



A 501 (c)(3)

# Análisis de Horas de Sol Pico en Sistemas de Energía

Eugene S. Smotkin

Technology and Education Center for Renewable Energy

San Juan, Puerto Rico

Presentado al Club Rotario de San Juan, Puerto Rico

Enero 22, 2019

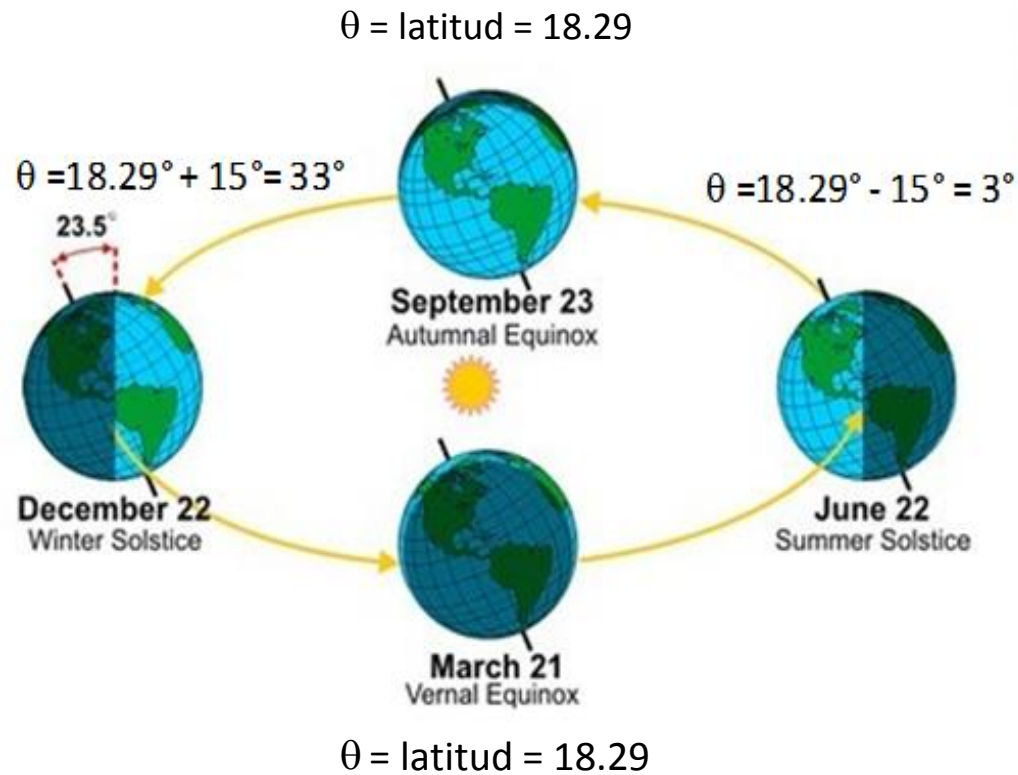
# Conceptos Básicos para Horas de Sol Pico (HSP)

- Generalidades
  - **Energía** = Potencia x Tiempo
  - **kWh** = kW x hora
  - **Potencia** = Energía/tiempo

