

GUIA DE PARÁMETROS CALCULADOS



1859

unl

Universidad
Nacional
de Loja

1 PASOS PARA EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO MEDIANTE SOLECUADOR

1.1 Pasos para el cálculo de los parámetros radiación global, directa y difusa de las provincias:

1. Como primer paso se debe contar con las radiaciones directas mensuales de cada provincia del Ecuador, como se muestra a continuación. Estas podemos obtener de varias plataformas como Global Solar Atlas o PVGIS.

Provincias	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Radiación Directa
Esmeraldas	1785	1895	2271	2367	1837	1638	1740	1724	1471	1448	1425	1351	637.29
Manabí	1647	2096	2685	2489	1851	1474	1583	1850	1710	1479	1533	1297	659.86
Santa Elena	4058	3811	4378	4754	4080	2824	2001	1965	2151	2097	2421	3629	1160.97
Santo Domingo de los Tsáchilas	1277	1470	1759	1632	1408	1306	1609	1787	1417	1206	1180	1075	520.92
Los Ríos	1843	2087	2509	2303	1814	1518	1698	1981	1899	1641	1559	1612	683.28
Guayas	1972	2249	2834	3068	2595	2191	2280	2831	2815	2370	2340	1990	898.36
El Oro	1244	1319	1563	1576	1341	1397	1562	1714	1518	1713	1905	1282	551.58

2. Como segundo paso se debe sacar el promedio de radiación directa anual de cada una de las provincias, en kWh/m2.

Utilizando la siguiente formula:

$$\text{Promedio radiación}_{\text{anual}} = \frac{\text{suma de radiacion de los doce meses del año}}{12 * 365 \text{ Dias}}$$

Promedio radiación_{anual}

$$= 1785 + 1895 + 2271 + 2367 + 1837 + 1638 + 1740 + 1724 + 1471 + 1448 + 1425 + 1325$$

$$\text{Promedio radiación}_{\text{directa anual}} = \frac{20952,00 \text{ kWp}}{12 * 365}$$

$$\text{Promedio radiación}_{\text{directa anual}} = 637,29 \text{ kWp}$$

3. Como tercer paso se debe obtener el promedio de radiación difusa anualmente de cada provincia. Este dato se lo obtuvo de la plataforma Global Solar Atlas.

Provincias	Radiación difusa
Esmeraldas	930,7
Manabí	899,9

Santa Elena	882
Santo Domingo de los Tsáchilas	909,8
Los Ríos	930,1
Guayas	932,6
El Oro	886,3

4. Como cuarto paso se debe calcular la radiación global en kWh/m², mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Radiación}_{\text{global}} = \text{Radiación}_{\text{directa}} + \text{Radiación}_{\text{difusa}}$$

Obteniendo así el siguiente resultado

Provincias	Radiación Directa	Radiación difusa	Radiación global
Esmeraldas	637,29	930,7	1567,99
Manabí	659,86	899,9	1559,76
Santa Elena	1160,97	882	2042,97
Santo Domingo de los Tsáchilas	520,92	909,8	1430,72
Los Ríos	683,28	930,1	1613,38
Guayas	898,36	932,6	1830,96
El Oro	551,58	886,3	1437,88

5. Seguidamente se debe calcular la declinación solar del lugar, para un día en específico del año. Mediante la siguiente fórmula.

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$$

Obteniendo así una declinación para el día 183:

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + 183}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 21,9216$$

6. Además, se deberá calcular el ángulo cenit del lugar utilizando el valor de declinación y la latitud del lugar, para el cual se utiliza la siguiente formula:

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta$$

Dando así los siguientes valores

Provincias	Declinación	latitud	Ángulo cenit
Esmeraldas	21,9216	0,95	22,099
Manabí	21,9216	-0,75	23,799

Santa Elena	21,9216	-2,23	25,276
Santo Domingo de los Tsáchilas	21,9216	-0,33	23,383
Los Ríos	21,9216	-1,30	24,349
Guayas	21,9216	-1,90	24,949
El Oro	21,9216	-3,48	26,532

7. Se procede a calcular el valor de la radiación global horizontal del lugar, utilizando la siguiente formula.

$$\text{Radiación}_{GH} = \text{Radiación}_{directa} + \text{Radiación}_{difusa} * \cos(\text{ángulo cenit})$$

Obteniendo así el valor de

Provincias	Radiación GH kWh//m2
Esmeraldas	1499,58
Manabí	1483,18
Santa Elena	1958,48
Santo Domingo de los Tsáchilas	1355,93
Los Ríos	1530,60
Guayas	1743,85
El Oro	1344,46

