



3 Y 4 DE NOVIEMBRE DE 2022 - UTN FACULTAD REGIONAL RECONQUISTA

**Determinación de porcentajes de captación de radiación global usando PV LIGHTHOUSE en dos instalaciones fotovoltaicas, una fija y otra móvil.**

**Determination of global radiation capture percentages using PV LIGHTHOUSE in two photovoltaic installations, one fixed and one mobile.**

**Mario Ros**

Facultad Regional Reconquista – UTN  
marioros317@gmail.com

**Ezequiel Rosatti**

Facultad Regional Reconquista – UTN  
ezerosatti@gmail.com

**Walter Soto**

Facultad Regional Reconquista – UTN  
waltersoto2007@gmail.com

**Resumen:** La calculadora de espectro de radiación solar PV LIGHTHOUSE determina el espectro de la radiación solar interceptada por un módulo fotovoltaico en condiciones de cielo despejado, donde el usuario establece; la ubicación (Latitud y Longitud), orientación del módulo (ángulo de inclinación y ángulo de azimut), la hora, el día y mes del año y las condiciones atmosféricas para cielos despejados. Luego, la calculadora determina los componentes directo, difuso y su suma de la radiación espectral que incide en el módulo. El cálculo para las dos instalaciones se lo ha realizado para los 4 días del año en que comienza cada estación, a saber; Equinoccios, Solsticios de verano y de invierno y por cada hora en un rango horario de 6hs a 18hs, donde se determinó que la instalación móvil a dos ejes con un solo motor y mecanismo engranaje-pivote capta un 35% de radiación global más que la instalación fija.

**Palabras claves:** Radiación Global, Seguidor Solar a Dos Ejes, Engranaje Pivote.

**Abstract:** The PV LIGHTHOUSE Solar Radiation Spectrum Calculator determines the spectrum of solar radiation intercepted by a photovoltaic

module under clear sky conditions, where the user sets; the location (Latitude and Longitude), module orientation (tilt angle and azimuth angle), time, day and month of the year and atmospheric conditions for clear skies. The calculator then determines the direct, diffuse, and their sum components of the spectral radiation incident on the module. The calculation for the two installations has been made for the 4 days of the year in which each season begins, namely; Equinoxes, summer and winter solstices and for each hour in a time range from 6 a.m. to 6 p.m., where it was determined that the two-axis mobile installation with a single motor and gear-pivot mechanism captures 35% more global radiation than the fixed installation.

**Keywords:** Global Radiation, Two Axis Solar Tracker, Pivot Gear.

#### Introducción:

El presente trabajo consiste en la comparativa de porcentajes de captación del espectro de radiación solar entre una instalación fotovoltaica fija y otra móvil a dos ejes, donde ésta última consta de un eje vertical que origina el seguimiento azimutal del Sol de Este a Oeste y de un eje horizontal (cabezal de apoyo de paneles) que describe el movimiento de altitud solar en su seguimiento al Sol de ascenso y descenso, estos dos movimientos se originan mediante un solo motor que mueve la columna (eje vertical) mediante una corona central y que a la vez ésta le transmite el movimiento a otra corona igual, y que gracias a un mecanismo pivote solidario a la segunda corona y a la parte baja del cabezal (eje horizontal) otorga el segundo movimiento al sistema. Para la determinación del espectro de radiación solar captado por cada instalación se utilizó una calculadora de espectro de radiación solar "PV LIGHTHOUSE", que determina el porcentaje que es interceptado por un módulo en condiciones de cielo despejado, donde el usuario establece; la ubicación (Latitud y Longitud) y orientación del módulo (ángulo de inclinación y ángulo de azimut), la hora del día, el día y el mes del año y las condiciones atmosféricas en la interfaz del programa. Luego, la calculadora determina los componentes directo, difuso y su suma (global) de la radiación espectral que incide en el módulo.

