

STAR PEAK ENERGY SAS

DANIEL FELIPE BERNAL DÁVILA
CARLOS ANDRES MORA CABREJO

Informe de Emprendimiento - prospecto técnico para optar por el título de
INGENIERIA MECANICA

ORIENTADOR PRINCIPAL
CLAUDIO ALBERTO MORENO LÓPEZ
INGENIERO INDUSTRIAL
CO-ORIENTADORES
ERIC FABIEN NAVARRO ARQUEZ
INGENIERO MECÁNICO
GUSTAVO ADOLFO SALAS OROZCO
INGENIERO INDUSTRIAL

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTA D.C.

2023

NOTA DE ACEPTACION

Firma del Director

Nombre: Claudio Alberto Moreno López

Firma del Co-Director

Nombre: Gustavo Adolfo Salas Orozco

Firma del jurado (1)

Nombre:

Firma del jurado (2)

Nombre:

Bogotá D.C., enero de 2024

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Vicerrectora de Investigación y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad de Ingeniería

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Maria Angelica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Diagrama general	10
2. CONCEPTOS CLAVES PARA DIMENSIONAR UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	12
3. CÁLCULO DE SOMBRAS	16
4. SISTEMAS DE ACUMULACION	18
4.1 Capacidad diaria (Utilizando el %DODd)	18
4.2 Capacidad estacionaria (Utilizando el %DODe)	19
4.3 Capacidad de baterías necesarias	19
4.3.1 <i>Baterías en serie</i>	19
4.3.2 <i>Baterías en paralelo</i>	19
6. CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONTROLADOR DE CARGA TIPO MPPT	23
7. ELECCIÓN DEL INVERSOR	25
7.1 Configuración del inversor	25
8. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR	26
8.1 Dimensionamiento de un Sistema OnGrid ó OffGrid (Información previa)	26
8.1.1 <i>Dimensionamiento de un Sistema Solar</i>	28
8.1.2 <i>Dimensionamiento del sistema solar OnGrid con espacio limitado.</i>	35
8.2 Dimensionamiento del sistema solar OffGrid	40
10. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO	45
10.5 Factor de corrección de temperatura	46
11. PROTECCIONES Y ACCESORIOS	48
11.1 Combiner box	48
11.2 Caja DC	48

11.3 Fusibles	48
11.4 Interruptor termomagnético DC y AC	49
11.4.1 Interruptor principal DC	49
11.4.2 Interruptor diferencial	50
11.4.3 DPS eléctricos	50
11.4.4 Puesta a tierra	51
13. MANTENIMIENTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	52
13.1 Mantenimiento preventivo sistema solar	53
13.2 Estructura	53
13.3 Puesta a tierra	53
13.4 Paneles solares	54
13.4.1 Medición de electroluminiscencia	54
13.5 Inversor	55
13.6 Regulador	56
13.7 Baterías	57
BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Paso a paso para dimensionar un sistema solar fotovoltaico.	11
Figura 2 Circuitos en serie y paralelo	13
Figura 3. Unidades del sistema internacional	15
Figura 4. Diagrama de proyección de sombras	16
Figura 5. Diagrama de ejemplo 1	16
Figura 6. Diagrama de ejemplo 2	17
Figura 7. Imagen con valores de referencia para ejemplo.	20
Figura 8 Imagen con valores de referencia para ejemplo.	22
Figura 9. Diagrama general de componentes en un Sistema Solar.	26
Figura 10. Amperaje vs voltaje bajo diferentes temperaturas de trabajo para paneles solares	27
Figura 11 Factura de energía para dimensionar un sistema solar.	29
Figura 12 Extracción del consumo mes a mes de kWh/mes para dimensionar un SFV.	29
Figura 13 Grafica de consumos de energía mes a mes.	30
Figura 14. HSP's específicos para la ubicación de la industria u hogar.	30
Figura 15 Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	31
Figura 16 Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	31
Figura 17. Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.	32
Figura 18 Ficha técnica panel solar.	32
Figura 19. Imagen de referencia de las dimensiones del panel..	33
Figura 20. Tabla de proyecciones de generación de energía mes a mes con SFV propuesto	34
Figura 21 Grafica de consumo vs generación mes-mes.	35
Figura 22. Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.	35
Figura 23. Ficha técnica panel solar.	36
Figura 24. Imagen de referencia de las dimensiones del panel..	36
Figura 25. HSP's específicos para la ubicación de la industria u hogar.	37
Figura 26 Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	38
Figura 27 Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	38
Figura 28. Tabla de proyecciones de generación de energía mes a mes con SFV propuesto.	39
Figura 29 Grafica de consumo vs generación mes-mes.	39
Figura 30. Cuadro de carga.	40
Figura 31. Resumen cuadro de cargas.	40
Figura 32. Tensión de trabajo recomendada.	40

Figura 33. Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	41
Figura 34. Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.	41
Figura 35. Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.	42
Figura 36. Ficha tecnica panel solar.	43
Figura 37. Imagen de referencia de las dimensiones del panel.	43
Figura 38. Temperatura del conductor.	45
Figura 39. Clasificación de temperatura del conductor.	46
Figura40. Capacidades de corriente permisibles en conductores aislados NEC/NTC2050/NFPA70.	46
Figura 41. Imagen de referencia de Combiner Box.	48
Figura 42. Imagen de referencia de Fusibles.	49
Figura 43. Imagen de referencia interruptor termomagnético DC.	49
Figura 44. Imagen de referencia de Interruptor diferencial.	50
Figura 45 Imagen de referencia de DPS eléctrico.	51
Figura 46 Electroluminiscencia para inspección de módulos.	55

RESUMEN

Star Peak Energy es un proyecto que nace de la pasión de llevar la ingeniería a solucionar problemas reales.

Este proyecto busca resolver la problemática mundial del acceso a la energía de fuentes limpias, aplicada en Colombia donde particularmente se encuentra la problemática de la diversificación energética del país, atacando directamente uno de los principales generadores de gases de efecto invernadero, la industria.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia Energetica, Sistemas solare fotovoltaicos, Dimensionamiento sistemas solar fotovoltaico, Selección de Inversores solares, Dimensionamiento rack baterías, Calculo de sobras.

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia es clara, la necesidad de cambiar no solo los hábitos de consumo de la energía eléctrica si no también la procedencia de esta ha hecho que el mercado instale Sistemas Solares de forma masiva, a veces para independizarse de la red eléctrica convencional, a veces para reducir sus costos en la factura de energía, o por motivos medioambientales y así reducir las emisiones de CO2 que generamos.

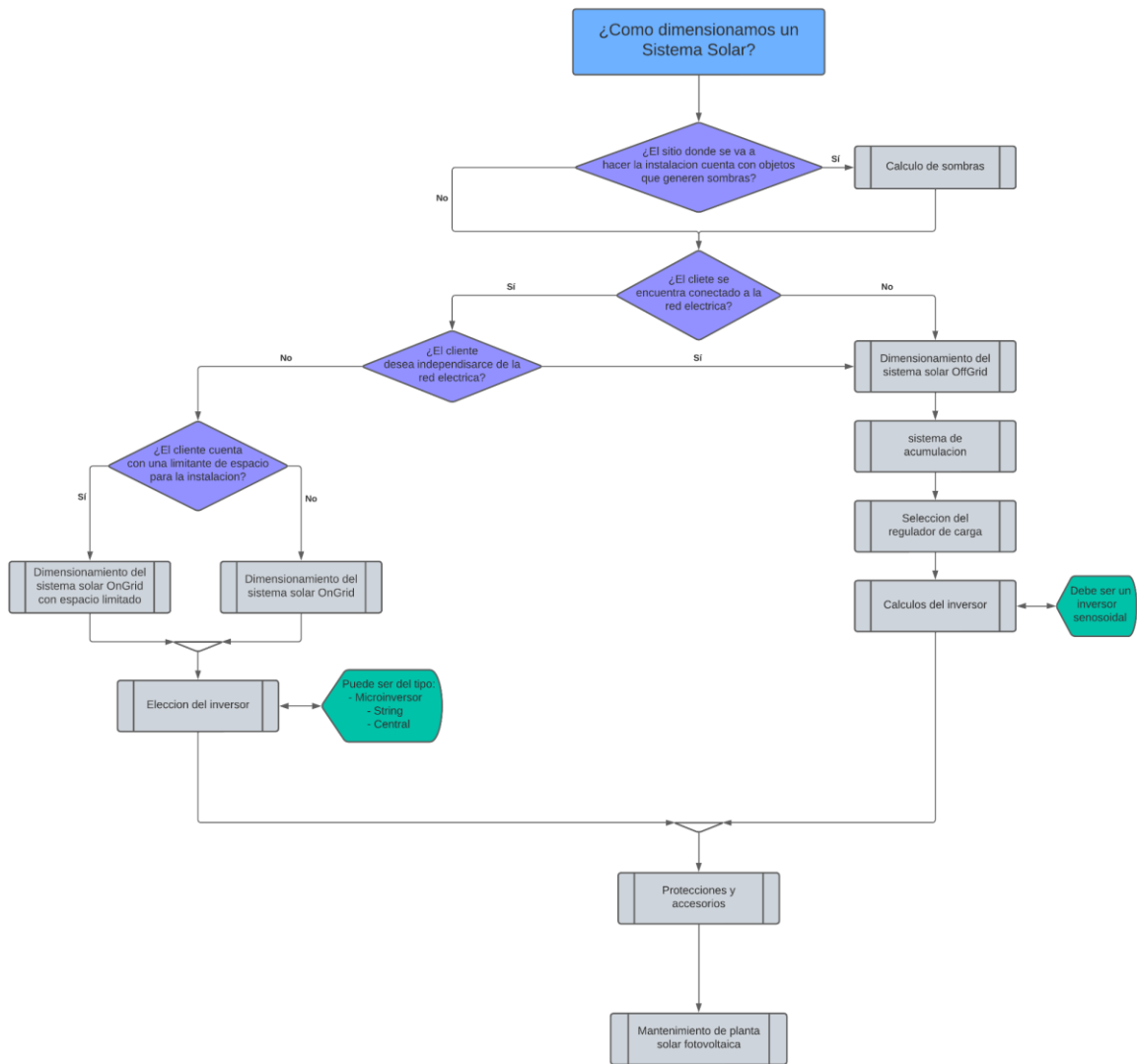
Así mismo, optimizar los procesos de dimensionamiento para saber los requerimientos de un Sistema Solar a instalar fomentará el uso de dichas tecnologías, esta cartilla tiene como ideal optimizar y facilitar el acceso al dimensionamiento de este tipo de tecnologías.

1.1 Diagrama general

¿Cómo se debe dimensionar un Sistema Solar Fotovoltaico?

Figura 1.

Paso a paso para dimensionar un sistema solar fotovoltaico.



Nota. Diagrama de como se debe ejecutar el proceso de acercamiento y dimensionamiento de un Sistema Solar Fotovoltaico para hogar/empresa.

2. CONCEPTOS CLAVES PARA DIMENSIONAR UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Energía: Está definida como la potencia en el tiempo

$$E = p \times t$$

Potencia está en unidades de watts

Irradiancia Es la energía que incide en un área específica

$$[w/m^2]$$

Potencia en w

Irradiación Es la energía que incide en un área y tiempo específico

$$[Wh/m^2]$$

Energía Wh

Sistema off-grid : Es un sistema que no va estar conectado a la red por lo tanto es necesario tener un sistema de almacenamiento de energía (Baterías), el cual permite tener una flujo de energía constante, este sistema todos sus componentes deben tener el mismo voltaje.

Se usa un inversor de onda pura para mejorar la eficiencia de los equipos.

Sistema On-grid : Sistema conectado a red funciona de manera híbrida con la red dependiente a la demanda energética que requiera el sitio, es necesario la instalación de un medidor bidireccional, seguir la normativa específica de la CREG y usar equipos híbridos para recibir energía solar y la del sistema eléctrico.

Se debe realizar una sincronización de la onda con la corriente o la onda de la red. Por medio del inversor, funcionan únicamente con la red.