Una vez obtenido los valores de radiación global horizontal se procede a los siguientes pasos

1.2 Pasos para el cálculo del sombreado

Se calcula el sombreado que existe en cada provincia, con el fin de saber las pérdidas de radiación, mediante la siguiente ecuación:

$$FS = \left(\frac{G_d}{G_g} \right) / 1000$$

Donde

FS = Factor de sombras kWh/m²

G_d = Radiancia directa

G_g = Radiancia global horizontal

Como por ejemplo la radiación solar global de la provincia de Esmeraldas es igual a 1499.58 kWh/m² y la radiación directa es de 637.7 kWh/m², aplicando la formula obtenemos que el sombreado es igual a:

$$FS = \left(\frac{1499,58 \text{ kWh/m}^2}{637,7 \text{ kWh/m}^2} \right) / 100$$

$$FS = 0,004$$

Obteniendo así los siguientes valores de sombreado

Provincias	Sombreado
Esmeraldas	0,0042
Manabí	0,0044
Santa Elena	0,0059
Santo Domingo de los Tsáchilas	0,0038
Los Ríos	0,0045
Guayas	0,0052
El Oro	0,0041

1.3 Pasos para el cálculo de la producción de energía de un panel solar

Se procede a utilizar la fórmula para el cálculo de la producción de energía anual de un sistema fotovoltaico en condiciones, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{FV} = P_{NOM} * Y_R * (1 - FS) * PR \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

Donde:

E_{FV} = Energía nominal producida anualmente (kWh).

P_{NOM} = Potencia nominal del generador fotovoltaico (1kW/m²).

Y_R = Radiación promedio anual incidente en el plano del generador.

FS = Factor de sombras (kWh/m²).

PR = performan rittio que es de 0,7 o 0,8.

Para poder calcular la producción de energía anual se debe tener en cuenta el valor de radiación promedio anual incidente en el plano del generador, por consiguiente, para poder obtener este dato se debe realizar una serie de cálculos como: calcular el ángulo óptimo del lugar, calcular la irradiancia media anual de la superficie inclina y realizar el cálculo de la irradiancia efectiva teniendo en cuenta que $\beta = 15$.

Ángulo óptimo

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi|$$

Irradiancia media anual

$$\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{opt}}} = 1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta_{opt} - 1,19 * 10^{-4} * \beta_{opt}^2$$

Irradiancia efectiva

$$G_{a,ef}(\alpha\beta) = G_{a,ef}(\beta_{opt}) \left[g_1(\beta - \beta_{opt})^2 + g_2(\beta - \beta_{opt}) + g_3 \right]$$

Asimismo, los coeficientes para resolver la ecuación anterior, se presentan a continuación en la siguiente tabla, para estos cálculos fueron tomados los valores de la tercera columna.

Tabla 1.

Valores de los coeficientes para el caso de un módulo con suciedad media.

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
g_{1i}	$8 * 10^{-9}$	$3,8 * 10^{-7}$	$-1,218 * 10^{-4}$

g_{2i}	$-4,27 * 10^{-7}$	$8,2 * 10^{-6}$	$2,892 * 10^{-4}$
g_{3i}	$-2,5 * 10^{-5}$	$-1,034 * 10^{-4}$	0,9314

Una vez obtenido los valores de irradiancia media anual y irradiancia efectiva se procede a calcular la irradiancia global en el plano del generador.

$$G_{a,ef}(\alpha\beta) = \frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{opt}}} * \frac{G_{a,ef}(\alpha\beta)}{G_{a,ef}(\beta_{opt})} * \text{Radiación}_{GH}$$

Y para poder obtener la irradiancia promedio anual del lugar se procede a realizar el siguiente calculo.

$$Y_R = \frac{G_{a,ef}(\alpha\beta)}{1\text{kWh/m}^2}$$

A continuación, se presenta una tabla donde constan los parámetros calculados.

Provincias	Latitud	B opt	B	$\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{opt}}}$	$\frac{G_{a,ef}(\alpha\beta)}{G_{a,ef}(\beta_{opt})}$	$G_{a,ef}(\alpha\beta)$ kWh/m ²	Y_R h
Esmeraldas	0,95	4,356	15	0,9958	0,9207	1386,45643	1386,45643
Manabí	-0,75	4,218	15	0,9960	0,9204	1370,53274	1370,53274
Santa Elena	-2,23	5,236	15	0,9944	0,9226	1817,08977	1817,08977
Santo Domingo de los Tsáchilas	-0,33	3,930	15	0,9964	0,9197	1251,50964	1251,50964
Los Ríos	-1,30	4,597	15	0,9954	0,9212	1416,49749	1416,49749
Guayas	-1,90	5,011	15	0,9948	0,9221	1616,51052	1616,51052
El Oro	-3,48	6,103	15	0,9928	0,9243	1251,68423	1251,68423

1.4 Pasos para el cálculo de la producción de energía anual del generador fotovoltaico

Una vez obtenido los valores de radiación en el plano del generador se procede a realizar el cálculo de la energía potencial anual que genera el panel fotovoltaico.