El programa PV LIGHTHOUSE, versión 1.1.1, 17 de febrero de 2014, posee la siguiente interfaz de usuario como se observa en la Figura 1.

#### Desarrollo:

Los datos de **ENTRADAS** introducidos para este trabajo son:

• Fechas y horas; las cuales se tomaron como año el 2021 y los meses y días los correspondientes al inicio de cada estación; Equinoccio de otoño, Solsticio de invierno, Equinoccio de primavera y Solsticio de Verano correspondientes a las fechas; 21/03, 21/06, 21/09 y 21/12 respectivamente. En lo que respecta a las horas determinadas para el cálculo del espectro de radiación solar se emplearon cada hora del intervalo o franja horaria entre las 6hs y las 18hs.

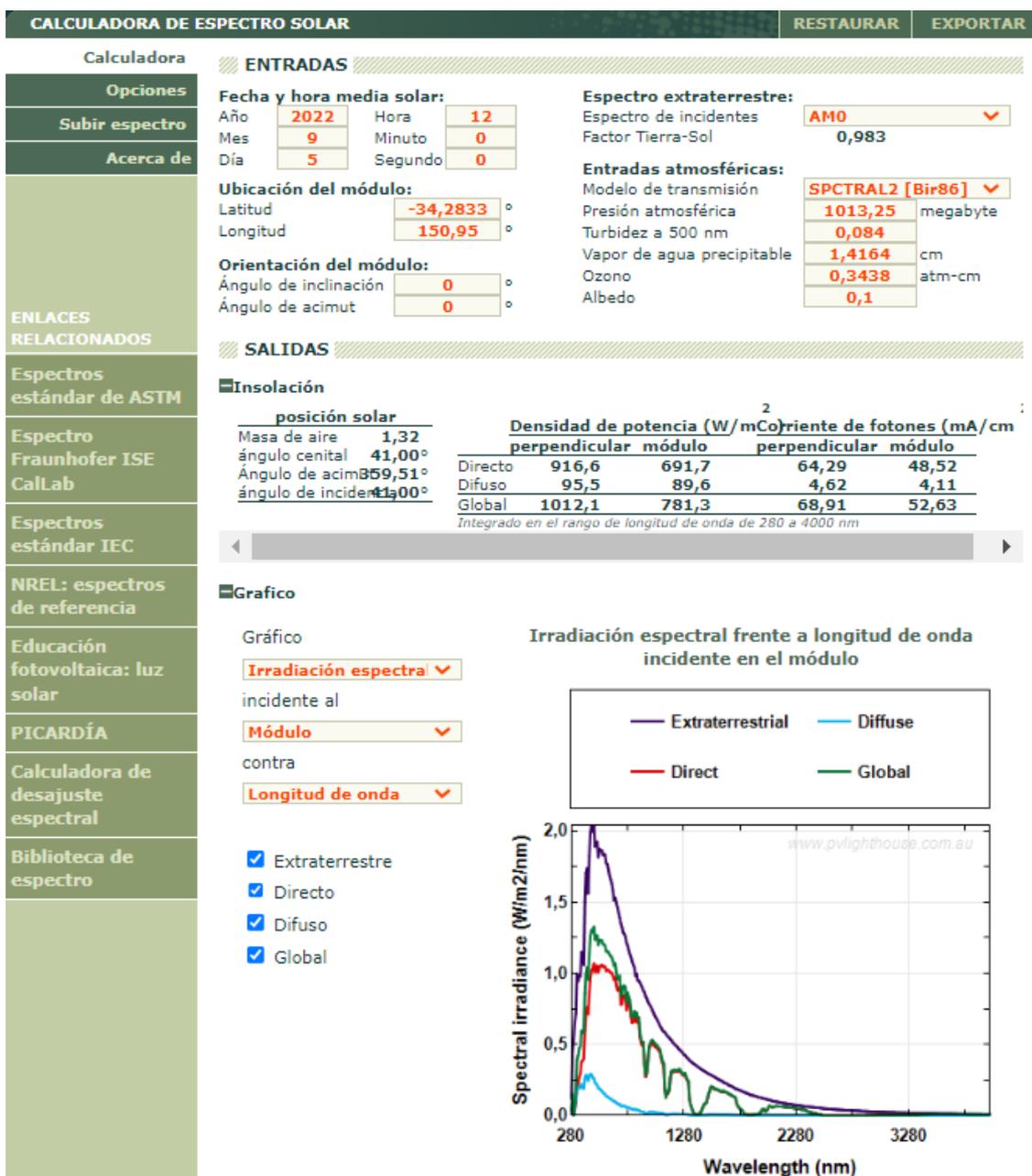


Figura 1, captura de imagen del entorno de interfaz de usuario de PV LIGHTHOUSE.

- Ubicación del Módulo; se especificó como ubicación la de la ciudad de Reconquista de la Provincia de Santa Fé, que es el lugar donde se desarrolla el proyecto, con valores de Latitud igual a  $-29^\circ$  y de Longitud  $-59^\circ$ . En lo que respecta a la orientación del módulo se emplea dos ángulos para definir al mismo y que son, el ángulo de inclinación ( $\beta$ ) respecto al nivel del suelo (horizontal) y el ángulo de azimut ( $\gamma$ ) que indica su orientación respecto al Norte geográfico, ambos ilustrados en la siguiente Figura 2.