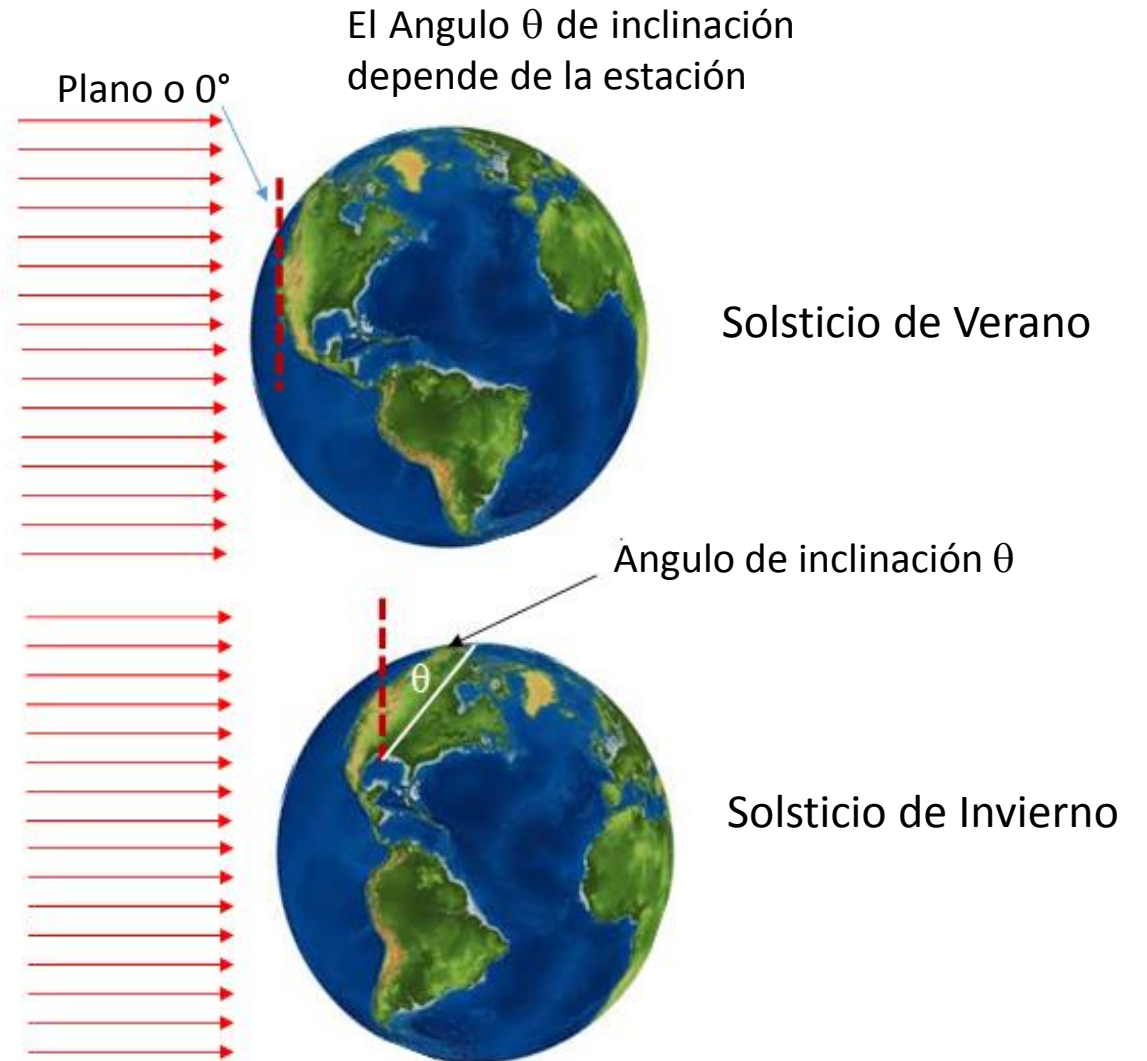
Horas de Sol Pico (HSP) tiene unidades de tiempo.

- **Energía** = Potencia x HSP
- HSP es la base para el diseño de sistemas de energía Fotovoltaicos.