Voltaje / Diferencia de potencial / Fuerza del electrón

Esta magnitud se encarga de mantener la diferencia de cargas entre dos puntos.

Corriente / Intensidad

La cantidad de electrones se desplazan por un hilo conductor.

$$\text{Intensidad} = \text{Carga Eléctrica} / \text{tiempo}$$

$$1 \text{ Amperio} = 1 \text{ Culombio} / 1 \text{ Seg}$$

Resistencia eléctrica R - ohmio Ω

$$R = \rho \times l / s \text{ mm}^2$$

ρ = Resistividad del material [$\mu\Omega \times m$]

ρ cobre = 0.0172 [$\mu\Omega \times m$, a 20°C]

L = longitud [m]

S = Sección del hilo conductor [mm]

- Resistencia inductiva (X_L)
- Resistencia Capacitiva (X_C)

Resistencia

PTC = Aumenta la temperatura aumenta la resistencia

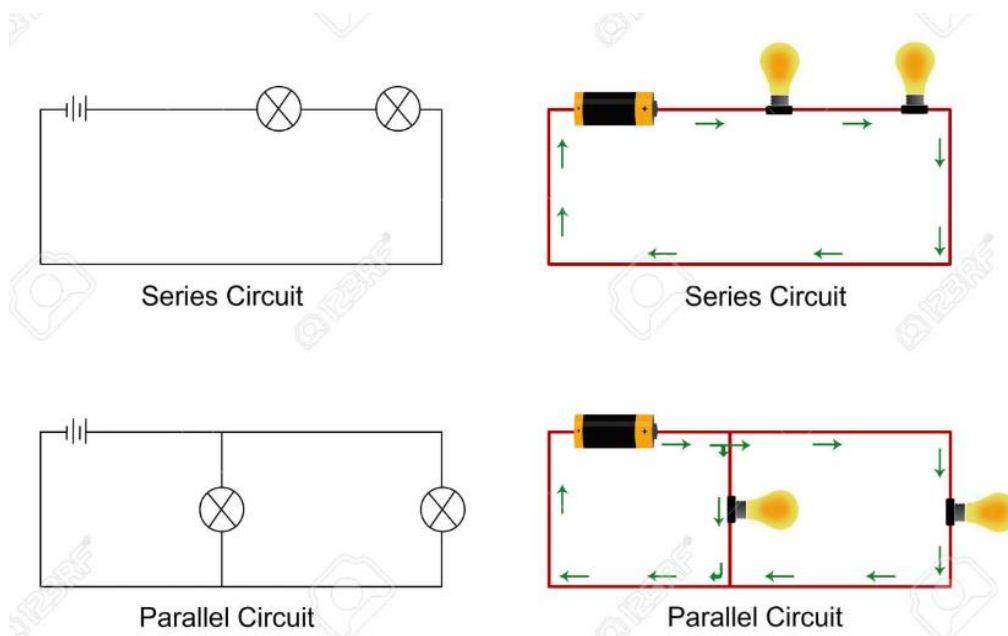
VDR = Según el voltaje, aumenta la tensión disminuye el valor de resistencia

NTC = Aumenta la temperatura disminuye la resistencia

LDR = Depende de la luz, aumenta la luz disminuye la resistencia

Figura 2

Circuitos en serie y paralelo



Nota. Diagrama que muestra como es un circuito en serie y en paralelo. Tomado de: 123RF (24 de Mayo del 2024), disponible en: https://es.123rf.com/photo_64066735_circuitos-en-serie-y-paralelos-sobre-fondo-blanco-de-gran-ayuda-para-la-educaci%C3%B3n-b%C3%A1sica-y-escuelas.html

Serie

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_n$$

Paralelo

$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_n$$

Ley de Ohm

A mayor voltaje mayor corriente, esto quiere decir que son directamente proporcionales.

$$R = \rho \times L/A$$

$$R = V / I$$

Capacitancia

Capacidad de un componente para almacenar energía.

- **Capacitadores** : $1 A = 0,239 \text{ cal eq termoelec}$

$$Q = 0.239\pi I^2 R t \text{ calorías}$$

$$Q = I^2 R t \text{ joules}$$

Potencia

cantidad de energía que genera o que consume un equipo.

$$P(t) = v(t) \times I(t)$$

La potencia activa en circuito monofásico en corriente alterna

$$P = V \times I \cos\Phi$$

$\cos\Phi$ = Es igual al valor del factor de potencia o coseno “fi”

P = a la potencia de consumo eléctrico Watt (W)

I = intensidad de la corriente que fluye (A)

Φ = carga resistiva 1

Φ = Carga inductiva “Siempre > 1”

Potencia aparente o potencia total [S]

$$S = V \times I$$

V = Es igual a voltaje

Va = Es la unidad de medida del voltiamperio

I = Intensidad, corriente [A]

Potencia Reactiva o inductiva [Q]

Energía que consumen los motores, transformadores.

$$Q = \sqrt{s^2 - p^2}$$

Var = Unidad de medida reactiva “volt-amperio reactivo”

Q = valor de carga reactiva o inductiva VAR

S = Valor de potencia. Aparente

P = Valor de potencia activa o resistiva. W

Capex

Se explica cómo la inversión necesaria para mantener o expandir los bienes de capital (fábricas, maquinaria, vehículos etc.). Es muy importante dentro de la actividad de una empresa y su evolución.

Sabemos que el futuro de una compañía su crecimiento y los flujos de caja que genere dependerá de las inversiones realizadas.

Sistema de unidades

Intensidad : Amperios

Voltaje, tensión: Voltios

Resistencia: ohms

Potencia: vatios

Sistema Internacional

Figura 3.

Unidades del sistema internacional

Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	Kg
Tiempo	Segundos	s
Corriente Eléctrica	Ampere	A
Temperatura termodinámica	Kelvin	k
Intensidad luminosa	Candela	cd

Nota. Tabla de variables con unidades de medida y su respectiva representación.

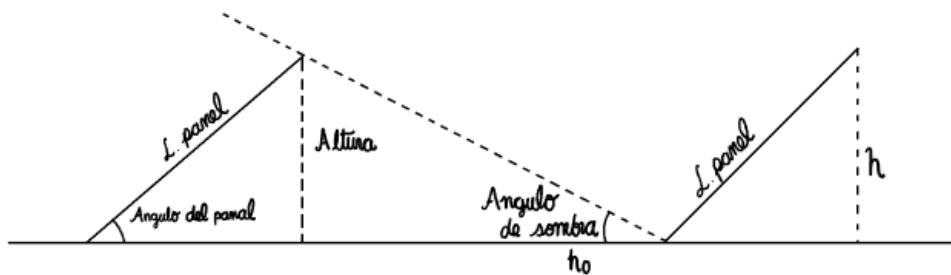
3. CÁLCULO DE SOMBRAS

La declinación solar en el solsticio de invierno ya que la declinación solar es menor lo que quiere decir que es el punto donde se va generar una mayor de longitud de sombra dependiendo las dimensiones de los objetos a evaluar, esto también depende de la **latitud** en donde se realice el montaje.

$$h_o = 90^\circ - \text{Latitud del lugar} - 23.5^\circ$$

Figura 4.

Diagrama de proyección de sombras



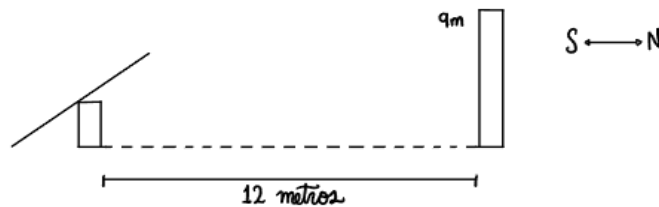
Nota. Diagrama ilustrativo de la proyección de sombras y distancia mínima entre paneles para evitar pérdidas.

Ejemplo 1

Barranquilla - Latitud $10,98^\circ$

Figura 5.

Diagrama de ejemplo 1



Nota. Ilustración de la problemática presentada en el ejemplo 1.

$$h_o = 90^\circ - 11^\circ - 23,5^\circ$$

$$h_o = 55,52^\circ$$

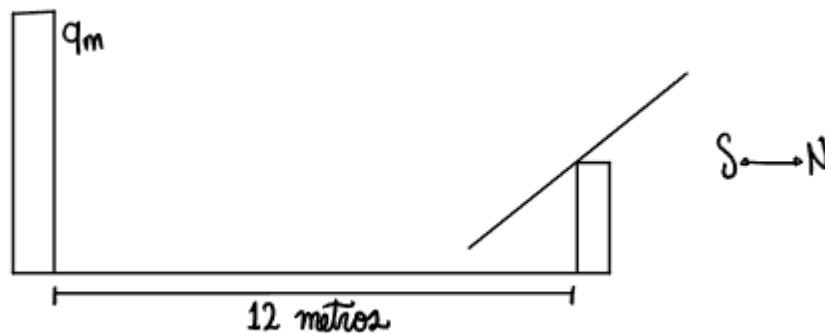
En este caso no se va a generar sombra ya que estamos en el hemisferio norte y las sombras se van a generar de sur a norte.

Ejemplo 2

Barranquilla - Latitud $10,98^\circ$

Figura 6.

Diagrama de ejemplo 2



Nota. Ilustración de la problemática presentada en el ejemplo 2.

$$ho = 90^\circ - 11^\circ - 23,5^\circ$$

$$ho = 55,52^\circ$$

$$\tan (ho) = CO (h) / CA (d)$$

$$\tan (55,52) = 9m / * distancia de sombra * (d)$$

$$d = 9m / \tan (55,51)$$

$$d = 6,18 m$$

No afecta la instalación ya que por que la sombra llega hasta 6,18 en la mayor temporada de sombra.

Nota :

- Se debe tener en cuenta que por un factor de seguridad dentro del cálculo de un 20%.
- Dentro de la radiación horizontal superficial se debe agregar una ganancia de 1,15 para el aumento del 15% por la inclinación.

4. SISTEMAS DE ACUMULACION.

Tres factores fundamentales a tener en cuenta antes de dimensionar un sistema de acumulación, el cual es generalmente implementado en sistemas desconectados de red (OffGrid):

1. **Voltaje de trabajo del sistema:** 12v, 24v, 48v depende del diseñador (Tabla inferior) o la disponibilidad en el mercado:

Tabla 1.

Tensión de trabajo bajo demanda por las cargas.

Referencia de eleccion	
Potencia demandada por las cargas [W]	Tension de trabajo [v]
Potencia < 800 Wp	12
800 Wp < Potencia < 1600 Wp	24
1600 Wp < Potencia < 3200 Wp	48
3200 Wp < Potencia < 6400 Wp	> 48

Nota. Criterio de elección de tensión de trabajo bajo la carga demandada.

2. **porcentaje** de profundidad de descarga de las baterías diario (%DODd) [Ah]
3. **días de autonomia** : Numero de días que puede funcionar el sistema acumulado sin necesidad de radiación solar (%DODe) [Ah]

Para el correcto dimensionamiento del banco de baterías de debe calcular tanto el %DODd como el %DODe, tomar el dato más grande para dimensionar el banco de baterías en la **peor situación.**

4.1 Capacidad diaria (Utilizando el %DODd)

Dependiendo de la tecnología, se busca que el %DODd sea máximo del **15%** diariamente, esto con el ideal de preservar la vida útil de las baterías:

$$C \text{ batd [Wh]} = E_{d, \max} [wh] / F_c \times \%DODd$$

$$C \text{ batd [Ah]} = C \text{ batd [Wh]} / V \text{ bat s}$$

C batd [Wh] = Capacidad de las baterías en Vatios hora diarios.

C batd [Ah] = Capacidad de las baterías en Amperios hora diarios.

