



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad De Tecnología de la Industria**  
**Ingeniería Mecánica**

Propuesta de instalación de sistema solar fotovoltaico para uso domiciliario en vivienda y complejo de apartamento, localizado en el departamento de Managua, Nicaragua.

**Autores**

Br. Franco Eduardo Guerrero

Br. Jeniffer Andrea Obregón Torrez

**Tutor**

Ing. María Teresa Castillo Rayo

**Managua, 14 de abril de 2020**

## Resumen

Esta monografía propone la utilización de un sistema solar fotovoltaico en una vivienda común que cuenta con apartamentos de alquiler y un restaurante familiar ubicada en el departamento de Managua, Nicaragua. En esta tesis se puntualizan los conceptos básicos relacionados a los sistemas solares fotovoltaicos, luego, se realizó el análisis de la demanda de energía de todo el perímetro por medio de metodologías como el censo de cargas tomados a tiempo real en un horario específico y la obtención del historial de facturas del consumo eléctrico adquiridas de la entidad reguladora DISNORTE-DISSUR.

Posteriormente de realizar los análisis de la demanda eléctrica de la vivienda, se prosiguió a adquirir información acerca de los recursos solares y la tecnología disponible en la zona de Managua, para esto se consultaron con distribuidores autorizados de productos de generación de energía solar.

El dimensionamiento del sistema se deduce utilizando los parámetros antes mencionados y se determina el tamaño del sistema solar fotovoltaico (cantidad de paneles solares, cantidad de baterías, tamaño del inversor, etc.) con base al porcentaje de la demanda eléctrica que se pretende cubrir, priorizando las horas del día en las cuales se utilizan más aparatos eléctricos.

Una vez obtenido el tamaño de todo el sistema solar fotovoltaico se prosigue a realizar un plan de mantenimiento adecuado para su correcto funcionamiento.

Después del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, se consultó con tres distribuidores autorizados para conocer sus ofertas.

Consecutivamente, se hizo un análisis del costo nivelado de la energía el cual determinó que este proyecto es viable y que producirá un ahorro económico a largo plazo.

