

# **ANGULO DE INCLINACION PARA PANELES SOLARES, CON ORIENTACION NORTE, EN LA INCIDENCIA DE LA RADIACION SOLAR**

Javier D. Meza Bendezú  
[Jamebe84@gmail.com](mailto:Jamebe84@gmail.com)  
Lima-Perú  
UNI

## **RESUMEN**

En este artículo se muestran los resultados obtenidos en tablas y gráficos de la incidencia solar de los paneles solares con diferentes ángulos de inclinación. Se expone la radiación solar promedio mensual con diferentes superficies inclinadas, vemos la influencia que tiene la inclinación de los paneles solares en la captación de la radiación solar con respecto a un plano horizontal. Con el conocimiento de tener valores cuantitativos de la incidencia de la radiación solar con ángulo óptimo, estos datos obtenidos son muy importantes para tomar decisiones futuras en el diseño de proyectos de generadores de radiación solar fotovoltaico.

## **INTRODUCCION**

El cometido de este artículo es ensayar o difundir el desarrollo teórico-práctico de la incidencia solar de los paneles solares con una inclinación óptima para la captación de la radiación solar.

Si bien es cierto que existen publicaciones de tablas y software de incidencia solar sobre la superficie terrestre con diferentes ángulos de inclinación, referido a una latitud en la posición donde se encontrarían los paneles solares. Pero los que estamos interesados en este tipo de investigación nos deja un vacío en la literatura de esta, para poder hallar el ángulo de inclinación óptimo de la incidencia solar sobre la superficie terrestre.

La incidencia de la radiación solar sobre los paneles solares dependen del área de ubicación, posicionamiento en el sistema global (latitud), medio ambiente (claro, medio nublado, nublado), estación solar (invierno, verano) e inclinación. Este artículo trata de explicar la intervención secuencial de los parámetros matemáticos que intervienen en el desarrollo para lograr calcular el ángulo que optimice la captación de radiación solar respecto a un plano horizontal.

Para calcular la estimación de la radiación solar en una superficie inclinada, se separó la componente de la radiación difusa de la radiación global (modelo isotrópico de Liu y Jordan).

Debemos mencionar que en este trabajo la obtención de la radiación solar total sobre un plano inclinado, se obtuvo de la suma de la radiación directa y la radiación difusa (no se tomó en cuenta la radiación reflejada)

## **DESARROLLO**

Ubicación	:	Parque Sinchi Roca, Comas Lima
Latitud	:	-11.9233 N
msnm	:	139

Radiación Media Mensual, captados en una superficie horizontal (kwh/m2/dia)  
 Datos extraídos de la data de la estación espacial meteorológica de la NASA

$\beta$	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0 °C	7.14	7.15	7.04	6.33	4.93	3.39	3.14	3.58	4.32	5.29	6.01	6.8

### Angulo de Incidencia Solar

Teniendo en cuenta que los paneles solares están orientados hacia norte geográfico, además que tienen un ángulo de inclinación ( $\beta$ ), respecto a la horizontal. Se puede calcular el ángulo de incidencia solar que es el ángulo entre la normal de la superficie y los rayos del sol. Esta relación de los ángulos solares se puede calcular de la ecuación trigonométrica siguiente.

$$\cos\theta = \cos(\Phi-\beta) \cdot \cos\rho \cdot \cos\omega + \sin(\Phi-\beta) \cdot \sin\rho$$

$\theta$  = ángulo formado por incidencia solar directa sobre el panel inclinado y la incidencia solar horizontal.

$\Phi$  = latitud

$\beta$  = ángulo de inclinación

$\rho$  = ángulo de declinación solar

$\omega$  = ángulo solar

$n$  = día del año

$$\rho = 23.45 * \sin\left(\frac{360 * (284 + n)}{365}\right)$$

$$H_o = (24/\pi) * \sin\left[\left((\omega_s - \omega_o) \cdot \sin\Phi \cdot \sin\delta + \cos\Phi \cdot \cos\delta \cdot \cos(\omega_s - \omega_o)\right)\right]$$

$H_o$  = Irradiación extraterrestre diaria media mensual que alcanza la atmósfera proyectada en una superficie horizontal.