E [Wh] = Energía requerida diariamente

Fc = Factor de corrección de la temperatura

V bat s = Voltage del trabajo del banco (**Definida por los equipos que se deseen alimentar**)

%DODd = Porcentaje de profundidad de descarga de las baterías diario (debe ser bajo por ser diario)

4.2 Capacidad estacionaria (Utilizando el %DODe)

Idealmente, se busca que el %DODe sea máximo del 70% en n periodo, el cual es definido por la mayor cantidad de tiempo que se registre no se cuenta con radiación solar para cargar las baterías.

$$C \text{ bate } [Wh] = E_{d, max}[wh] \times n / F_c \times \%DODe$$

$$C \text{ bate } [Ah] = C \text{ bate } [Wh] / V \text{ bat } s$$

C bate [Wh] = Capacidad de las baterías en Vatios hora en n periodos (días).

C bate [Ah] = Capacidad de las baterías en Amperios hora en n periodos (días).

E [Wh] = Energía requerida diariamente

n = Periodos (en días) con los que no se cuente radiación solar para cargar las baterías.

Fc = Factor de corrección de la temperatura

V bat s = Voltaje del trabajo del banco (**Definida por los equipos que se deseen alimentar**)

%DODe = capacidad de la batería en estado estacionario (Sin sol n días)

4.3 Capacidad de baterías necesarias

$$N \text{ baterias} = C \text{ bat max } [Wh] / V \text{ bat } * Ah \text{ bat}$$

N baterías = # baterías = Numero de baterías requeridas de la referencia propuesta

C bat = Capacidad requerida del sistema propuesto (Es el dato mas grande entre $C \text{ bat } e$ o $C \text{ bat } d$)

V bat = Voltaje de batería por ficha técnica.

Ah bat = Amperios hora de batería por ficha técnica.

4.3.1 Baterías en serie:

Para conocer el número ideal de baterías en serie:

$$\#Bat \text{ serie} = V \text{ bat } s / V \text{ bat}$$

Bat serie = # de baterías en serie que se recomiendan para el sistema

V bat s = Voltaje recomendado de funcionamiento del sistema (Tablas)

V bat = Voltaje de la batería pre-seleccionada

4.3.2 Baterías en paralelo:

$$\#Bat \text{ paralelo} = C \text{ bat max } [Ah] / Ah \text{ bat}$$

Bat serie = # de baterías en serie que se recomiendan para el sistema

V bat s = Voltaje recomendado de funcionamiento del sistema (Tablas)

V_{bat} = Voltaje de la batería pre-seleccionada

Ejemplo:

$E_d = 3687.5 \text{ Wh}$

Para identificar el tipo de tensión de la batería se usa de base los Wh consumidos en un día:

Tabla 2

Tensión de trabajo bajo demanda por las cargas.

Referencia de elección	
Potencia demandada por las cargas [W]	Tension de trabajo [v]
Potencia < 800 Wp	12
800 Wp < Potencia < 1600 Wp	24
1600 Wp < Potencia < 3200 Wp	48
3200 Wp < Potencia < 6400 Wp	> 48

Nota. Criterio de elección de tensión de trabajo bajo la carga demandada.


Debido a la E_d que se requiere para el ejemplo:

$V_{bat} = 48 \text{ v}$


De acuerdo a esto, se selecciona una batería que se encuentre disponible en el mercado, para nuestro caso:

Figura 7.

Imagen con valores de referencia para ejemplo.

 **Batería GEL 12V 300Ah Tensite**

- Energía Útil Almacenada: 90%
- Medidas de la Batería: 442.5 x 400 x 222 mm
- Amperios-Hora de la Batería: 100
- Peso de la Batería: 50.5 Kg
- Mantenimiento de la Batería: Libre de Mantenimiento



Nota. Imagen de referencia con valores de capacidad de batería para el ejemplo, disponible en: <https://autosolar.co/baterias-gel-12v/bateria-gel-12v-300ah-tensite>

1) Máxima profundidad de descarga estacional y diaria (%DODd y %DODe):

$$\%DODe = 70\% , n = 2 \text{ dias}$$

$$\%DODd = 15\%$$

$$Ed, \max [Wh] = Ed * 1.15$$

$$Ed, \max [Wh] = 3687.5 Wh * 1.15$$

$$Ed, \max [Wh] = 4240.62 Wh$$

2) Cálculos de las capacidades requeridas en ambos casos:

- $\%DODd = 15\%$

$$C \text{ batd } [Wh] = Ed, \max [wh] / Fc \times \%DODd$$

$$C \text{ batd } [Ah] = C \text{ batd } [Wh] / V \text{ bat } s$$

$$C \text{ batd } [Wh] = 4240.62 Wh / 1 \times 0.15$$

$$C \text{ batd } [Wh] = 28270.8 Wh$$

$$C \text{ batd } [Ah] = 28270.8 Wh / 48 v$$

$$C \text{ batd } [Ah] = 588.97 Ah$$

- $\%DODe = 70\% , n = 2 \text{ dias}$

$$C \text{ bate } [Wh] = Ed, \max [wh] \times n / Fc \times \%DODe$$

$$C \text{ bate } [Ah] = C \text{ bate } [Wh] / V \text{ bat } s$$

$$C \text{ bate } [Wh] = 4240.62 Wh \times 2 / 1 \times 0.7$$

$$C \text{ bate } [Wh] = 12116.0571 Wh$$

$$C \text{ bate } [Ah] = 12116.0571 Wh / 48 v$$

$$C \text{ bate } [Ah] = 252.41 Ah$$

SIEMPRE se escoge el mayor entre el $C \text{ bate } [Ah]$ o $C \text{ batd } [Ah]$


$$C \text{ bat max } [Wh] = C \text{ batd } [Wh] = 28270.8 Wh$$


$$C \text{ bat max } [Ah] = C \text{ batd } [Ah] = 588.97 Ah$$

3) Características de la batería y número de baterías total:

Figura 8

Imagen con valores de referencia para ejemplo.

 **Batería GEL 12V 300Ah Tensite**



- Energía Útil Almacenada: 90%
- Medidas de la Batería: 442.5 x 400 x 222 mm
- Amperios-Hora de la Batería: 100
- Peso de la Batería: 50.5 Kg
- Mantenimiento de la Batería: Libre de Mantenimiento

Nota. Imagen de referencia con valores de capacidad de batería para el ejemplo, disponible en:
<https://autosolar.co/baterias-gel-12v/bateria-gel-12v-300ah-tensite>

$$V_{bat} = 12 v$$

$$Ah_{bat} = 300 Ah$$

$$N_{baterias} = C_{bat max} [Wh] / V_{bat} * Ah_{bat}$$

$$N_{baterias} = 28270.8 Wh / 12 v * 300 Ah$$

$$N_{baterias} = 7.853$$

$$N_{baterias} \approx 8$$

4) Numero de Baterias en *serie* o *paralelo*:

$$\#Bat_{serie} = V_{bat s} / V_{bat}$$

$$\#Bat_{serie} = 48 / 12$$

$$\#Bat_{serie} = 4$$

$$\#Bat_{paralelo} = C_{bat max} [Ah] / Ah_{bat}$$

$$\#Bat_{paralelo} = 588.97 Ah / 300 Ah$$

$$\#Bat_{paralelo} = 1.9632$$

$$\#Bat_{paralelo} \approx 2$$

6. CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO DE CONTROLADOR DE CARGA TIPO MPPT

Un controlador de carga MPPT, o de seguimiento del punto de máxima potencia, es un dispositivo que se utiliza para regular la carga de una batería desde un sistema solar fotovoltaico. Los controladores MPPT son más eficientes que los controladores PWM tradicionales, ya que pueden extraer la máxima potencia de los paneles solares en cualquier condición de luz.

En términos sencillos, un controlador MPPT utiliza un circuito electrónico para variar el voltaje de salida del sistema solar fotovoltaico para que coincida con el punto de máxima potencia de la batería. Esto significa que se puede extraer más energía de los paneles solares, lo que puede aumentar la eficiencia del sistema solar en general.

Los controladores MPPT son ideales para sistemas solares fotovoltaicos de cualquier tamaño, pero son especialmente beneficiosos para sistemas de gran tamaño o sistemas que funcionan en condiciones de luz variable.

Los beneficios de los controladores MPPT:

- Mayor eficiencia: los controladores MPPT pueden aumentar la eficiencia del sistema solar fotovoltaico en un 10-20%.
- Mayor potencia: los controladores MPPT pueden extraer más potencia de los paneles solares, lo que puede aumentar la producción de energía del sistema solar.
- Mayor fiabilidad: los controladores MPPT son más fiables que los controladores PWM tradicionales.

$$I \text{ carga} = P_{mg} [W] / V_{bat} [V]$$

I carga = Corriente de carga del controlador

Pmg = Potencia máxima de generación del Sistema Solar Fotovoltaico

V bat = Voltaje de trabajo de baterías (por ficha técnica)

Tensión máxima de entrada del Regulador de Carga:

$$V_{oc \text{ gen}} = N_s \times V_{oc \text{ mod}}$$

Voc gen = Voltaje circuito abierto del generador

Ns = Paneles en serie

Voc = Módulos

Corriente máxima de entrada

$$I_{max, reg} = I_{sc, mod} \times N_{mod, paralelo} \\ < \text{Corriente de carga del regulador}$$

$$P_{mppt} > P_{mg} [W]$$

$I_{max,reg}$ = Corriente máxima del regulador. [Ah]

$I_{sc,mod}$ = Corriente de cortocircuito de cada módulo [Ah]

$N_{mod, paralelo}$ = Número de paneles en paralelo.

P_{mppt} = Potencia del Regulador de carga (de tipo MPPT) [W]

P_{mg} = Potencia máxima de generación [W]

7. ELECCIÓN DEL INVERSOR

Factores a tener en cuenta para seleccionar un inversor que cuenta con un sistema de acumulación es decir baterías, se debe tener en cuenta estos aspectos.

1. El inversor debe ser de onda senoidal pura
2. La potencia del MPPT controlador sea mayor al generado por los módulos fotovoltaicos
3. $V_{entrada} [V] = V_{bat} [V]$

Factores a tener en cuenta para la configuración de un inversor conectado a red.

1. Requerimientos de la carga sistemas : monofasico, bifasico, trifasico
2. voltajes de funcionamiento *110 o 220 Voltios*
3. Tener la misma potencia a instalar de todos los paneles.

7.1 Configuración del inversor

- 1. Inversor central :** funciona para arregló para DC bajos, para tensión en DC bajos.
 - Ventaja : Se necesita un solo equipo
 - Desventaja : Si falla, falla todo el sistema
- 2. Configuración maestro-esclavo :** Se conectan los equipos de manera de cascada de tal manera que sumen la potencia de los paneles.
 - Ventaja : Si falla uno los demás continúan en funcionamiento
- 3. Conexión orientada a sub generador y a rama :** Si se llegan a tener diferentes superficies cambian las condiciones por lo tanto cambia su manera de generar energía.
- 4. Conexión conectada a varios sub generadores ó a varias ramas :** Es el más usado comercialmente ya que recibe en un mismo equipo tensiones diferentes
- 5. Conexión a microinversor :** Protección IP67, se puede conectar mas de dos paneles según su referencia.

Nota : La tensión máxima de los paneles solares se da cuando están a una temperatura de -10° La corriente no se ve afectada por la temperatura.

8. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR

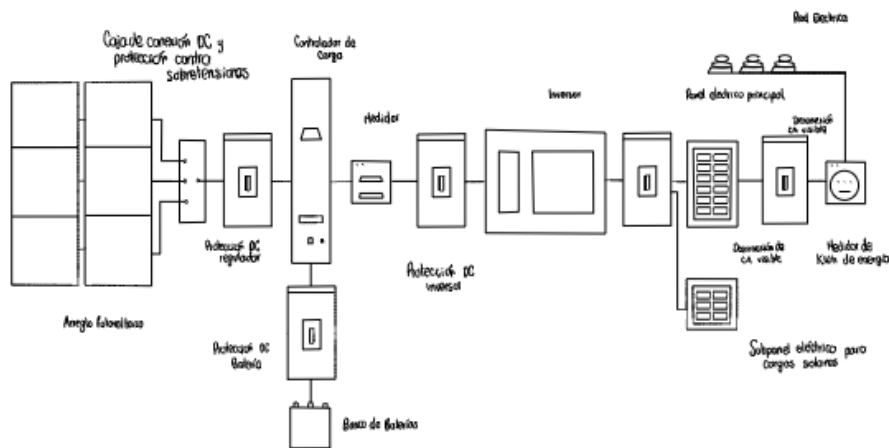
8.1 Dimensionamiento de un Sistema OnGrid ó OffGrid (Información previa)

Se deben tener en cuenta estos factores para dimensionar un sistema conectado a red:

1. Revisión de consumo con la factura de energía.
2. Disponibilidad del área para la instalación y su ubicación.
3. Análisis de sombras.
4. Análisis de conducción y radiación del lugar.
5. Determinación de los paneles (Potencia total) e inclinación (80% de la latitud de lugar maximiza la energía)
6. Cálculo de ahorro de emisiones de CO_2 que se dejan de producir por cada Kwh que no se consume de la red.