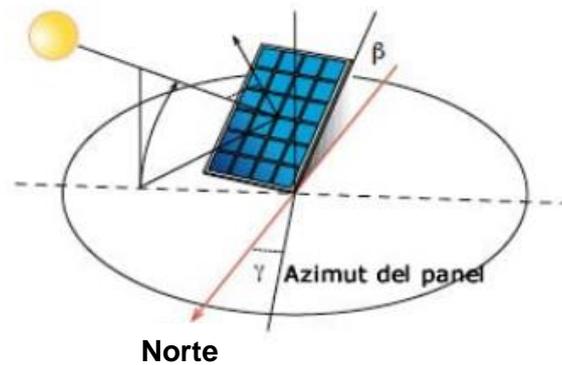


Figura 2, ángulos que definen la orientación de un módulo FV.  
Recuperado de: <https://www.sunlizer.es/post/orientacion-paneles-solares>.

El programa contempla el Este a un valor de ángulo de  $90^\circ$ , el Norte igual a  $360^\circ$  y el Oeste  $270^\circ$ .

En la interfaz de **SALIDAS** se describirán los datos utilizados o que aplican para el objetivo del trabajo;

- Masa de aire (AM): de valor adimensional y definido como la relación entre el camino recorrido de los rayos directos del Sol a través de la atmósfera hasta la superficie receptora (módulo) y el que recorrerían en caso de incidencia vertical (recorrido más corto), ver Figura 3.

$$AM = \frac{Y}{X} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (1)$$

Donde;

AM: masa de aire

Y: recorrido de los rayos solares directos al panel

X: recorrido más corto

Cos  $\theta$  = coseno del ángulo cenital (Z)

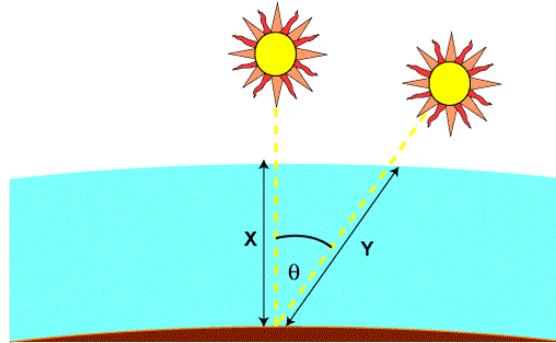


Figura 3, Concepto de Masa de Aire (AM), relación de caminos.

Recuperado de: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/masa-de-aire>.