# El Angulo de inclinación del panel depende de la estación



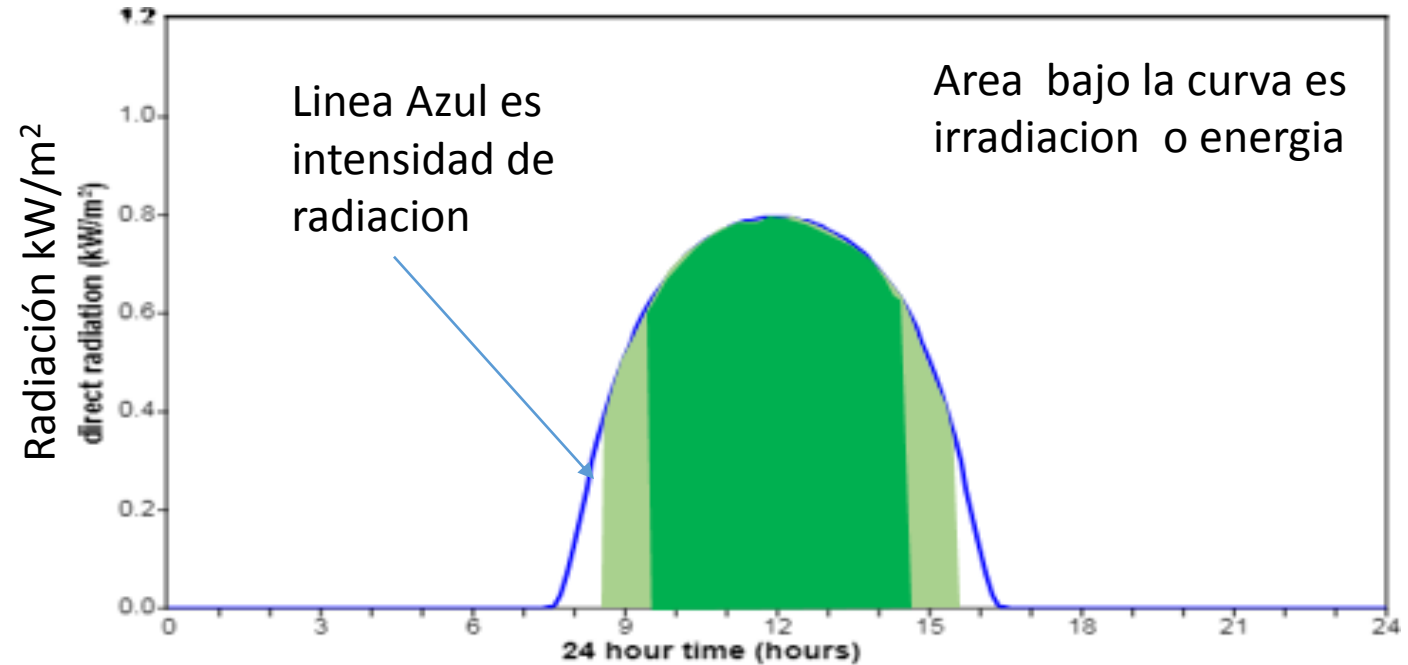
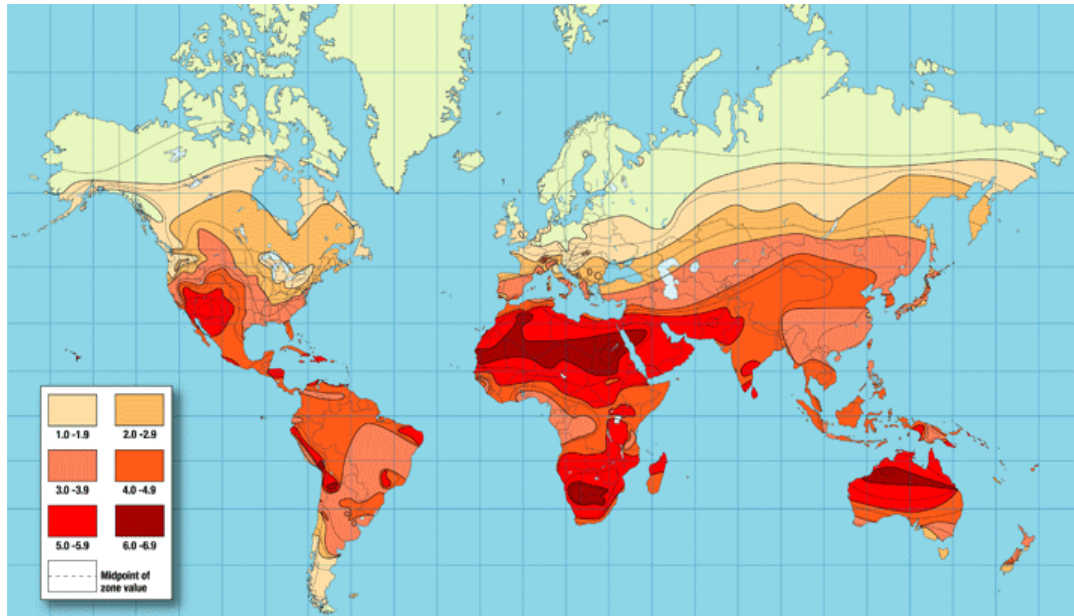
El Mejor Angulo de inclinación ( $\theta$ ) para un array fijo es latitud ( $18.29^\circ$ ).