Figura 9.

Diagrama general de componentes en un Sistema Solar.



Nota. El diagrama muestra el orden y los componentes de los Sistemas Solares OnGrid con sus respectivas protecciones

Factor de rendimiento

$$PR (\%) = (Energía\ Rel\ [KWh] / A \times R \times H) \times 100$$

A = Área total del panel solar [m^2]

R = Rendimiento o eficiencia del panel solar (%)

H = Insolación solar en paneles inclinados [KWh/m^2]

Potencia total del generador

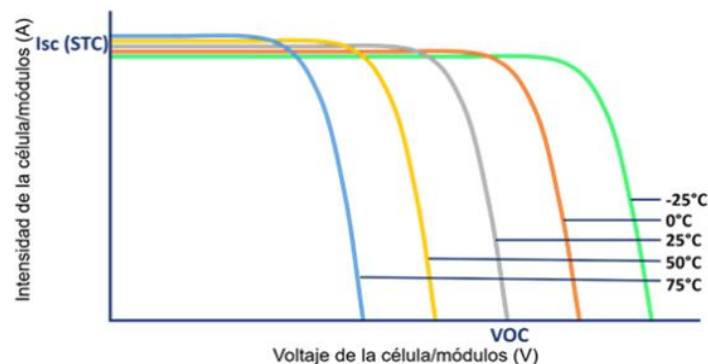
$$Pmg [KW] = Energía\ diaria / HSP \times PR [KWh / dia]$$

Calculo maximo y minimo **tensión** de los paneles

Lo primero que se debe tener en cuenta son la condiciones de temperatura; se debe realizar corrección de voltaje de circuito abierto con el coeficiente de temperatura de voltaje dado por la ficha técnica del panel.

Figura 10.

Amperaje vs voltaje bajo diferentes temperaturas de trabajo para paneles solares



Nota. Grafica de amperaje vs voltaje de paneles solares bajo diferentes temperaturas de operación, disponible en: <https://www.mpvsolarreference.com/post/el-secreto-para-sobresalir-en-fotovoltaica>

Selección del número máximo de paneles conectados en serie

Se obtiene con la temperatura mínima según condiciones del sitio.

$$V_{mod\ OC}(T_c = T_{min, sitio}) = V_{mod, OC}(stc) \times ((T_{stc} - T_{min, sitio}) \times \beta \times V_{mod, OC} + 1)$$

Voltaje del circuito abierto = Voltaje de la ficha técnica.

$V_{mod, OC}(stc)$ = Voltaje de circuito abierto del módulo a condiciones estándar (Ficha técnica)

T_{stc} = Temperatura de trabajo del módulo en condiciones estándar (Ficha técnica)

$(T_c = T_{min, sitio})$ = Nuevo voltaje máximo de circuito abierto.

β = coeficiente de temperatura del voltaje.

OC = Circuito abierto.

mod = módulos.

Número de paneles en serie:

- Número máximo de paneles en serie:

$$MAX (Nms) = \text{int} [V_{inv, M} / V_{mod, OC} (TC = T_{min, sitio})]$$

$Max (Nms)$ = Máximo número de paneles en serie.

Int = Número entero.

V_{inv} = Voltaje del inversor.

$V_{mod, OC}$ = Voltaje del módulo en circuito abierto.

- Cálculo mínimo de paneles en serie

$$V_{mod, M} (Tc = T_{max, sitio}) = V_{mod, M} (STC) \times \\ 1 (T_{max, sitio} - T_{stc}) \times \beta * V_{mod, OCT}$$

$V_{mod, M} (Tc=T_{max, sitio})$ = Voltaje de máxima potencia a condiciones específicas del sitio de instalación, Voltaje del panel en punto de máxima potencia.

$V_{mod, M} (STC)$ = Voltaje de máxima potencia a condiciones estándar (Ficha técnica).

β = Coeficiente de temperatura, ficha técnica.

$$Min (NMS) = \text{int} [V_{inv, m} / V_{mod, M} (TC = T_{max, sitio})] + 1$$

$Min (NMS)$ = Mínimo número de paneles en serie.

Int = Número entero.

$V_{inv, m}$ = Voltaje mínimo del inversor.

$V_{mod, M} (Tc=T_{max, sitio})$ = Voltaje del panel en punto de máxima potencia (dato anterior).

$$V_{mp} = \text{Int} (N / Nms)$$

- Verificación del cálculo:

$$N_{mp} \times I_{mod, SC, STC} \leq I_{inv, M, DC}$$

N_{mp} = Número de paneles en paralelo

$I_{mod, sc, stc}$ = Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico bajo condiciones estándar (ficha técnica)

$I_{inv, M, DC}$ = Corriente máxima del inversor en DC

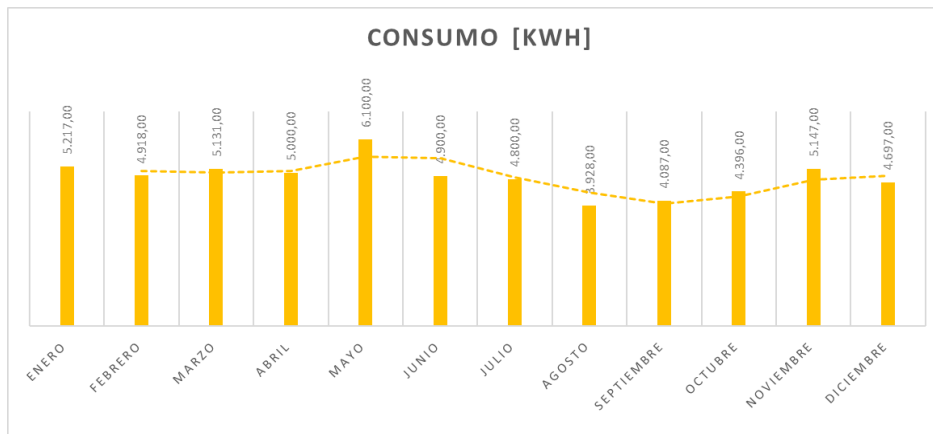
8.1.1 Dimensionamiento de un Sistema Solar:

1) Conocer la energía a suplir:

Por medio de las **facturas de energía** del cliente u hogar que se desea suplir se obtienen los datos del consumo promedio del cliente:

Figura 13

Grafica de consumos de energía mes a mes.



Nota. Grafica de consumos de energía mes a mes generada a partir de Figura 12.

El dato que se utilizará de entrada es el promedio de consumo:

$$E_m = 4.860 \text{ KWh}$$

2) Conocer la ubicación de la instalación:

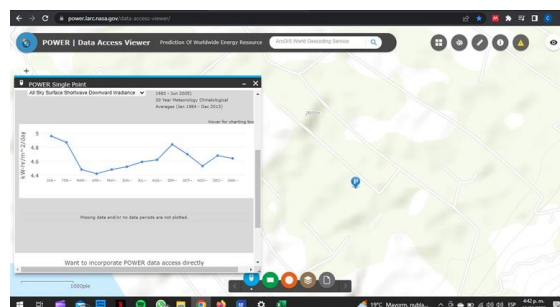
Teniendo en cuenta la ubicación donde se instalará el Sistemas Solar se deben obtener los datos de HSP (Horas de Sol Pico) específicos:

Base de datos recomendada: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Conociendo la *Latitud y Longitud* de la ubicación, se buscan los datos de los HSPs en la base de datos seleccionada:

Figura 14.

HSP's específicos para la ubicación de la industria u hogar.



Nota. Grafica generada que muestra los HSP's promedio mensuales específicos a la ubicación del proyecto a dimensionar, disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Figura 15

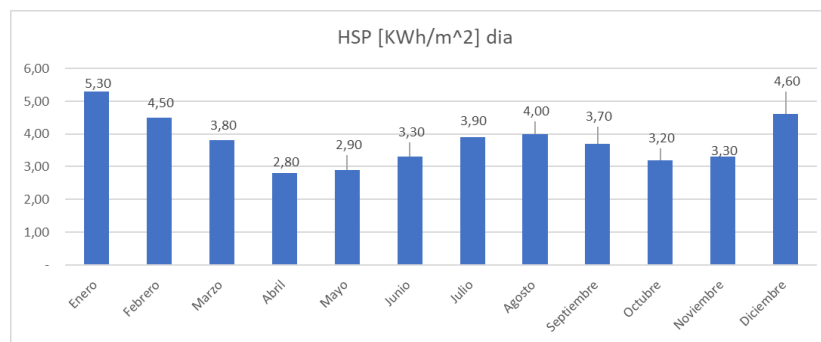
Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.

MES	HSP [KWh/m ²] dia
Enero	5,30
Febrero	4,50
Marzo	3,80
Abril	2,80
Mayo	2,90
Junio	3,30
Julio	3,90
Agosto	4,00
Septiembre	3,70
Octubre	3,20
Noviembre	3,30
Diciembre	4,60
ANN	3,80
PROMEDIO	3,78

Nota. Tabla generada a partir de la Figura 14 donde se identifica el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico.

Figura 16

Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.



Nota. Grafica generada a partir de la Figura 15 donde se identifica el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico.

El dato que se utiliza de entrada es el promedio de **HSP: 3.78**

3) Cálculo del performance ratio:

$$PR (\%) = (\text{Energía Rela [KWh]} / A \times R \times H) \times 100$$

Para nuestro caso particular:

$$PR = 80\%$$

4) Calcular la potencia a suplir por el Sistema Solar:

Por medio de la siguiente ecuación:

$$Pp = Ed / HSP * PR$$

Pp = Potencia máxima de paneles

Ed = Energía consumida diariamente.

HSP = Horas de Sol Pico

PR = Performance ratio

$$Ed = Em / 30$$

Ed = Energía consumida diaria

Em = Energía consumida mensualmente

$$Pp = 162 \text{ KWh} / 3.78 * 0.80$$

$$Pp = 53.64 \text{ KWp}$$

5) Cálculo de número de módulos que se necesitan:

Se pre-selecciona un tipo de Panel Solar para el cálculo:

Figura 17.

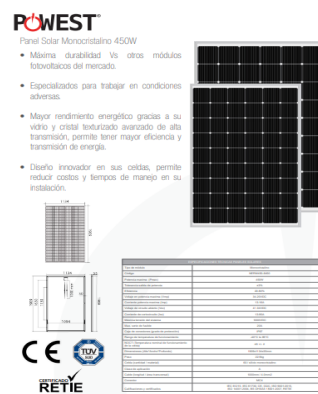
Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.

PANEL SOLAR	Panel Solar Monocristalino 450W	
	Panel Solar Monocristalino 450W	
MARCA	POWEST	
TIPO	Monocristalino	
CODIGO	NERM450-8450	
DIMENSIONES	1909 mm (A) *1134 mm (B) *35 mm (C)	
PESO	22,9 Kg	
Pmp	555,00	W
Vmp	34,20	V (DC)
Imp	13,16	A
Voc	41,04	V (DC)
Isc	13,95	A

Nota. Tabla de contenido que contiene información básica sobre el panel solar a utilizar como sus dimensiones, potencia pico (Pmp) entre otros.