- Espectro de radiación solar; en sus componentes directa y difusa, en el cual el valor Global resulta de la suma de las anteriores, donde se visualiza los valores en las Tablas 1 y 2 con sus respectivas Figuras 5 y 6 para cada tipo de instalación. Estos valores son hallados por integración del área en la gráfica de la Figura 1, en el cual se emplea la Irradiancia o “Potencia de la Radiación Solar” por unidad de área ( $W/m^2/nm$ ) en la ordenada y en función del rango de longitud de onda entre 280nm a 4.000nm en la abscisa, el valor que se adopta del programa es el mostrado en el “Módulo”. Cabe aclarar que los paneles FV tradicionales de celdas de Silicio; Monocristalinos, Policristalinos y Amorfos captan el espectro de luz visible más una pequeña porción de luz ultra violeta (300nm a 700nm). En la imagen siguiente (Figura 4) se aprecia esquemáticamente el concepto de radiación directa y de radiación difusa, la radiación reflejada o Albedo no es contemplada por el programa al no disponer de datos característicos de la superficie, en su base y/o datos de ingreso, en la que se encuentra el módulo.

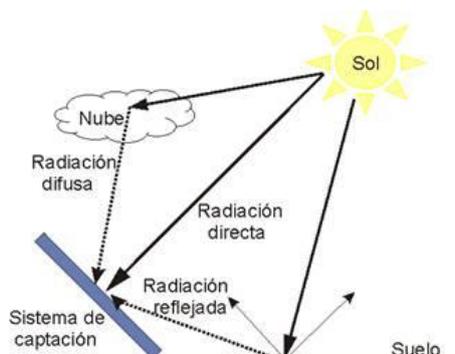


Figura 4, componentes de la Radiación Global.

Recuperado de: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

## A. Instalación Fija

Datos a contemplar:

- B: ángulo de inclinación igual a la Latitud del emplazamiento 29°.
- Y: ángulo de acimut igual a 0°.

Irradiancia (W/m2) sobre una superficie fija a 29° de inclinación															Promedios
Día en el año	Estación	Angulo horario/Horario													
		(-)90° 6hs	(-)75° 7hs	(-)60° 8hs	(-)45° 9hs	(-)30° 10hs	(-)15° 11hs	0° 12hs	15° 13hs	30° 14hs	45° 15hs	60° 16hs	75° 17hs	90° 18hs	
171	Invierno	0,00	3,00	311,30	556,20	739,90	855,50	896,70	860,80	750,20	571,00	330,20	21,10	0,00	453,53
264	Primavera	8,00	233,00	500,00	738,10	921,20	1033,10	1064,80	1013,60	883,80	685,90	438,10	171,00	0,00	591,58
355	Verano	29,20	244,90	489,60	713,00	888,70	999,80	1036,50	995,90	881,20	702,70	477,50	232,70	21,00	593,28
80	Otoño	0,00	173,50	445,70	697,50	898,20	1029,50	1080,70	1047,80	933,30	746,50	503,80	231,80	4,40	599,44
<b>Promedio Anual</b>														<b>559,46</b>	

Tabla 1, valores de Irradiancia para una instalación Fija con una inclinación de 29° para los días de inicio de cada estación en una franja horaria de 6hs a 18hs.