Modelo Polinómico según Liu y Jordan

Se hace notar para los cálculos de las aportaciones solares recibidas de la radiación solar, son valores diarios medios mensuales.

La componente difusa se puede hallar por las curvas de regresión de la fracción difusa ( $H_d/H$ ) versus el índice de claridad ( $k$ ). La componente directa puede calcularse por la diferencia entre  $H_t$  y  $H_d$ .

$$H_d/H = 1.390 - 4.027k + 5.531k^2 - 3.108k^3$$

$$k = H/H_o$$

$k$  = Índice de claridad

$H_d$  = Irradiación diaria difusa procedente de la bóveda celeste

$H$  = Irradiación diaria global sobre una superficie horizontal

La radiación total es la suma de la radiación solar directa, difusa y reflejada sobre una superficie inclinada

$$H_t = H_b R_b + H_d R_d + H \delta R_r$$

$H_b$  = irradiación directa

$R_b$  = factor que relaciona la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación directa en una superficie horizontal.

$R_d$  = factor que relaciona radiación solar difusa sobre una superficie inclinada y la radiación difusa en una superficie horizontal.

$\delta$  = reflectancia del área circundante

$\frac{1 + \cos \beta}{2}$  = Mide la proporción de vista de la bóveda celeste que tiene el plano inclinado con respecto a la horizontal.

$\frac{1 - \cos \beta}{2}$  = Mide la proporción del suelo que ve la superficie inclinada

Puede ser reescrito como:

$$H_t = H_b \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + H_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + H \delta \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

$$\frac{H_t}{H} = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) R_b + \frac{H_d}{H} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \delta \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Donde:

$\frac{H_t}{H}$  = factor de corrección (factor que relaciona la irradiación solar total sobre una superficie inclinada y la irradiación global sobre una superficie horizontal.

## RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla donde se observa los resultados obtenidos de la radiación promedio mensual sobre un plano para diferentes ángulos de inclinación ( $\beta$ ) en  $\text{kw/m}^2$ , sobre una superficie horizontal.

$\beta$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom. Anual
0°	7.14	7.15	7.04	6.33	4.93	3.39	3.14	3.58	4.32	5.29	6.01	6.80	5.43
2°	7.20	7.17	7.01	6.24	4.83	3.32	3.09	3.54	4.29	5.29	6.05	6.87	5.41
5°	7.29	7.20	6.95	6.10	4.67	3.22	3.00	3.47	4.25	5.29	6.10	6.96	5.38
10°	7.39	7.19	6.81	5.84	4.39	3.03	2.85	3.33	4.15	5.26	6.15	7.08	5.29
15°	7.44	7.15	6.63	5.54	4.09	2.83	2.69	3.18	4.03	5.19	6.16	7.15	5.17
20°	7.44	7.05	6.41	5.20	3.76	2.62	2.51	3.01	3.88	5.09	6.14	7.17	5.02
25°	7.39	6.91	6.14	4.83	3.42	2.40	2.32	2.83	3.72	4.97	6.07	7.14	4.85

De la figura N° 1 podemos afirmar que los perfiles de la radiación solar que inciden en un plano inclinado, varían según el ángulo de inclinación que adoptan los paneles solares.