# Radiación Solar (Potencia) e irradiación (energía)

Potencia x Tiempo = **Energía**

Intensidad de Radiación x Tiempo = **Irradiación** (Área bajo la curva)



Cuando el tiempo bajo la curva es un día completo, la irradiación es llamada Insolación.

A 5.4 hrs (Verde): baja radiación: 0.60 kW/m²

A 7.8 hrs (Verde Claro): La radiación mas baja: 0.40 kW/m². Mas energía pero a baja Potencia.

# Derivación de Horas de Sol Pico

Las Cruces, PR

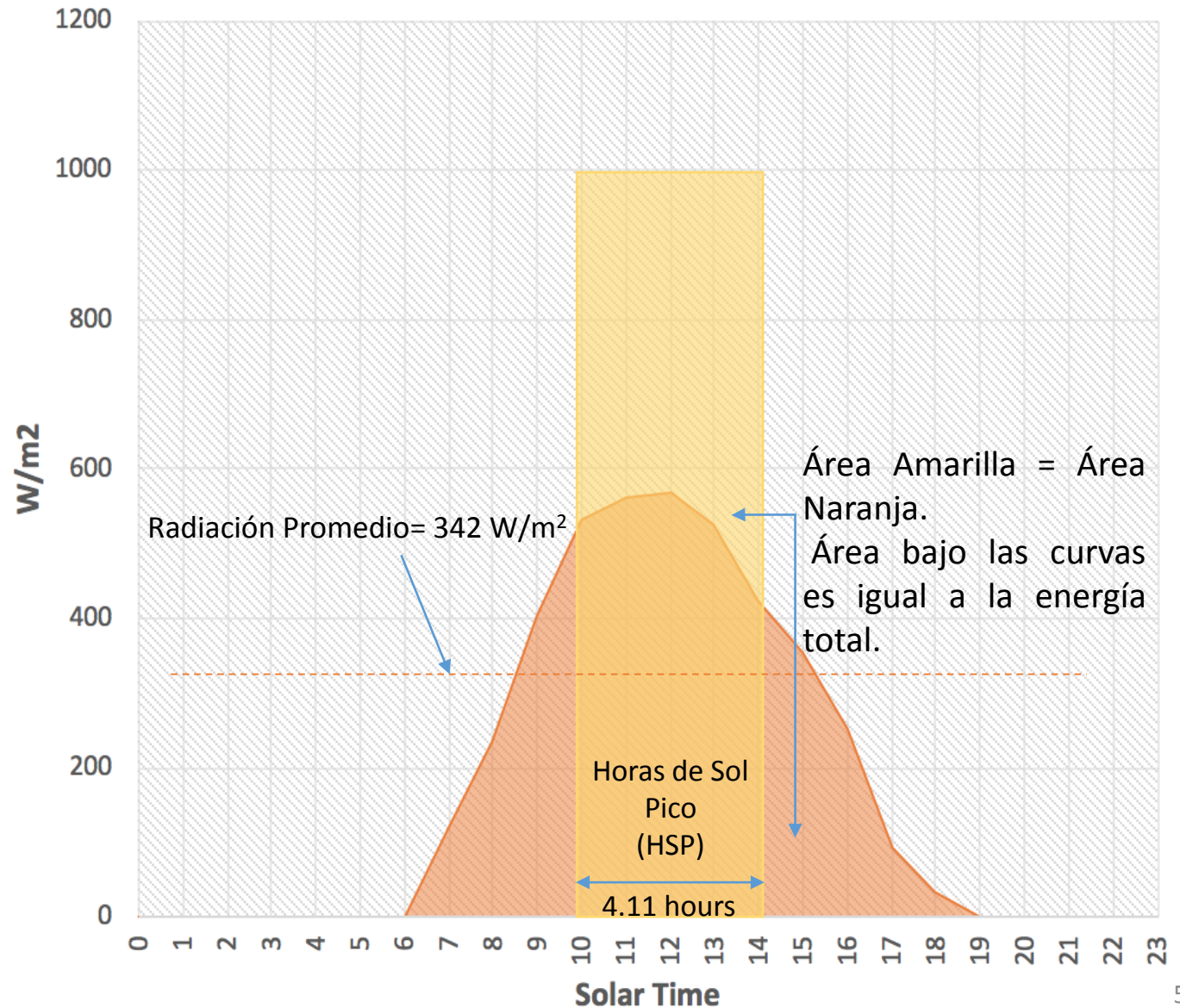