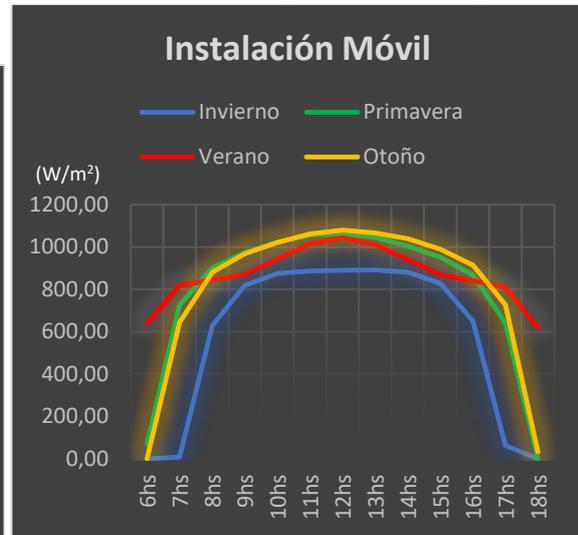
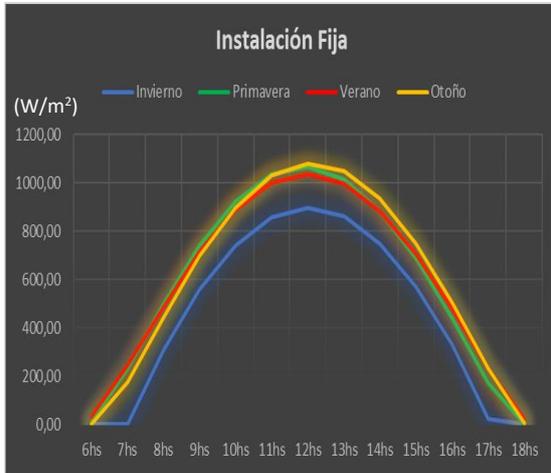
**B. Instalación móvil a dos ejes con una fuerza motriz y sistema de engranaje pivote.**

Datos a contemplar:

- B: ángulo de inclinación (seguimiento en el ascenso y descenso) determinado por el mecanismo para cada hora igual a un ángulo horario de 15° en la franja horaria de 6hs a 18hs, según se indica en la tabla siguiente.
- Y: ángulo acimutal (seguimiento de Este a Oeste) adoptado por cada hora igual a 15° iniciando en el Este (90°) y finalizando en el Oeste (270°).

Irradiancia (W/m2) sobre el seguidor solar															Promedios
Día en el año	Estación	Angulo horario/Horario													
		(-)90° 6hs	(-)75° 7hs	(-)60° 8hs	(-)45° 9hs	(-)30° 10hs	(-)15° 11hs	0° 12hs	15° 13hs	30° 14hs	45° 15hs	60° 16hs	75° 17hs	90° 18hs	
	Azimuth Panel	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°	345°	330°	315°	300°	285°	270°	
	Ang. inc. panel (β)	75,2°	73,4°	67,4°	55,4°	41,8°	32,3°	29°	32,3°	41,8°	55,4°	67,4°	73,4°	75,2°	
171	Invierno	0,00	7,20	629,20	818,90	875,50	887,60	890,20	890,90	881,60	828,70	650,50	61,60	0,00	570,92
264	Primavera	69,00	726,10	901,90	974,60	1023,60	1056,10	1064,50	1045,20	1005,20	951,70	867,00	640,70	0,00	794,28
355	Verano	638,70	818,20	844,30	872,70	943,30	1015,10	1044,00	1013,00	940,00	869,10	840,00	809,90	617,80	866,62
80	Otoño	0,00	644,30	880,40	968,30	1022,20	1061,50	1080,30	1066,90	1039,50	990,00	913,70	726,60	30,70	801,88
<b>Promedio Anual</b>														<b>758,42</b>	

Tabla 2, valores de Irradiancia para la instalación móvil a dos ejes con un solo motor para los días de inicio de cada estación en una franja horaria de 6hs a 18hs.



Figuras 5 y 6, valores de captación de Irradiancia para la instalación fija y móvil respectivamente.