## Índice

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 2  |
| Introducción.....  | 1  |
| Antecedentes.....  | 2  |
| Justificación.....   | 4  |
| Objetivos.....   | 5  |
| Hipótesis.....   | 6  |
| 1. Fundamentos de la Energía Solar.....                                      | 7  |
| 1.1 Generalidades.....   | 7  |
| 1.2 La energía solar.....  | 7  |
| 1.3 La irradiancia.....  | 9  |
| 1.3.1 La irradiación.....  | 9  |
| 1.4 Radiación solar total .....  | 11 |
| 1.5 Energía solar fotovoltaica .....   | 11 |
| 1.6 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica .....            | 12 |
| 1.7 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....                       | 13 |
| 1.8 Unión Positivo (P) y Negativo (N).....                                   | 14 |
| 1.8.1 Semiconductores P-N.....   | 14 |
| 1.9 Efecto Fotovoltaico.....   | 15 |
| 1.10 Celdas Solares Fotovoltaicas.....                                       | 17 |
| 1.11 Partes de un Panel Solar Fotovoltaico.....                              | 21 |
| 1.12 Criterios a considerar para elección del panel solar fotovoltaico ..... | 23 |
| 1.12.1 Potencia Pico .....   | 23 |
| 1.12.2 Variación de potencia .....   | 24 |
| 1.12.3 Eficiencia .....  | 24 |
| 1.12.4 Coeficientes de temperatura .....                                     | 24 |
| 1.13 Calidad de paneles solares .....  | 26 |
| 1.14 Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos.....                  | 26 |
| 1.14.1 Carga eléctrica.....  | 26 |
| 1.14.2 Tipo de carga .....   | 26 |
| 1.14.3 Régimen de Carga.....   | 27 |
| 1.15 Cantidad de Energía.....  | 27 |
| 1.16 Hora Solar Pico. (HSP) .....  | 27 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.17   | Corriente Alterna (CA) / Corriente Directa (CD)     | 27 |
| 1.18   | Periodo de consumo eléctrico                        | 28 |
| 1.19   | Banco de Baterías                                   | 28 |
| 1.20   | Regulador o controlador de carga                    | 29 |
| 1.21   | Inversor  | 30 |
| 1.22   | Cableado  | 30 |
| 1.23   | Estructura de Soporte                               | 32 |
| 1.23.1 | Estructura soporte sobre techo                      | 33 |
| 1.23.2 | Colocación sobre techo inclinado                    | 33 |
| 2.     | Ubicación de los Paneles Solares                    | 34 |
| 2.1    | Mapa de irradiancia solar en Nicaragua              | 34 |
| 2.2    | El clima promedio en Managua                        | 35 |
| 2.3    | El sol y la energía solar en Managua                | 35 |
| 2.4    | Ubicación de los paneles solares fotovoltaicos      | 36 |
| 2.5    | Datos históricos del tiempo en Managua              | 37 |
| 3.     | Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico     | 38 |
| 3.1    | Estimación de la carga eléctrica                    | 38 |
| 3.2    | Eficiencia del panel solar fotovoltaico             | 39 |
| 3.3    | Cálculo de Potencia del sistema solar               | 40 |
| 3.4    | Módulo solar fotovoltaico                           | 40 |
| 3.4.1  | Número de módulos solares necesarios                | 40 |
| 3.4.2  | Número de módulos solares en serie                  | 40 |
| 3.4.3  | Número de módulos en paralelo                       | 40 |
| 3.5    | Inversor  | 41 |
| 3.6    | Controlador de carga                                | 41 |
| 3.7    | Baterías  | 42 |
| 4.     | Memoria de cálculo, selección de equipos y sistemas | 43 |
| 4.1    | Cálculo de la demanda energética                    | 43 |
| 4.2    | Censo de carga energética                           | 44 |
| 4.3    | Tecnología disponible                               | 45 |
| 4.4    | Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos       | 46 |
| 4.4.1  | Estimación de carga eléctrica                       | 46 |
| 4.4.2  | Eficiencia del panel solar fotovoltaico             | 47 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.4.3 | Cálculo de Potencia del sistema solar.....         | 48 |
| 4.5   | Módulo solar fotovoltaico .....                    | 49 |
| 4.5.1 | Número de módulos solares necesarios .....         | 49 |
| 4.5.2 | Número de módulos solares en serie.....            | 49 |
| 4.5.3 | Número de módulos en paralelo.....                 | 49 |
| 4.6   | Inversor.....                                      | 50 |
| 4.7   | Controlador eléctrico.....                         | 51 |
| 4.8   | Baterías.....                                      | 52 |
| 5.    | Propuesta .....                                    | 53 |
| 5.1   | Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos..... | 54 |
| 5.1.1 | Estimación de carga eléctrica .....                | 54 |
| 5.1.2 | Cálculo de Potencia del sistema solar.....         | 55 |
| 5.2   | Módulo solar fotovoltaico .....                    | 55 |
| 5.2.1 | Número de módulos solares necesarios .....         | 55 |
| 5.2.2 | Número de módulos solares en serie.....            | 56 |
| 5.2.3 | Número de módulos en paralelo.....                 | 56 |
| 5.3   | Inversor.....                                      | 56 |
| 5.4   | Controlador eléctrico.....                         | 57 |
| 5.5   | Baterías.....                                      | 58 |
| 5.6   | Cálculo del cableado del sistema.....              | 59 |
| 5.7   | Distancia entre filas de módulos.....              | 60 |
| 6.    | Mantenimiento del Sistema Solar Fotovoltaico ..... | 60 |
| 6.1   | Mantenimiento predictivo .....                     | 61 |
| 6.2   | Mantenimiento Preventivo .....                     | 61 |
| 6.3   | Mantenimiento Correctivo.....                      | 62 |
| 6.4   | Mantenimiento del sistema solar fotovoltaico ..... | 62 |
| 6.4.1 | Limpieza periódica del panel.....                  | 62 |
| 6.4.2 | Inspección visual de posibles degradaciones.....   | 63 |
| 6.4.3 | Estructura de soporte de los paneles.....          | 63 |
| 6.5   | Inversores.....                                    | 63 |
| 6.6   | Baterías.....                                      | 63 |
| 7.    | Recuperación de Inversión.....                     | 67 |
| 7.1   | Escenario sin financiamiento.....                  | 67 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 7.1.1 | Flujo Neto de Efectivo (FNE).....                             | 67 |
| 7.2   | Costos de inversión .....                                     | 68 |
| 7.3   | Costos básicos .....  | 69 |
| 7.3.1 | Costos de servicios de Internet, telefonía y televisión. .... | 69 |
| 7.3.2 | Costos de energía eléctrica .....                             | 69 |
| 7.3.3 | Costos de agua.....   | 70 |
| 7.3.4 | Costos de mantenimiento del sistema solar fotovoltaico .....  | 71 |
| 7.4   | Ingresos .....  | 71 |
| 7.4.1 | Rentas de apartamentos.....                                   | 71 |
| 7.5   | Tasa mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR).....              | 72 |
| 7.6   | Valor Presente Neto (VPN).....                                | 73 |
| 7.7   | Periodo de recuperación .....                                 | 75 |
| 8     | Costo nivelado de la energía.....                             | 76 |
| 8.1   | LCOE para casa y apartamentos. ....                           | 77 |
| 8.1.1 | Cálculo del precio de kilovatio-hora. ....                    | 79 |
| 8.2   | LCOE para casa principal. ....                                | 81 |
| 8.2.1 | Cálculo del precio de kilovatio-hora. ....                    | 83 |
|       | CONCLUSIÓN.....   | 85 |
|       | Glosario.....   | 87 |
|       | ANEXOS.....   | 91 |