Por ejemplo, Para calcular el valor promedio energía fotovoltaica en la provincia de esmeraldas, se toma los siguientes valores:

Datos

$$P_{\text{NOM}} = 405 \text{ W}$$

$$Y_R = 1386.45643$$

$$FS = 0.0042$$

$$PR = \text{performan rittio que es de } 0,7 \text{ o } 0,8$$

- Calculamos la energía fotovoltaica anual

$$E_{\text{FV}} = P_{\text{NOM}} * Y_R * (1 - FS) * PR \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

$$E_{\text{NOM}} = 301 * 1386.45643 * (1 - 0.0042) * 0.8$$

$$E_{\text{FV anual}} = 447.325 \text{ kWh/m}^2$$

Obteniendo este resultado, se podría decir que un panel de 405 W produce 447.325 kWh/m² de energía anual en la provincia de esmeraldas.

1.5 Pasos para el cálculo del consumo energético de los electrodomésticos que se cuenta en el hogar:

1. Se debe realizar una lista de los electrodomésticos que se tiene en el hogar.
2. En segundo se debe saber la potencia que consume cada electrodoméstico en una hora.

ELECTRODOMÉSTICOS	Consumo kW/h
Cocina	2000
Refrigeradora	0.25
Microondas	1500
Licuadaora	300
Computadora	200
Focos	60
Lavadora	1000
Horno eléctrico	2700

Consumo_TV_de_55_pulgadas	200
Consumo_TV_de_75_pulgadas	270

3. Para el cálculo de la potencia que se puede consumir en el hogar mediante los electrodomésticos se lo realiza con la siguiente formula

$$\text{Consumo energético (kWh)} = \text{potencia (kW)} \times \text{tiempo (h)}$$

- Por ejemplo, si tenemos un foco de 100 W encendido durante 8 horas, el consumo energético sería:

$$\text{Consumo energético} = (100 \text{ Watios} \times 8 \text{ horas}) / 1000 = 0.8 \text{ kWh}$$

- El consumo energético entonces en un mes seria de:

$$\text{Consumo energético}_{\text{mensual}} = (0.8 \times 30) \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo energético}_{\text{mensual}} = 24 \text{ kW}$$

$$\text{Consumo energético}_{\text{anual}} = (24 \times 12) \text{ kW}$$

$$\text{Consumo energético}_{\text{anual}} = 288 \text{ kW}$$

1.6 Pasos para el calculo del valor de la factura

Una vez conocido el valor del consumo energético, se realiza el cálculo del valor de la tarifa. Por ejemplo, el precio de la energía en el Ecuador varía según los rangos de kWh y la empresa a la cual pertenece cada provincia estos datos se los puede obtener del pliego tarifario del Ecuador del año 2022

Para proceder con el cálculo se toma de ejemplo la provincia de Esmeraldas, la cual trabaja con la empresa CNEL EP, teniendo en cuenta que el valor de la tarifa depende del rango del valor del kWh:

	Energía (USD/KWh)	Rango de Consumo KWh	
Esmeraldas Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP	0.091	1	50
	0.093	51	100
	0.095	101	150
	0.097	151	200
	0.099	201	250
	0.101	251	300
	0.103	301	350
	0.105	351	500
	0.1285	501	700
	0.145	701	1000
	0.1709	1001	1500
	0.2752	1501	2500
	0.436	2501	3500
	0.6812	3501	infinito

Entonces para realizar el calculo del valor a pagar por 24kW que se calculó anteriormente es igual.

$$\text{Valor a pagar} = 24kW * 0.091 = 2.18 \$$$

En este cálculo se toma el valor de 0.091 debido a que el rango de consumo está entre los 50 kWh de consumo. Además, se le agrega un valor por comercialización el cual es de 1.414, dando así el valor a pagar total a pagar:

$$\text{Valor total a pagar} = 2.18 + 1.414 = 3.594 \$$$

1.7 Pasos para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos

1. Como primer paso se debe calcular el consumo medio diario mediante la siguiente formula:

$$\text{Consumo medio diario} = \left(\frac{\text{consumo energetico}}{30} \right) * 1000$$

Como ejemplo se toman los valores calculados y se aplica la formula:

$$\text{Consumo medio diario} = \left(\frac{24}{30} \right) * 1000$$

$$\text{Consumo medio diario} = 800Wp$$

Esta energía es lo que se consume en un solo día.