Ubicación= 18.29°N, 66.2°W

Inclinación del panel= 18.29°

Mes de diseño= Noviembre

**Horas Pico de Sol** es el número de horas requerido a 1 kW/m<sup>2</sup> para proveer la misma energía que la radiación en un día proveería sobre la misma área.

Información obtenida de la base de datos de Radiación Solar Nacional (NSRDB). Información obtenida en tiempo real de un medidor de luz posicionado.



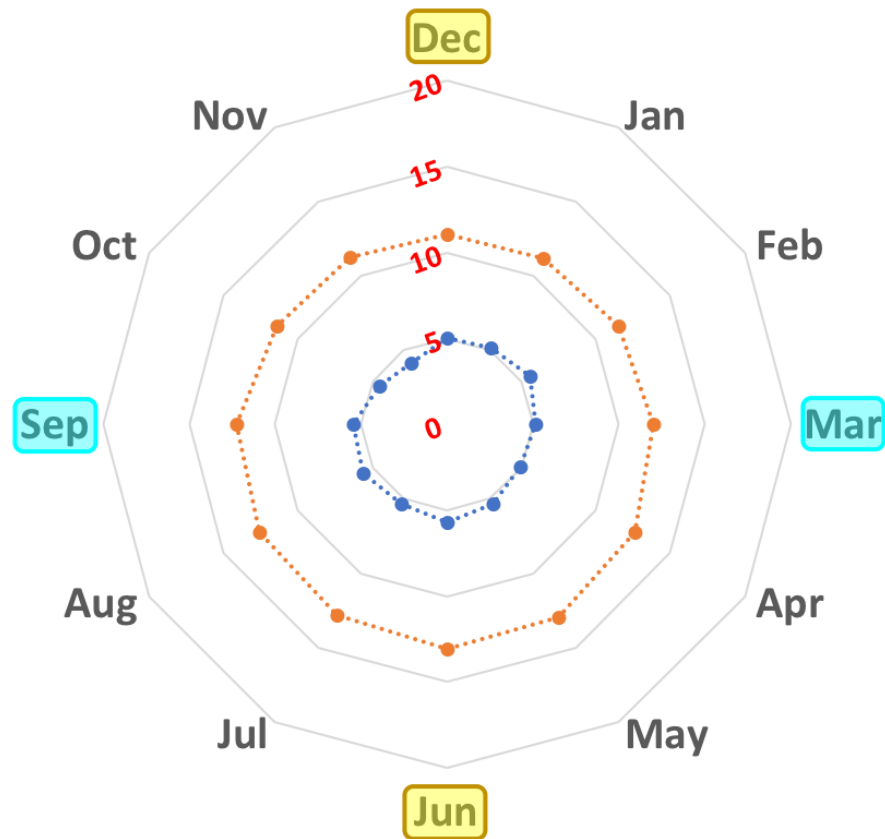
# Horas de Sol Pico Vs Horas de luz al día