### C. Tabla de valores de Masa de Aire

Valores de masa de aire															Promedios
Estación	Angulo horario/Horario														
	(-)90°	(-)75°	(-)60°	(-)45°	(-)30°	(-)15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°		
6hs	7hs	8hs	9hs	10hs	11hs	12hs	13hs	14hs	15hs	16hs	17hs	18hs			
171 Invierno	-5,02	117,57	4,93	2,70	2,00	1,72	1,64	1,71	1,98	2,63	4,64	44,34	-5,41	13,49	
264 Primavera	42,87	4,02	2,19	1,58	1,30	1,18	1,15	1,20	1,35	1,68	2,43	5,06	-33,91	2,47	
355 Verano	5,02	2,46	1,67	1,33	1,12	1,03	1,00	1,03	1,13	1,32	1,69	2,52	5,31	2,05	
80 Otoño	66,10	5,17	2,46	1,69	1,36	1,21	1,16	1,19	1,32	1,60	2,23	4,15	66,10	11,98	
<b>Promedio Anual</b>														<b>7,50</b>	

Tabla 3, valores de A.M. para los días de inicio de cada estación en una franja horaria de 6hs a 18hs.

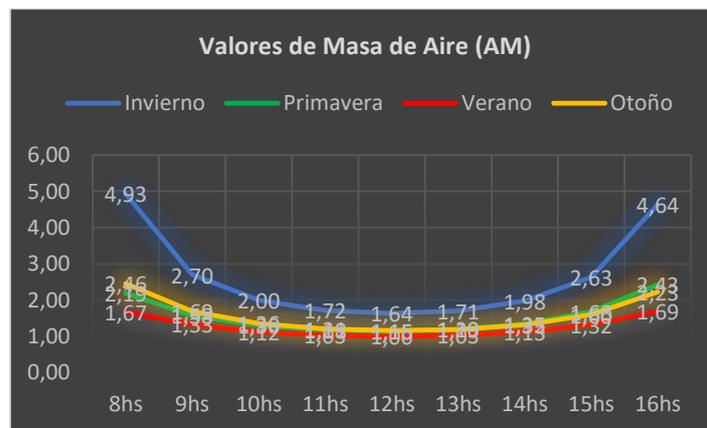


Figura 7, valores de Masa de Aire (A.M.) para los días de inicio de cada estación en una franja horaria de 8hs a 16hs.

**Resultados:** El porcentaje de espectro de Radiación Solar Global captado es de un 35% más para la instalación móvil a dos ejes con respecto a la instalación fija.

**Conclusión:** se concluye que, en referencia al trabajo “Seguidor solar fotovoltaico a dos ejes con una fuerza motriz” presentado por los mismos autores en la JIT Venado Tuerto 2020, donde se concluía que el porcentaje de perpendicularidad de los rayos solares para la misma instalación móvil a dos ejes es de 89% respecto al 42,69% para la instalación fija, la diferencia de porcentajes de captación de la Radiación Solar global entre ambas instalaciones es menor debido a que los rayos solares tienen que atravesar mayor densidad de masa atmosférica (mayor recorrido) disminuyendo así su valor de potencia (Irradiancia). Lo anterior se muestra mediante los valores de la Tabla 3 representados en la Figura 7, donde se aprecia que para las primeras horas del día como para las últimas se tiene un mayor valor de A.M., es decir, los rayos solares tienen que atravesar un mayor espesor de capa atmosférica.

#### **Bibliografía:**

- A.B. Meinel, M.P. Meinel. (1982). “Aplicaciones de la Energía Solar”, Editorial Reverté s.a.
- Petros I. Axaopoulos. (2011). Solar Thermal Conversion. TEI de Atenas Grecia.
- Nestor Pedro Quadri, (1994). Energía Fotovoltaica, Librería y Editorial Alsina.
- Miguel Pareja Aparicio, (2015). Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada. Editorial Marcombo.
- Ros M., Rosatti E. (2020). “Seguidor solar fotovoltaico a dos ejes con una fuerza motriz”. AJEA-Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN, Venado Tuerto Pcia. De Santa Fé Argentina, 29 y 30 de octubre, Página 44.
- M. Ros, E. Rosatti, W. Soto. (2020). “Captación directa de la energía solar, Principios de geometría solar aplicados a instalaciones fotovoltaicas”. Editorial Académica Española, Editado en Berlín.