2. Se procede al cálculo del número de paneles.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Consumo medio diario}}{E_{FV} \text{ producida en un día}}$$

Como se obtuvo anteriormente que el valor de energía producida anualmente por el sistema fotovoltaico es de 311.677kWh/m² para un día el valor de producción seria de 853.909 Wh/m², entonces para el cálculo del número de paneles solares seria:

$$\text{Número de paneles} = \frac{800Wh}{1225.54 Wp}$$

$$\text{Número de paneles} = 0.652 \approx 1 \text{ panel solar}$$

3. Y para el cálculo del numero de inversor se realiza mediante la siguiente ecuación:
Tomando como referencia el valor de un inversor de 6kW.

$$AC = (\text{Energía fotovoltaica producida en un día} * \text{Número de paneles})/24$$

$$AC = (1225.54 * 1)/24$$

$$AC = 35.545 W$$

$$\text{Potencia del inversor} = 1.2 * AC$$

$$AC = 51.064$$

$$\text{Potencia del inversor} = (1.2 * 35.545)$$

$$\text{Potencia del inversor} = 61.277$$

$$\text{Potencia del inversor} = \frac{61.277}{1000}$$

$$\text{Potencia del inversor} = 0.061kWh$$

$$\text{Número de inversor} = \frac{\text{Potencia del inversor}}{\text{Potencia de un inversor estandar}} kWh$$

$$\text{Número de inversor} = \frac{0.061}{6} kWh$$

$$\text{Número de inversor} = 0.0102 \approx 1 \text{ Inversor}$$

4. Para saber el consumo mensual que generaría el panel solar se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Energía mensual} = \text{Energía}_{PV} \text{ producida en un día} * \text{Número de paneles} * 30$$

$$\text{Energía generada}_{\text{mensualmente}} = 1225.54 * 1 * 30$$

$$\text{Energía generada}_{\text{mensualmente}} = 36766.43 \text{ Wp o } 36.766 \text{ kW}$$

$$\text{Energía generada}_{\text{anualmente}} = 36.766 * 12 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía generada}_{\text{anualmente}} = 441.19 \text{ kWp}$$

5. La Energía subida a la red es de:

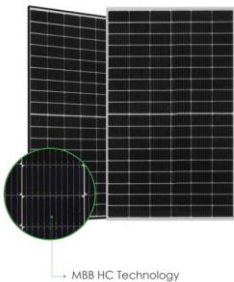
$$\text{Energía subida a la red} = \text{Energía generada}_{\text{anualmente}} - \text{Consumo energético}_{\text{anual}}$$

$$\text{Energía subida a la red} = 441.19 \text{ kWp} - 288 \text{ kWp}$$

$$\text{Energía subida a la red} = 153.19 \text{ kWp}$$

1.8 Pasos para el cálculo del ahorro y retorno de la inversión

1. Se toma en consideración el precio de los equipos con los se va a trabajar, en el caso de la herramienta se utilizó los siguientes equipos.

Componentes	Imagen	Precio
Panel Solar JINKO SOLAR Tiger Pro JKM405M-54HL4		382.47
Inversor Fronius Primo 3.8-1 208-240 Lite 4,210,064,801		2714.89

2. Se calcula el costo de los equipos mediante la siguiente formula:

$$\text{Costo aproximado SFV} = (\# \text{ paneles} * \text{valor}) + (\# \text{ inversores} * \text{valor})$$

$$\text{Costo aproximado SFV} = (1 * 382,47) + (1 * 2714,89)$$

$$\text{Costo aproximado SFV} = 3097,36$$

A este valor se le multiplica por un valor agregado por instalación, dependiendo del número de paneles:

- El valor seria de 1,5 si el :# *panel* ≤ 3 , y de 1,3 si el :# *panel* > 3, entonces el valor del costo aproximado seria de:

$$\text{Costo aproximado SFV} = 3097,36 * 1.5$$

$$\text{Costo aproximado SFV} = 4646,04$$

3. Cálculo del tiempo de retorno de la inversión es:

$$\text{Tiempo de retorno de la inversión} = \text{costo aproximado SFV} / \text{Costo de energía anual}$$

$$\text{Tiempo de retorno de la inversión} = 4646,04 / 43.176$$

$$\text{Tiempo de retorno de la inversión} = 107.607 \text{ años}$$