

- Loor Cruz, J. M., & Narváez Sánchez, C. F. (2017). Análisis del impacto de la penetración de generación distribuida en la red de medio voltaje de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. 133. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27361>
- Machado, N., Lussón, A., & Leysdian, L. (2015). Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de

la energía solar. Ingeniería Energética Vol. XXXVI, 190-199.

Martínez, J. (2006). Rentabilidad de seguidores solares: Cálculo del gasto crítico de mantenimiento. Ingeniería XXI, 4-36.

Michalsky, J. J. (1988). The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050). Solar Energy, 40(3), 227-235. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(88\)90045-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(88)90045-X)

Palacios, J., & Morales, A. (2017). Productividad de paneles solares monocristalinos. MEMORIAS DEL XXIII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM, 73-81.

Revelo, D. V. (2020). Mapa Solar del Ecuador 2019. (January).

UNIDAS, N. (2017). Objetivos de desarrollo sostenible. Obtenido de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Vasar, C. (2019). Issues Regarding the Optimum Tilt Angle of Solar Applications in Western Romania. 257-262.



**CITAR ESTE ARTICULO:**

Riccio Anastacio, F. R. (2022). Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil. RECIMUNDO, 6(1), 225-231. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(1\).ene.2022.225-231](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231)