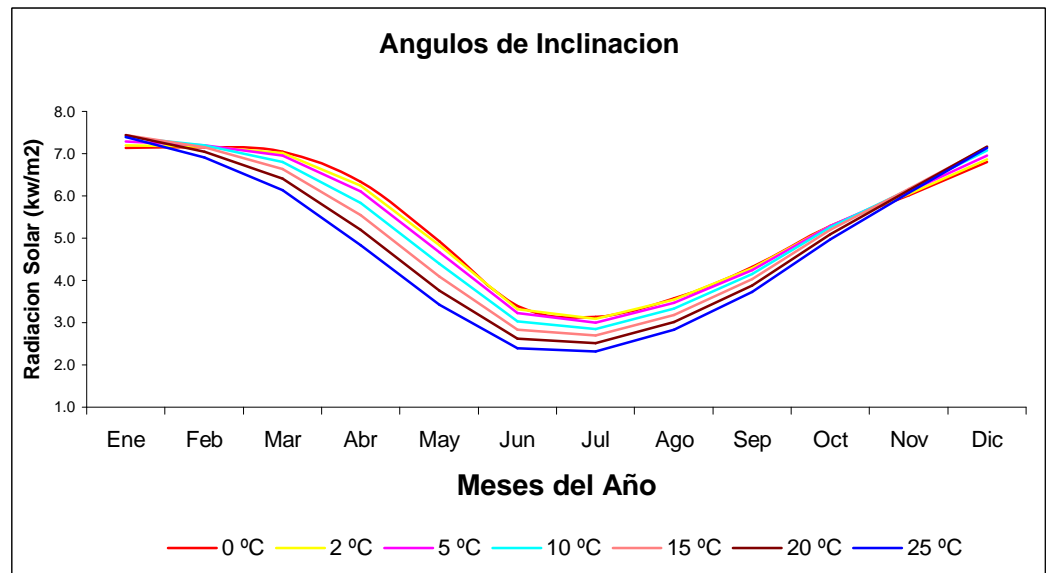


Figura N° 1 muestra la radiación solar para diferentes ángulos de inclinación.

La figura N° 2 muestran valores mínimos, tomados de la tabla de incidencia para diferentes ángulos de inclinación, que corresponden al mes de Julio. Esta cuantificación es importante para dimensionar la cantidad de paneles que pueda tener un generador FV, para periodos anuales.

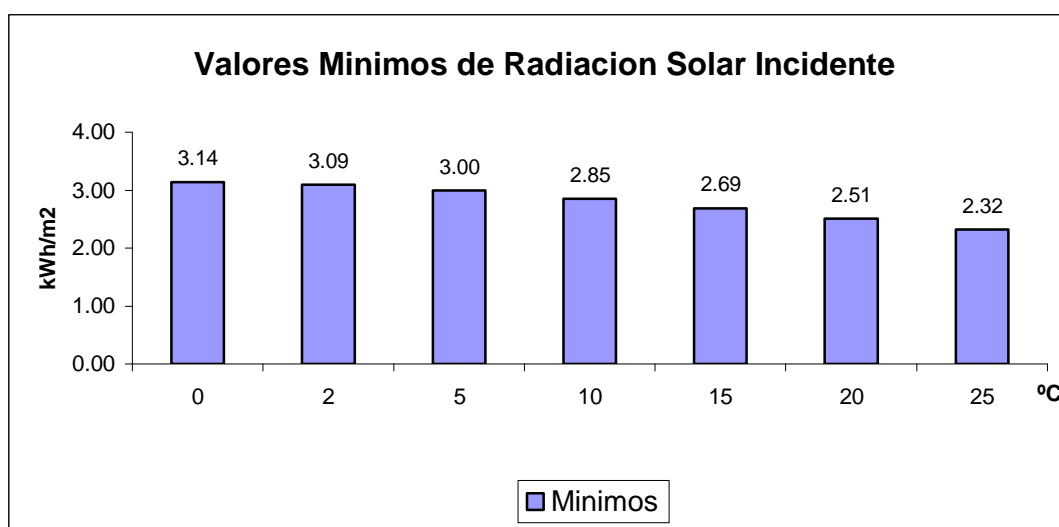


Figura N° 2 Muestra valores mínimos de la radiación solar incidente sobre un plano inclinado.

La figura N° 3, muestran valores máximos de la data, que corresponden al mes de Enero, donde la incidencia de la radiación solar sobre una superficie inclinada es mayor. Es importante la cuantificación de estos datos ya que si queremos generar energía FV en periodos estacionales, tendríamos que hacerlo teniendo en cuenta en los meses de mayor incidencia solar.