Las Cruces, PR

Ubicación= 18.29°N, 66.2°W

Angulo del Panel= 18.29° = latitud

····· Horas de sol Pico    ····· Horas de luz al día

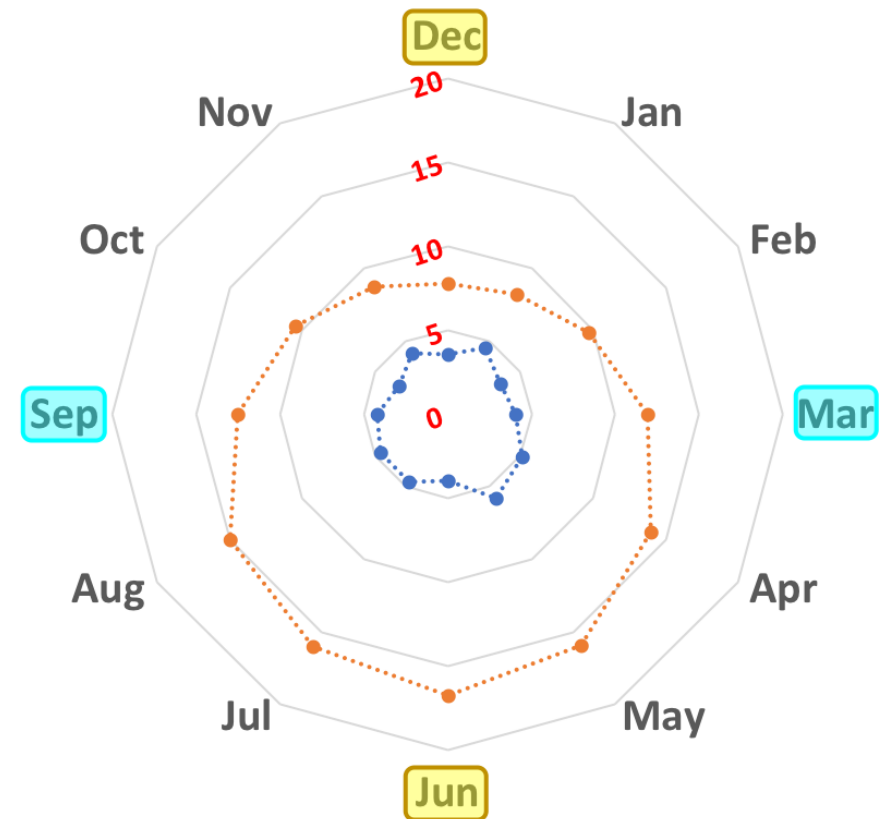


Goose Bay, Canadá

Ubicación= 53.29°N, 60.3°W

Angulo del Panel= 55.29° = latitud

····· Horas de sol Pico    ····· Horas de luz al día



Solsticio

Equinoccio

## Datos de Insolación diaria (KWh/m<sup>2</sup>) – San Juan, PR

<b>SAN JUAN, PUERTO RICO</b>				Locación: : <b>18.47° N</b> , 66.10° W, 6 Metros									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>Latitud Angulo -15</b>													
Array Fija	5.22	5.85	6.84	7.06	6.41	7.03	7.39	6.62	6.29	5.78	5.07	5.19	6.23
Array Tracking	5.97	6.99	8.50	9.06	8.38	9.15	9.58	8.59	7.98	7.04	5.90	6.24	7.78
<b>Latitud Angulo°</b>													
Array Fija	6.00	6.42	7.08	6.89	6.00	6.44	6.82	6.36	6.36	6.21	5.74	6.08	6.37
Array de Tracking	6.90	7.73	8.92	9.00	7.98	8.52	9.01	8.39	8.21	7.66	6.74	7.32	8.03
<b>Latitud Angulo +15</b>													
Array Fija	6.46	6.65	6.96	6.40	5.35	5.58	5.96	5.80	6.12	6.32	6.11	6.64	6.19
Array de Tracking	7.36	7.95	8.72	8.33	7.03	7.31	7.83	7.62	7.87	7.75	7.12	7.90	7.73
Dos ejes Tracking	7.40	7.96	8.94	9.12	8.40	9.23	9.63	8.61	8.22	7.79	7.15	7.99	8.37