Figura 18

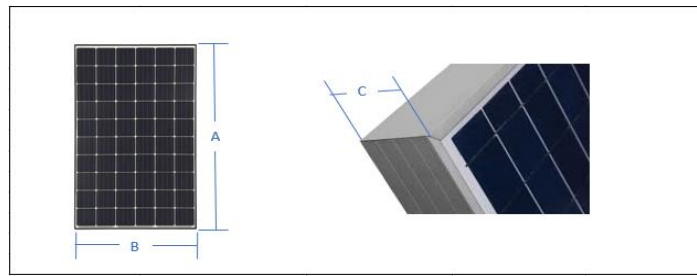
Ficha tecnica panel solar.



Nota. Ficha técnica donde se identifica información relevante del panel solar a utilizar como sus potencias de corto circuito (Isc) y su potencia media pico (Pmp).

Figura 19.

Imagen de referencia de las dimensiones del panel.



Nota. Imagen de referencia para entender que siglas corresponden a que secciones del panel para entender correctamente las dimensiones proporcionadas en la Figura 17.

Para conocer el Número de Paneles:

$$Np = Pp / Pmp$$

Np = Número de paneles

Pp = Potencia máxima de paneles

Pmp = Potencia máxima de producción de un panel (Ficha técnica)

Para nuestro caso particular:

$$Np = (53.64 \text{ KWp} * 1000) / 555 \text{ Wp}$$

*Se multiplica por 1000 debido a las unidades

$$Np = 96.65$$

$$Np \approx 97$$

De esta referencia de paneles se necesitan **97** para suplir la demanda del consumo

Recomendación: Siempre es recomendable que el número de paneles sea par.

6) Conocer la potencia final a generar:

$$Ppf = Np * Pmp$$

Ppf = Potencia máxima en paneles final

Np = Número de paneles

Pmp = Potencia máxima de producción de un panel

$$Ppf = 97 * 555 \text{ Wp}$$

$$Ppf = 53,835 \text{ Wp} / 1000$$

$$Ppf = 53.8 \text{ KWp}$$

7) Proyecciones de producción:

Contando con los datos de HSP mensuales se hacen las siguientes proyecciones:

$$Gd [\text{Wh}/\text{dia}] = (\text{HSPn} * Ppf * PR)$$

$$Gm [\text{KWh}/\text{mes}] = [Gd * \#dm] / 1000$$

G_d = Generación diaria

HSP_n = Horas Sol Pico (específico para mes n)

P_{pf} = Potencia máxima en paneles final

PR = Performance ratio

G_m = Generación mensual

$\#dm$ = Número de días mes

Ejemplo: Enero

$$G_d [Wh/dia] = (5.3 * 53,835 Wp * 0.80)$$

$$HSP_n = 5.3$$

$$P_{pf} = 53,835 Wp$$

$$PR = 0.8$$

$$G_d [Wh/dia] = 228,260.40 Wh/dia$$

$$G_m [KWh/mes] = [228,260.40 Wh/dia * 31]/1000$$

$$G_m [KWh/mes] = 7,076.07 KWh/mes$$

Así mismo, se realiza con todos los meses:

Figura 20.

Tabla de proyecciones de generacion de energia mes a mes con SFV propuesto

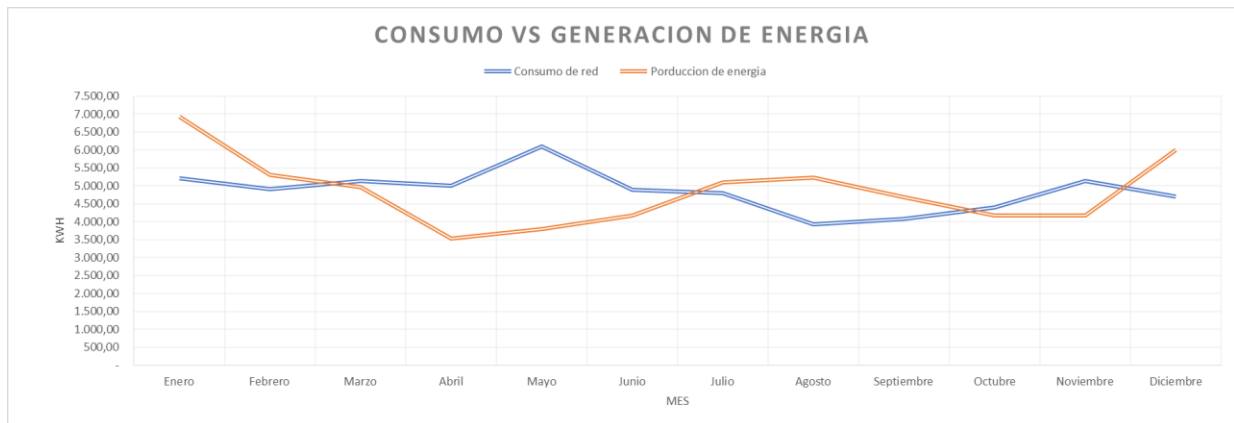
MES	Radiacion Solar Horizontal [KWh/m ²]	DIAS/MES	POTENCIA INSTALADA [Wp]	PR	GENERACION DE ENERGIA		
					[Wh/dia]	[Wh/MES]	[kWh/MES]
Enero	5,30	31	53.835,00	0,80	228.260,40	7.076.072,40	7.076,07
Febrero	4,50	28			193.806,00	5.426.568,00	5.426,57
Marzo	3,80	31			163.658,40	5.073.410,40	5.073,41
Abril	2,80	30			120.590,40	3.617.712,00	3.617,71
Mayo	2,90	31			124.897,20	3.871.813,20	3.871,81
Junio	3,30	30			142.124,40	4.263.732,00	4.263,73
Julio	3,90	31			167.965,20	5.206.921,20	5.206,92
Agosto	4,00	31			172.272,00	5.340.432,00	5.340,43
Septiembre	3,70	30			159.351,60	4.780.548,00	4.780,55
Octubre	3,20	31			137.817,60	4.272.345,60	4.272,35
Noviembre	3,30	30			142.124,40	4.263.732,00	4.263,73
Diciembre	4,60	31			198.112,80	6.141.496,80	6.141,50
Total anual	3,78	365	53.835.000,00	0,80	1.950.980,40	59.334.783,60	59.334,78

Nota. Tabla donde se identifican los datos mas relevantes para el dimensionamiento del sistema solar, como el HSP mensual, Performance Ratio (PR) y la “Potencia Instalada” propuesta en el dimensionamiento para conocer la producción mensual de energía que se espera obtener.

Así mismo, se puede crear una gráfica de consumo vs generación mes-mes:

Figura 21

Grafica de consumo vs generación mes-mes.



Nota. Grafica construida a partir de la Figura 20 donde se ve el contraste de lo consumido mes a mes vs lo generado por el sistema FV propuesto en el dimensionamiento desarrollado previamente.

*Luego de este analisis, se realiza seleccion de inversor y demas items necesarios en el sistema

8.1.2 Dimensionamiento del sistema solar OnGrid con espacio limitado.

Cuando contamos con un área específica la cual deseamos aprovechar:

Coordenadas: **4,68528, -74,08247**

$$Ad = 220 m^2$$

Ad = Area disponible

1) Información del Panel Solar a utilizar:

Figura 22.

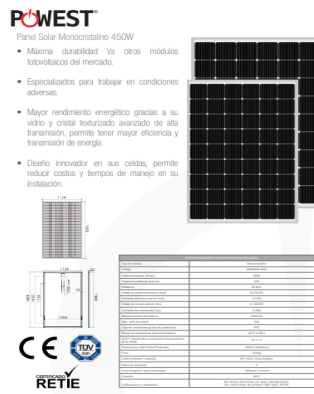
Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.

PANEL SOLAR	Panel Solar Monocristalino 450W	
	Panel Solar Monocristalino 450W	
MARCA	POWEST	
TIPO	Monocristalino	
CODIGO	NERM450-8450	
DIMENSIONES	1909 mm (A) *1134 mm (B) *35 mm (C)	
PESO	22,9 Kg	
Pmp	555,00	W
Vmp	34,20	V (DC)
Imp	13,16	A
Voc	41,04	V (DC)
Isc	13,95	A

Nota. Tabla de contenido que contiene información básica sobre el panel solar a utilizar como sus dimensiones, potencia pico (Pmp) entre otros.

Figura 23.

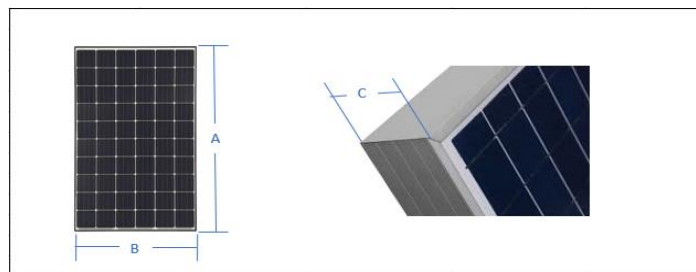
Ficha tecnica panel solar.



Nota. Ficha técnica donde se identifica información relevante del panel solar a utilizar como sus potencias de corto circuito (I_{sc}) y su potencia media pico (Pmp).

Figura 24.

Imagen de referencia de las dimensiones del panel.



Nota. Imagen de referencia para entender que siglas corresponden a que secciones del panel para entender correctamente las dimensiones proporcionadas en la Figura 22.

Especial atención a las dimensiones del panel en si:

Dimensiones panel solar (mm) : 1909 mm (A) * 1134 mm (B) * 35 mm (C)

Dimensiones panel solar (m) 1.9 m (A) * 1.1 m (B) * 0.035 m (C)

2) calculo de area aproximada por panel:

$$A_p = A * B$$

$$A_p = 1.9 \text{ m} * 1.134 \text{ m}$$

$$A_p = 2.1648 \text{ m}^2$$

$$A_p \approx 2.17 \text{ m}^2$$

A_p = Área del panel

Debido a los diversos soportes o ajustes que se requieren para la instalación del panel, más el espacio de acceso para mantenimiento y monitoreo del sistema se recomienda incrementar (mínimo) **15%** el área que ocupa cada panel.

En nuestro caso particular utilizaremos un 25%

$$Apf = Ap * 1.25$$

$$Apf = 2.17 \text{ m}^2 * 1.25$$

$$Apf = 2.7125 \text{ m}^2$$

$$Apf \approx 2.72 \text{ m}^2$$

3) Número de paneles en esta área:

$$Np = Ad / Apf$$

$$Np = 220 \text{ m}^2 / 2.72 \text{ m}^2$$

$$Np = 80.8823 \text{ paneles}$$

$$Np \approx 80 \text{ paneles}$$

4) Potencia en Paneles (Pp) y Energía diaria producida (Ed)

$$Pp = Ed / HSP * PR$$

$$Ed = HSP * PR * Pp$$

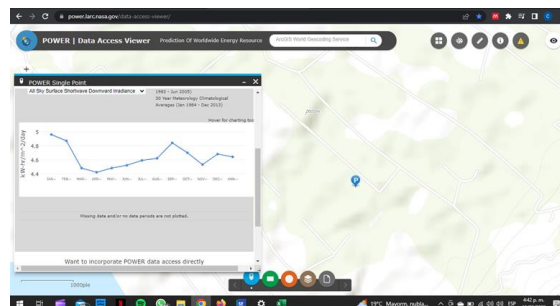
A) Horas de Sol Pico (HSP):

Base de datos recomendada: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Conociendo la **Latitud y Longitud** de la ubicación, se buscan los datos de los HSPs en la base de datos seleccionada:

Figura 25.

HSP's específicos para la ubicación de la industria u hogar.