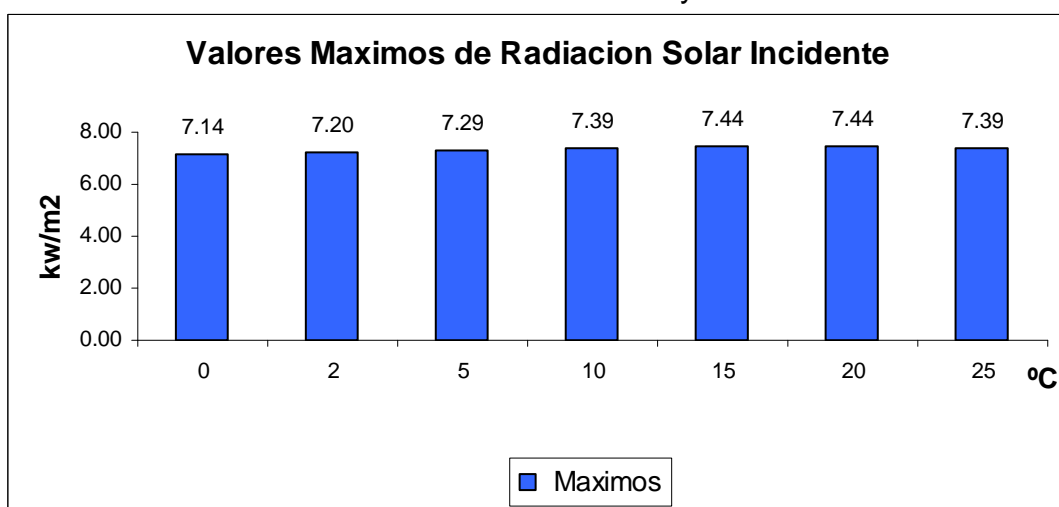


Figura N° 3. Muestran valores máximos de la radiación solar incidente sobre un plano inclinado.

## CONCLUSIONES

La ubicación de los paneles solares, dependerá de la función en que el sistema de generación térmica o fotovoltaica este proyectada.

En la literatura de energía FV, existe una regla de estimación para la inclinación en paneles solares que es la latitud + 10°, donde se obtendrá una mayor radiación en los meses de invierno y latitud – 10°, para una mayor radiación en los meses de verano.

Tendríamos que considerar y cuantificar para periodos de captación de radiación solar sean anuales, estacionales o periodos muy cortos.

Analizando los datos obtenidos en la tabla para diferentes ángulos de inclinación, se puede afirmar que para la captación de radiación solar anual la mas recomendada es inclinación 0° que viene a ser un plano horizontal.

Para el periodo de verano que son los meses de Diciembre, Enero y Febrero se tiene la incidencia solar sobre un plano inclinado:

$\beta$	Dic	Ene	Feb	Promedio (Kw/m <sup>2</sup> )
0°	6.80	7.14	7.15	7.03
2°	6.87	7.20	7.17	7.08
5°	6.96	7.29	7.20	7.15
10°	7.08	7.39	7.19	7.22
15°	7.15	7.44	7.15	7.25
20°	7.17	7.44	7.05	7.22
25°	7.14	7.39	6.91	7.15

La incidencia solar promedio mensual para un ángulo de inclinación de 15° orientación norte, es de 7.25 kw/m<sup>2</sup> que viene a ser un 3% mayor de incidencia solar sobre un plano horizontal.

La radiación solar de la muestra (Lima Comas), no es la mas recomendada, ya que durante el año su clima es nublado, solo en los meses de verano el cielo es claro y despejado. Pero esta modelación sirve para hallar la radiación solar en cualquier punto sobre la superficie terrestre, obviamente teniendo en cuenta las consideraciones geográficas y climáticas del medio.

## BIBLIOGRAFIA

Calculo de la Energía Solar, Jose Javier Garcia–Badell Lapetra  
Ediciones Técnicas y Científicas, 2003.

Estimación de la radiación solar global incidente en superficies inclinadas  
Departamento de Física, Universidad Heredia – Costa Rica

Trabajo de Investigación Influencia del Angulo de Inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente.  
CubaEnergia.

Trabajo de Investigación, Modelos de Radiación Directa para la ciudad de Bogotá a partir de datos experimentales tomados en la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2004.  
Grupo de Energías Alternativas, Universidad Distrital de Colombia.

#### SITIOS WEB

Global Solar Atlas

<http://globalsolaratlas.info/>

NASA Surface Meteorology and Solar Energy

<https://eosweb.larc.nasa.gov/>

Coordenadas Geograficas

<http://dateandtime.info/es/citycoordinates.php?id=3936456>