*Fuente: Photovoltaics Design and Installation Manual : Pg. 271*

- Equinoccio

- Solsticio

- mecanismo de Tracking

## Datos de Insolación diaria (KWh/m<sup>2</sup>) – San Juan, PR

<b>SAN JUAN, PUERTO RICO</b>				Locación: <b>18.43° N</b> , 66.10° W, 6 Metros									
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
<b>Latitud Angulo -15</b>													
Array Fija	4.5	5.1	5.8	6.1	5.7	6.0	6.0	6.0	5.6	5.0	4.5	4.1	5.4
Array Tracking	5.8	6.5	7.5	7.8	7.2	7.5	7.6	7.5	7.0	6.4	5.7	5.2	6.8
<b>Latitud Angulo°</b>													
Array Fija	5.1	5.6	6.1	6.1	5.4	5.5	5.6	5.8	5.7	5.4	5.1	4.8	5.5
Array de Tracking	6.3	6.9	7.7	7.8	6.9	7.2	7.3	7.4	7.1	6.7	6.1	5.7	6.9
<b>Latitud Angulo +15</b>													
Array Fija	5.5	5.8	6.0	5.7	4.9	4.8	5.0	5.3	5.5	5.5	5.4	5.2	5.4
Array de Tracking	6.6	7.1	7.6	7.5	6.5	6.7	6.8	7.0	7.0	6.7	6.3	6.0	6.8
Dos ejes Tracking	6.6	7.1	7.7	7.9	7.2	7.7	7.7	7.6	7.1	6.7	6.4	6.1	7.2

*Fuente: Photovoltaics Design and Installation Manual : Pg. 271*

- Equinoccio

- Solsticio

- mecanismo de Tracking



Horas de Sol Pico son la clave para estimar los requerimientos de potencia fotovoltaica para un grid de cualquier tamaño

# Solar Grid para un Hogar

## Solo Paneles

**Energía (kWh) = (PV Potencia) x tiempo**

Asuma que el hogar requiere 8 kWh por día y usted tiene 5.5 HSP.

**Energía/tiempo = PV Potencia**

$$\frac{8 \text{ kWh}}{5.5 \text{ HSP}} = 1.45 \text{ kW array}$$

Asuma paneles de 300 watts:  $1450/300 = 4.8$ . Si usted agrupa todas las perdidas de energía (e.g., 70% eficiencia) el numero incrementa a  $4.8/0.7 = 6.9$  paneles. Compra 7 paneles.

$7 \times 300 \times 0.7 = 1.470 \text{ kW}$ .  $1.47 \text{ kW} \times 5.5 \text{ horas} = 8.085 \text{ kWh}$

$365 \times 8.085 = 2951 \text{ kWh}$  a \$0.20 cada uno es \$590/Año.

7 paneles @ \$250/ cada uno es \$1,750 Descuento en impuestos serán aplicados.

Base de amortización es < 3 años.

## Adición de Baterías

Baterías que puede entregar 8kWh son optimas para suplir el pico de potencia demanda

Para mantener el ciclo de vida de la batería, un máximo nivel de descarga de 40% es recomendado.

$$8\text{kWh}/0.4 = 20 \text{ kWh}$$

El costo revisado de la batería Plomo-Acido es \$2,720

El costo revisado total = \$4,470.

Base revisada de amortización es < 8 años.

# Bomba de Agua

## Solo Paneles

**Galones por día (GPD):** 27,000

**Horas de sol Pico (PSH):** 4.11 horas

Calcule los galones por minuto (GPM):

$$\mathbf{GPM} = \frac{\mathbf{GPD}}{\mathbf{HSP \times 60}} = \frac{27,000}{4.11 \times 60} = 109 \mathbf{GPM}$$

Formula estándar

Después de investigar se identifica que una bomba de 10 kW es requerida.

10 kW X 4.11 HSP = 41.1 kWh/ por día.

41.1 X 365 = 15,001 kWh a 20 centavos cada uno \$3000 por año

10 kW/(0.3 kW/panel) = 33 paneles at \$250 cada uno = \$8,250.

El periodo de amortización es de 3 años

## Adición de Baterías

Un paquete de baterías que puede entregar 41.1 kWh es optimo para suplir la potencia demandada

Para mantener el ciclo de vida de la batería, un máximo nivel de descarga de 40% es recomendado

41.1/0.4= 103 kWh cuesta

Costo de la batería plomo acido \$ 14,000

Esto incrementa el costo total a \$22,250

El periodo de amortización es de 7.5 años



A 501 (c)(3)

Technology and Education Center for Renewable Energy  
San Juan, Puerto Rico

Ingresa a [www.TECRE.org](http://www.TECRE.org) para obtener mas información

Gracias