Nota. Grafica generada que muestra los HSP's promedio mensuales específicos a la ubicación del proyecto a dimensionar, disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Figura 26

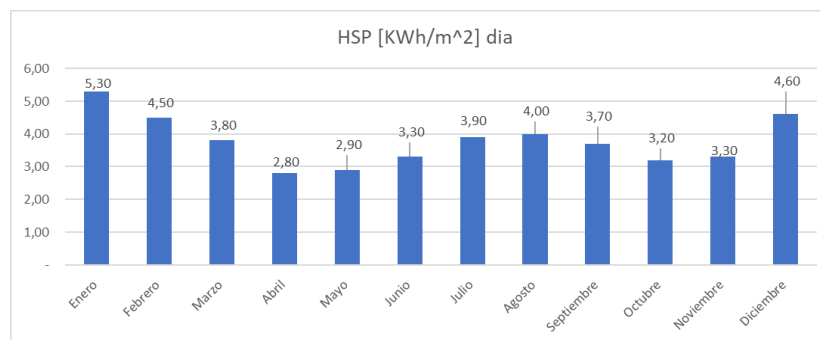
Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.

MES	HSP [KWh/m ²] dia
Enero	5,30
Febrero	4,50
Marzo	3,80
Abril	2,80
Mayo	2,90
Junio	3,30
Julio	3,90
Agosto	4,00
Septiembre	3,70
Octubre	3,20
Noviembre	3,30
Diciembre	4,60
ANN	3,80
PROMEDIO	3,78

Nota. Tabla generada a partir de la Figura 25 donde se identifica el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico.

Figura 27

Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.



Nota. Grafica generada a partir de la Figura 26 donde se identifica el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico.

El dato que se utiliza de entrada es el promedio de HSP: **3.78**

B) Performance Ratio (PR)

$$PR (\%) = (\text{Energía Rel} [KWh] / A \times R \times H) \times 100$$

Para nuestro caso particular:

$$PR = 85\%$$

C) Potencia en Paneles (Pp)

$$Pp = Np * Pmp$$

Pp = Potencia máxima en paneles

Np = Número de paneles

Pmp = Potencia máxima de producción de un panel (Ficha técnica)

$$Pp = 80 * 555 Wp$$

$$Pp = 44,400 \text{ Wp}$$

$$Pp = 44.4 \text{ KWp}$$

5) Proyecciones de producción mes a mes:

Figura 28.

Tabla de proyecciones de generación de energía mes a mes con SFV propuesto.

energía

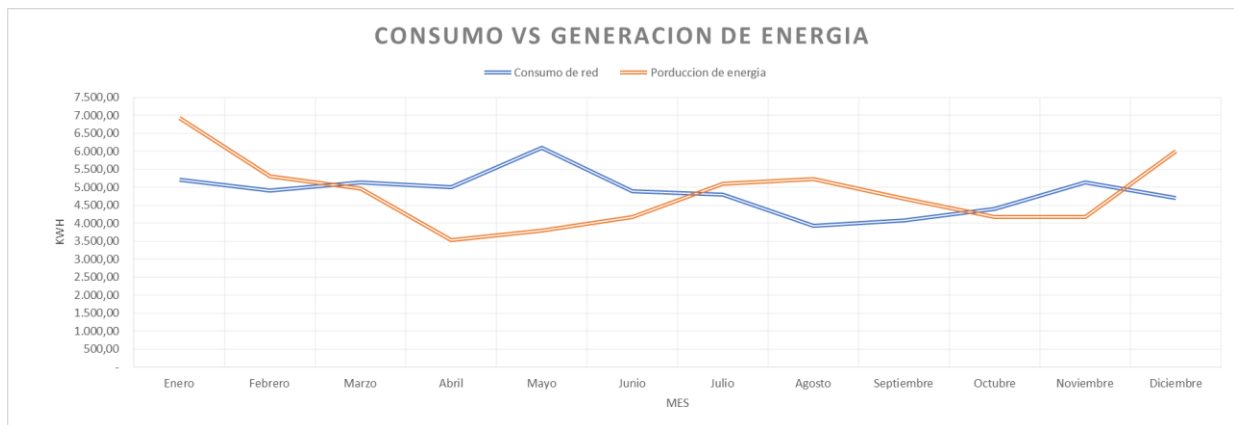
MES	Radiación Solar Horizontal [KWh/m²]	DIAS/MES	POTENCIA INSTALADA [Wp]	PR	GENERACION DE ENERGIA		
					[Wh/dia]	[Wh/MES]	[kWh/MES]
Enero	5,30	31	53.835,00	0,80	228.260,40	7.076.072,40	7.076,07
Febrero	4,50	28			193.806,00	5.426.568,00	5.426,57
Marzo	3,80	31			163.658,40	5.073.410,40	5.073,41
Abril	2,80	30			120.590,40	3.617.712,00	3.617,71
Mayo	2,90	31			124.897,20	3.871.813,20	3.871,81
Junio	3,30	30			142.124,40	4.263.732,00	4.263,73
Julio	3,90	31			167.965,20	5.206.921,20	5.206,92
Agosto	4,00	31			172.272,00	5.340.432,00	5.340,43
Septiembre	3,70	30			159.351,60	4.780.548,00	4.780,55
Octubre	3,20	31			137.817,60	4.272.345,60	4.272,35
Noviembre	3,30	30			142.124,40	4.263.732,00	4.263,73
Diciembre	4,60	31			198.112,80	6.141.496,80	6.141,50
Total anual	3,78	365	53.835.000,00	0,80	1.950.980,40	59.334.783,60	59.334,78

Nota. Tabla donde se identifican los datos más relevantes para el dimensionamiento del sistema solar, como el HSP mensual, Performance Ratio (PR) y la “Potencia Instalada” propuesta en el dimensionamiento para conocer la producción mensual de energía que se espera obtener.

Así mismo, se puede crear una gráfica de consumo vs generación mes-mes:

Figura 29

Grafica de consumo vs generación mes-mes.



Nota. Grafica construida a partir de la Figura 28 donde se ve el contraste de lo consumido mes a mes vs lo generado por el sistema FV propuesto en el dimensionamiento desarrollado previamente.

*Luego de este análisis, se realiza selección de inversor y demás ítems necesarios en el sistema

8.2 Dimensionamiento del sistema solar OffGrid.

1) Cuadro de cargas:

Figura 30.

Cuadro de carga.

CUADRO DE CARGA/ AFORO DE CARGA					
#	Equipo	Unidades	Potencia (W)	Horas de uso (H)	Energía (Wh/día)
1	Bombillo 1	1	15	4	60,00
2	Bombillo 2	1	15	6	90,00
3	Bombillo 3	1	15	3	45,00
4	Bombillo 4	1	15	1	15,00
5	Ventilador 1	1	50	6	300,00
6	Ventilador 2	1	60	8	480,00
7	Tv	1	60	5	300,00
8	Nevera	1	180	12	2.160,00
9	Licüadora	1	450	0	37,35
10	Computadora	1	40	5	200,00
11					-
12					-
13					-
14					-
15					-
16					-
17					-
18					-
19					-
20					-
21					-
22					-

Nota. Tabla que consta de el equipo identificado en la visita técnica, cantidad de equipos de la misma referencia, su consumo de potencia en Watts (w), horas de uso promedio diarias, y un total de watts consumidos diariamente. El ideal del aforo de cargas es mostrar todos los equipos que consumen energía eléctrica, junto con la potencia (encontrada en la ficha técnica del equipo) y las horas de uso promedio (respecto a un día)

Figura 31.

Resumen cuadro de cargas.

RESUMEN DEL CUADRO DE CARGAS	
POTENCIA TOTAL [W]	900
Energía diaria consumida [Wh/día]	3.687

Nota. Tabla con dos datos fundamentales, potencia total que se tiene instalada en la residencia u industria y total diario consumido.

2) Definir tipo de batería:

Criterio de elección:

Figura 32.

Tensión de trabajo recomendada.

Potencia demandada por las cargas [W]	Tension de trabajo
Menor a 1,500	12, 24 o 48 (v)
1,500 - 5,000	24 o 48 (v)
Mayor a 5,000	120 o 300 (v)

Nota. Criterio de elección de tensión de trabajo bajo la carga demandada.

3) Ubicación y HSPc:

Bucaramanga, Colombia (7,120369, -73,114825)

Base de datos recomendada: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Conociendo la *Latitud y Longitud* de la ubicación, se buscan los datos de los HSPs en la base de datos seleccionada:

Figura 33.

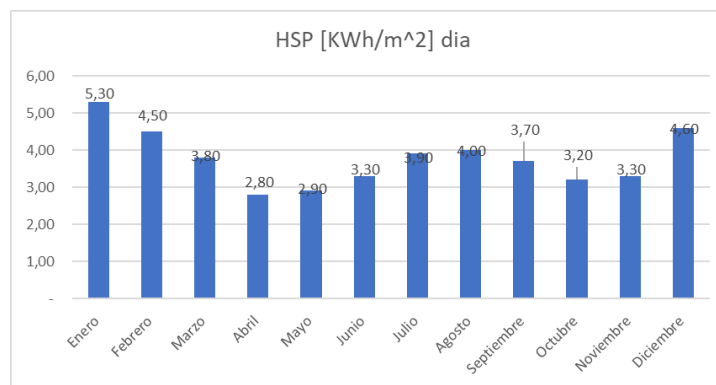
Tabla de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.

MES	HSP [KWh/m ²] día
Enero	5,20
Febrero	4,50
Marzo	3,10
Abril	2,50
Mayo	2,40
Junio	2,60
Julio	2,80
Agosto	3,00
Septiembre	2,90
Octubre	3,20
Noviembre	3,70
Diciembre	3,50
ANN	3,30
PROMEDIO	3,28

Nota. Tabla donde se identifica el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico que tambien cuenta con codigo de colores para identificar meses de mayor y menos intensidad solar.

Figura 34.

Grafica de HSP's promedio mensual para la ubicación específica del proyecto.



Nota. Grafica generada a partir de la Figura 33 donde se identifca el compilado de HSP's promedio mensuales específicos de la ubicación del hogar u industria a dimensionar el sistemas solar fotovoltaico.

El dato que se utiliza de entrada es el dato crítico (mes con menor HSP), para nosotros es Mayo, **HSPc = 2.40**

4) Potencia en Paneles (Pp)

$$Pp = Ed,max / HSPc * PR$$

Pp = Potencia en paneles

Ed,max = Energía diaria máxima

HSPc = Horas de Sol Pico

PR = Performance Ratio (Para nuestro caso particular va a ser de 0.8)

$$Ed, max = Ed * 1.15$$

$$Ed, max = 3,687 Wh * 1.15$$

$$Ed, max = 4,240 Wh$$

5) Consumo de energía en Ah/día: (Opcional)

$$Q[Ah] = Ed, max / Vbat$$

$Q[Ah]$ = Consumo de energía en Ah/día

Ed, max = Energía diaria máxima

$Vbat$ = Voltage de la batería

Para nuestro ejemplo:

$$Q[Ah] = 4,240 Wh / 48 v$$

$$Q[Ah] = 88.34 Ah$$

Retomando el punto (4) Potencia en paneles (Pp)

$$Pp = Ed, max / HSPc * PR$$

$$Pp = 4,240 Wh / 2.40 * 0.8$$

$$Pp = 2,208.33 Wp \text{ ó } 2.20 KWp$$

6) Definir el tipo de panel solar que se va a usar y el número de paneles necesario (Np)

Figura 35.

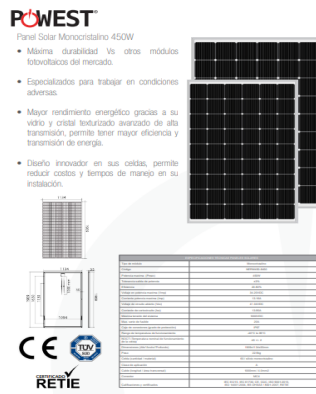
Tabla de información sobre el panel solar a utilizar.

PANEL SOLAR	Panel Solar Monocristalino 450W	
	Panel Solar Monocristalino 450W	
MARCA	POWEST	
TIPO	Monocristalino	
CODIGO	NERM450-8450	
DIMENSIONES	1909 mm (A) *1134 mm (B) *35 mm (C)	
PESO	22,9 Kg	
Pmp	555,00	W
Vmp	34,20	V (DC)
Imp	13,16	A
Voc	41,04	V (DC)
Isc	13,95	A

Nota. Tabla de contenido que contiene información básica sobre el panel solar a utilizar como sus dimensiones, potencia pico (Pmp) entre otros.

Figura 36.

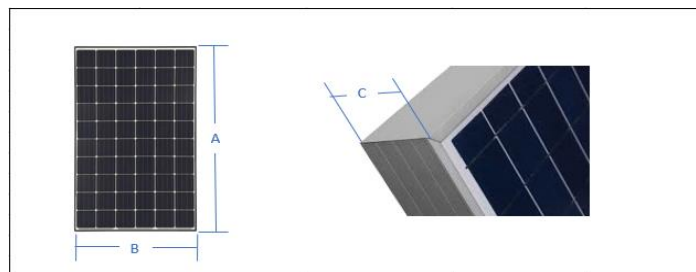
Ficha tecnica panel solar.



Nota. Ficha técnica donde se identifica información relevante del panel solar a utilizar como sus potencias de corto circuito (I_{sc}) y su potencia media pico (P_{mp}).

Figura 37.

Imagen de referencia de las dimensiones del panel.



Nota. Imagen de referencia para entender que siglas corresponden a que secciones del panel para entender correctamente las dimensiones proporcionadas en la Figura 35.

Los datos primordiales que necesitamos de la ficha técnica del panel son:

$$P_{mp} = 450 \text{ Wp}$$

$$V_{oc} = 41,04 \text{ v(DC)}$$

$$N_p = P_p / P_{mp}$$

$$N_p = 2,208.33 \text{ Wp} / 450 \text{ Wp}$$

$$N_p = 4.907 \text{ paneles}$$

$$N_p \approx 5 \text{ paneles}$$

Debido a que se debe buscar un número óptimo para las conexiones en serie y en paralelo de los paneles solares, **es recomendable que sea un número par:**

$$N_p \approx 6 \text{ paneles}$$

7) Dimensionamiento del sistema de acumulacion (Baterias):

8) Corriente máxima del Regulador de carga:

- 9) Voltaje máximo del Regulador:
- 10) Calculo y selección del inversor:

10. DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO:

Según la intensidad máxima admisible o de calentamiento, en el cual se limita la temperatura del conductor del Cable para que, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no superar la temperatura máxima admisible por los conductores aislados.

Figura 38.

Temperatura del conductor.

Temperatura del conductor °C				
Clase de aislamiento	Voltaje de operación	Normal	Cortocircuito	Emergencia
Cinta barnizada	5000 - 8000	84	200	94
	8000 - 15000	77	200	85
Papel impregnado de aceite	0 - 8000	85	150	100
	8000 - 15000	81	150	96
Goma RH	0 - 8000	75	200	85
Goma Butyl	0 - 15000	85	100	105
Cloruro de polivinilo (PVC)	0 - 600	60	150	-
Polietileno normal	0 - 5000	75	150	130
Polietileno vulcanizado	0 - 15000	90	250	150

Nota. Grafica que muestra los diversos tipos de materiales de cobertura (Aislantes), sus respectivos voltajes de operación recomendados y valores de emergencia, disponible en: https://imseingenieria.blogspot.com/2023/04/limitacion-de-la-temperatura-en-las.html#google_vignette.

Para determinar la corriente máxima que puede presentarse en el circuito, como es la carga continua. Se debe agregar un 25% más como factor de seguridad y generalmente se añade otro 25% por efecto de mayor confiabilidad.

$$I_{max} = 1,25 \times I$$

10.5 Factor de corrección de temperatura.

Figura 39.

Clasificación de temperatura del conductor.

(Factor de corrección) Clasificación de temperatura del conductor					
Temperatura ambiente (°C)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	105°C (221°F)	Temperatura ambiente (°F)
30	1,00	1,00	1,00	1,00	86
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97	87-95
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93	96-104
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89	105-113
46-50	0,58	0,75	0,82	0,86	114-122
51-55	0,41	0,67	0,76	0,82	123-131
56-60	-	0,58	0,71	0,77	132-140
61-70	-	0,33	0,58	0,68	141-158
71-80	-	-	0,41	0,58	159-176

Nota. Tabla de clasificación de temperatura del conductor por temperatura ambiente y sus factores de corrección, disponible en: <https://www.potenciaelectrica.com.mx/www/factor-de-correccion-por-temperatura/>

Teniendo los valores ajustados y conociendo el material aislante, el material conductor y la temperatura de trabajo. Se selecciona la sección AWG del conductor de la tabla 310.16 de la national electrical code.

Figura 40.

Capacidades de corriente permisibles en conductores aislados NEC/NTC2050/NFPA70.

Size (AWG) or kcmil	Temperature Rating of Conductors (See Table 310.15(A).)						Size (AWG) or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (184°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (184°F)	
	Types TW, UF	Types RHH, THHN, THW, THWN, XHHW, XHHW-2, ZW	Types TBS, SA, SIS, RPL, FPLP, ML, RHH, THHN, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW	Types TW, UF	Types RHH, THHN, THW, THWN, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW	Types TBS, SA, SIS, THHN, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, THW, THW, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW	
	COPPER						
	ALUMINUM OR COPPER-CLAD ALUMINUM						
18	—	—	18	—	—	—	
16	—	—	24	—	—	—	
14**	25	30	35	25	30	35	
12**	30	35	40	35	40	45	
10**	40	50	55	45	55	60	
8	50	60	70	60	70	80	
6	65	80	95	80	95	110	
4	105	125	140	110	130	150	
3	120	145	165	125	150	175	
2	140	170	190	145	175	200	
1	165	195	220	170	205	230	
1/0	195	230	260	190	220	250	
2/0	225	265	300	220	255	290	
3/0	260	310	350	255	300	340	
4/0	300	360	405	295	350	395	
250	340	405	450	335	400	450	
300	375	445	500	370	435	490	
350	410	500	570	405	480	550	
400	450	545	615	445	525	600	
500	515	620	700	500	600	690	
600	575	690	780	560	670	770	
700	640	765	860	620	740	850	
750	675	795	900	655	780	900	
800	710	835	930	690	820	940	
900	750	875	980	730	860	980	
1000	790	920	1020	770	900	1020	
1250	860	1000	1100	840	980	1100	
1500	930	1100	1200	910	1060	1180	
1750	1000	1180	1300	980	1140	1260	
2000	1100	1280	1400	1080	1240	1360	

Nota. Capacidades de corriente permisibles en conductores aislados para tensiones nominales, disponible en: <https://necfacil.com/tabla-310-15-b-16-nec/>

Método para hallar el conductor con el voltaje máximo

No puede superar 1,5% en el punto más lejano del voltaje inicial.

$$\delta m = (2 \times \text{Linea} \times I \text{ circuito} / \Delta V \times V \text{ circuito} \times \sigma)$$

σ = Conductividad del material

cobre = $56m/\Omega x mm^2$

Para sistema monofásicos

$$\bar{\sigma}m = (2 x Llinea x I circuito x \cos(\Theta) / \Delta V x Vcircuito x \sigma)$$

$\cos(\Theta)$ = potencia del sistema

Para sistemas trifásicos

$$\bar{\sigma}m = (\sqrt{3} x Llínea x I circuito x \cos(\Theta) / \Delta V x Vcircuito x \sigma)$$

Nota : Con estos dos métodos se dimensiona el cableado y debe escoger el de menor valor.

11. PROTECCIONES Y ACCESORIOS

11.1 Combiner box.

Son cuadros eléctricos consolidan la energía de varios strings (paneles en serie) a un solo conductor, tienen protecciones positivas y negativas, protegen la instalación y pueden darnos información relacionada con el rendimiento de la instalación.

Figura 41.

Imagen de referencia de Combiner Box.



Nota. Imagen de referencia de una Combiner box. Disponible en: https://www.google.com/search?sca_esv=576523393&q=combiner+box+que+es&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwiq7pXbwZGCAX9LUQIHft9CV4Q0pQJegQICxAB&biw=1366&bih=611&dpr=1#imgrc=0tHjOCNA5BP3uM

11.2 Caja DC.

Se usa para contener y proteger el circuito eléctrico de sobre tensiones del sistema, cuenta con fusibles y para sistemas fotovoltaicos si es a pequeñas escala se usa una standart.

11.3 Fusibles.

Son un dispositivo de seguridad eléctrica diseñado para proteger de sobrecargas eléctricas, está diseñado de un material conductor el cual se coloca en serie del circuito que se va proteger y está diseñado para romper o fundirse cuando supera el valor de corriente máxima.

$$V_{fgv} = 1,2 \times N_{ms} \times V_{mod}, OC, STC$$

$$I_n = 1,56 \times I_{mod}, SC, STC$$

OC = Circuito abierto

SC = Corto circuito

$$I_n = 1,25 \times I_{max}$$

11.4.2 Interruptor diferencial.

Dispositivo electromecánico, es una protección automática que se usa para la protección de los individuos, ya que su función es detectar la fuga de corriente a tierra del sistema.

Figura 44.

Imagen de referencia de Interruptor diferencial.



Nota. Imagen de referencia de un Interruptor diferencial, disponible en: https://www.amazon.com/Disyuntores-distribuci%C3%B3n-desconexi%C3%B3n-fotovoltaico-25A/dp/B0C3NMJH3V/ref=asc_df_B0C3NMJH3V/?tag=cogoshpadde-20&linkCode=df0&hvadid=680094400747&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=8280393042594667637&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1003659&hvtargid=pla-2205418788395&language=es_US&mcid=ccae2d8f32093fabac6ec9e8f03ff4e1&th=1

11.4.3 DPS electricos.

Dispositivos diseñados para sobretensiones, descargas a tierra, cuando actúa se daña y debe reemplazarse, entre más dispositivos de protección contra sobretensiones se tengan más segura va ser la instalación.

Figura 45

Imagen de referencia de DPS eléctrico.



Nota. Imagen de referencia de un DPS eléctrico, disponible en: <https://ecoled.com.co/products/dispositivo-de-proteccion-contra-sobretensiones?variant=40410756350101>

11.4.4 Puesta a tierra.

Un sistema de puesta a tierra es un componente fundamental, para garantizar la seguridad y el rendimiento del sistema, este se refiere a conectar todos los elementos metálicos o conductores a un sistema de puesta a tierra, es una vía segura de la energía en caso de un fallo. Este diseño no tiene criterios, pero todos deben estar conectados y si uno está desconectado los otros deben seguir conectados.

Nota: Si un circuito excede los 80 Voltios se debe colocar una protección AFCI la cual es una protección contra arcos eléctricos.

13. MANTENIMIENTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las protecciones deben encontrarse en perfecto estado y correcto funcionamiento, las labores de mantenimiento deben realizarse por personal cualificado.

3 meses

- Inspección visual de mecanismos interiores para posible detección de anomalías visibles y dar aviso profesional.

1 año

- Acción manual sobre el botón de prueba que incluye el propio interruptor diferencial.
- Desconexión automática del paso de la corriente eléctrica mediante la recuperación de la posición de reposo “off” de mando de conexión-desconexión.
- Acción manual sobre el mismo mando para colocarlo en su posición de conexión “on” para suministro del circuito eléctrico.

5 año

- Se debe realizar la limpieza superficial a las clavijas y receptores eléctricos en estado de desconexión utilizando microfibra secas
- Se realiza una limpieza superficial a los mecanismos con fibras secas.

Labores de mantenimiento de personal cualificado

1 Año

- Comprobación de funcionamiento de todo los interruptores del cuadro de mando y protección verificando que son estables.

2 Año

- Revisión general, protección, conexiones.
- Inspección visual, estados de interruptores, fusibles de protección, verificación de corrosión en la puerta del armario.
- Verificación de puesta a tierra.
- Verificación del estado de conservación de las cubiertas aislantes de los interruptores, reparar los defectos encontrados.

5 Año

- Comprobación de los dispositivos de protección contra cortocircuito, contactos directos e indirectos, así como la verificación de intensidades nominales.
- Revisión de la rigidez dieléctrica entre los conductores.

10 Año

- Revisión general de la instalación donde se verifique todos los sistemas de cableado a cargo de un personal cualificado.

13.1 Mantenimiento preventivo sistema solar.

1. Supervisar los picos de tensión y revisar las protecciones contra descargas atmosféricas.
2. Revisar los portafusibles seccionables en ellos se alojan los fusibles
3. bornes de protección de entrada
4. bornes de conexión puesta a tierra
5. Bornes de conexión de salida
6. Cable de entrada de conductor de tierra de módulos fotovoltaicos
7. Conectores MC4 entrada de cadena de módulos fotovoltaicos.

13.2 Estructura.

Estructura en aluminio y tornillería en acero inoxidable, realizar mantenimiento anticorrosivo, cada seis meses.

Identificar

- Posible degradación de la superficie
- Comprobación del estado de fijación a la cubierta, ajuste de tornillería, considerando el par de apriete necesario.
- Juntas correctamente selladas

13.3 Puesta a tierra.

1 Año

- En la época de terreno seco y después de una descarga eléctrica se debe realizar una comprobación de la continuidad eléctrica y la reparación de los defectos encontrados.

2 Año

- Comprobación de la línea principal y derivados de tierra.
- comprobación de que el valor de resistencia a tierra sigue siendo inferior a 20Ω .

5 Año

- Comprobación de alistamiento de la instalación.
- Comprobación del conductor de protección y de la continuidad de las conexiones equipotenciales.

13.4 Paneles solares.

El mantenimiento preventivo de los paneles fotovoltaicos, es realizar una limpieza de forma mensual o bimestral según las condiciones, sin embargo la inclinación de los paneles en algunos sectores hace que este mantenimiento sea mucho más amplio, ya que la misma lluvia realiza la limpieza de los paneles fotovoltaicos. Se recomienda mantenerlos limpios para una mayor absorción de radiación solar, aumentando su eficiencia. Es necesario seguir las recomendaciones del fabricante pero en general la limpieza se realiza por medio de:

- Limpieza con vapor de agua
- Limpieza por rodillos autopropulsados
- Limpieza mecanizada automática
- Limpieza mediante robots
- Limpieza manual

Criterios

1. Se definirá el lugar de las condiciones de los strings de referencia que se mantendrá limpio constantemente
2. La corriente del string se tendrá monitoreado junto a la corriente de operación de otros string sin limpiar
3. Si se supera la desviación elegida ejemplo 2% el equipo procede a realizar su limpieza
4. Comparación entre los string limpios y los strings sucios

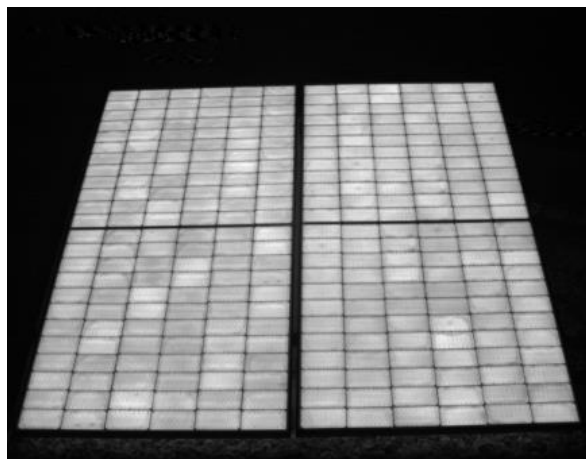
13.4.1 Medición de electroluminiscencia.

Es un procedimiento óptico para la evaluación cualitativa de fallas en módulos fotovoltaicos, se evalúa la diferencia en brillo entre y dentro de las celdas solares.

Las imágenes (EL) son detectadas por una cámara con un dispositivo de silicio de carga acoplada, si se realiza en un ambiente oscuro debido a la cantidad de radiación infrarroja emitida por el módulo.

Figura 46

Electroluminiscencia para inspección de módulos.



Nota. Imagen de referencia para Electroluminiscencia, disponible en: <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/09/29/nuevo-sistema-de-medicion-de-electroluminiscencia-diurna-en-la-inspeccion-de-modulos/>

Seguridad

- Antes de conectar o desconectar cualquier dispositivo se debe familiarizar con el sistema y componentes
- Nunca separar un módulo de una cadena que se encuentra bajo carga eléctrica
- Al abrir el interruptor principal en la caja de combinación (combiner box) ó inversor, utilizar guantes de seguridad dieléctricos
- Cuando se abran los fusibles utilice siempre los guantes de seguridad dieléctricos, acordes con la tensión máxima de trabajo.
- Asegurarse eficazmente en la conexión de los módulos o string que se van a medir, usando las pinzas.

13.5 Inversor.

El inversor es uno de los equipos más delicados dentro de la instalación, requiere mantenimientos más exhaustivos, depende de las condiciones ambientales del lugar. “polvo, humedad, entre otros”

Estos equipos están diseñados para operar cubiertos por una carcasa, protegidos de la intemperie y de las lluvias, ya varias referencias cuenta con un índice de protección IP65. Los aspectos a tener en cuenta para mantener la vida útil de estos equipos es:

- El inversor se debe mantener limpio y seco
- El inversor debe tener buena ventilación

- El inversor debe estar en un cuarto donde se evite la entrada de insectos u otros animales. Debe instalarse en un gabinete eléctrico ventilado para asegurar su buen funcionamiento.
- Se deben seguir las recomendaciones del fabricante para labores de limpieza y mantenimiento.

Labores de mantenimiento

- Limpieza del disipador de calor de potencia
- Revisar las conexiones eléctricas
- Comprobar si el aislamiento o los bornes presenta decoloración o alteración de otro tipo. En caso de cambiar las conexiones.
- Inspección visual en los fusibles y seccionadores existentes.
- Revisar el funcionamiento de los dispositivos de protección.

Nota :

- El índice IP se refiere a protección de ingreso de elementos sólidos y el segundo se refiere a elementos líquidos.
Primero 0 a 6
Segundo 0 a 8
- El sobrecalentamiento no permite un buen funcionamiento estos equipos se sobrecalientan y la corriente baja.
- Algunos inversores deben remover el filtro y limpiar según las indicaciones del fabricante, se puede usar aire comprimido, o soplar y retirar el polvo, usar pequeños cepillos y frotar.
- Ergonomía y seguridad operacional, los inversores deben ser fácilmente accesibles para el personal de mantenimiento, evitando así posiciones que dificulten los trabajos y fortalezcan los accidentes laborales.

13.6 Regulador.

No necesita mantenimiento, es importante tratarlo con mucho cuidado, ya que el buen funcionamiento del regulador permite el buen funcionamiento del sistema.

Cuidados básicos

- Regular debe estar en un espacio seco
- No se debe quitar del sistema fotovoltaico
- Cuando un regulador indica menos del 50% de las cargas de las baterías, no se debe encender ningún equipo electrónico, hasta que la radiación las recargue.

13.7 Baterías.

Se debe realizar una inspección visual mensual, revisar la corrosión en las borneras. El mantenimiento preventivo, se deben limpiar los vasos con un paño húmedo las conexiones con la broca metálica y en la bornera aplicar vaselina para evitar corrosión.

Se debe monitorear los parámetros de temperatura, profundidad de descarga, resistencia, las baterías se encuentran en una superficie no conductiva.

Nota : Las labores de mantenimiento no están diseñadas para corregir problemas de la instalación, la empresa encargada de la instalación debe dejar todo funcionando.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. S. Datacenter Dynamics, “Mercado energético en Colombia: Avances, dificultades y tensiones en la transición - DCD”, 2023. Consultado: el 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/mercado-energ%C3%A9tico-en-colombia-avances-dificultades-y-tensiones-en-la-transici%C3%B3n/>
- [2] A. Catalina, F. Castro, y J. L. Mojica, “Informe Perspectiva Sectorial-Energía Actualidad del sector energético colombiano 28 de febrero de 2023”.
- [3] D. MORALES SOLER, “Precio de la energía ha crecido 25% en lo corrido del año | Finanzas | Economía | Portafolio”. Consultado: el 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/precio-de-la-energia-ha-crecido-25-en-lo-corrido-del-ano-569908>
- [4] “10 acciones inmediatas para reducir el coste energético y las emisiones en la industria | ABB”. Consultado: el 10 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/news/es/detail/97536/10-acciones-inmediatas-para-reducir-el-coste-energetico-y-las-emisiones-en-la-industria>
- [5] “PEC 2023 v digital”.
- [6] R. Ejecutivo, *PERSPECTIVAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL CAMINO HACIA 1.5°C*. 2021. [En línea]. Disponible en: www.irena.org
- [7] “5 cifras sobre la energía eléctrica en Colombia: lo que los ciudadanos pierden las empresas ganan — CELAG”. Consultado: el 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.celag.org/5-cifras-sobre-la-energia-electrica-en-colombia-lo-que-los-ciudadanos-pierden-las-empresas-ganas/>
- [8] “World Energy Investment 2021”. [En línea]. Disponible en: www.iea.org/t&c/
- [9] “PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MÁXIMA 2023-2037 Subdirección de Demanda”.
- [10] “LEY_2099_DEL_10_DE_JULIO_DE_2021”.
- [11] Á. J. de A. Filgueira, A. C. Lima, y J. S. F. Castelo, “Adoption intention of photovoltaic solar systems”, *Revista de Administração da UFSM*, vol. 15, núm. 1, pp. 137–157, abr. 2022, doi: 10.5902/1983465967199.
- [12] “Tendencias_de_Industrias_Colombia_2023 (1)”.
- [13] M. D. Mesa *et al.*, “REPÚBLICA DE COLOMBIA Ministerio de Minas y Energía”.

- [14] M. Bortolini, M. Gamberi, y A. Graziani, “Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system”, *Energy Convers Manag*, vol. 86, pp. 81–92, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.089.
- [15] P. De *et al.*, “ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNO ECONOMICA DE UN SISTEMA PARA LA”.
- [16] Á. J. de A. Filgueira, A. C. Lima, y J. S. F. Castelo, “Adoption intention of photovoltaic solar systems”, *Revista de Administração da UFSM*, vol. 15, núm. 1, pp. 137–157, abr. 2022, doi: 10.5902/1983465967199.
- [17] “A. CIFRAS CLAVE”. [En línea]. Disponible en: <https://www.creg.gov.co/capacidad-efectiva-neta>
- [18] J. R. Craig, D. J. Vaughan, y B. J. Skinner, *Recursos de la tierra : origen, uso e impacto ambiental*. Pearson, 2007.
- [19] “Taller Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el SIN Resolución CREG 121 de 2017”.
- [20] A. Daniel Mauricio Ochoa Yepes, “TRÁMITES PARA PROYECTOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADOS A LA RED EN COLOMBIA”.
- [21] R. Ejecutivo, *PERSPECTIVAS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL CAMINO HACIA 1.5°C*. 2021. [En línea]. Disponible en: www.irena.org
- [22] *Emprendedores en crecimiento : el reto de la gestión del talento*.
- [23] “Colombia Productiva-Planes de negocio Sector Plásticos”.
- [24] “RadiacionSolar13”.
- [25] “PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA MÁXIMA 2023-2037 Subdirección de Demanda”.
- [26] “Tendencias_de_Industrias_Colombia_2023”.
- [27] “ACTUALIZACIÓN DE REGLAS DE INTEGRACIÓN DE AUTOGENERACIÓN A PEQUEÑA ESCALA Y GENERACIÓN DISTRIBUIDA-ANÁLISIS DE COMENTARIOS PROYECTO RESOLUCIÓN CREG 002 DE 2021”.
- [28] P. De y T. Energética, “CONPES CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN”.
- [29] M. D. Mesa *et al.*, “REPÚBLICA DE COLOMBIA Ministerio de Minas y Energía”.
- [30] Camara Ambiental de plasticos, “La industria plastica colombiana”, agosto 19 del 2021.
- [31] L. Carreño, “Reconversión industrial en clave de plastico”, mayo 2022.