## Introducción

La generación de energía eléctrica neta por tipo de fuente en Nicaragua es dominada por las Fuentes Renovables con un 56.32%.

El ámbito energético del país ha sido uno de los más afectados por la crisis y recesión económica actual, presentando a la fecha un incremento acumulado de la tarifa de energía eléctrica social del 9.79% desde diciembre del año pasado.

Este incremento ha golpeado severamente el bolsillo de la población, por lo que algunos han decidido sacar provecho a las bondades de la Energía Solar que a medida que se desarrolla se está convirtiendo en la favorita de las economías emergentes.

El uso de energía solar resulta ser hasta un ochenta por ciento más barata que la energía generada por térmico búnker, pese a esa ventaja en Nicaragua solo el 2% de la demanda energética es solventada con este tipo de energía, según estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

El precio promedio del kWh de energía solar es 0.06 dólares, mientras que la energía térmica oscila entre 0.16 y 0.30 dólares el kWh, de acuerdo a cálculos basados en datos del Consejo Nacional de Energía (CNE) y MEM. (González D. , 2018)

El presente trabajo de aprovechamiento Solar tiene como objetivo proponer la instalación de paneles fotovoltaicos en una casa de habitación en el Municipio de Managua, zona Lomas de Monserrat, con una latitud  $12.1162^{\circ}$  Norte y una longitud de  $86^{\circ}$ Oeste.

## Antecedentes

La luz solar es la energía renovable que tiene mayor potencial en Latinoamérica y el Caribe, pero en el caso de Nicaragua ese es el recurso que menos se utiliza. (González D. , 2018).

En el 2010 en el país apenas se generaban 1.5 megavatios de los 1,000 vatios disponibles, y actualmente cuenta en operación una planta fotovoltaica de 1.38 MW de potencia y está ubicada en La Trinidad-Diriamba, la cual evita la emisión de 1,100 toneladas de dióxido de carbono cada año.

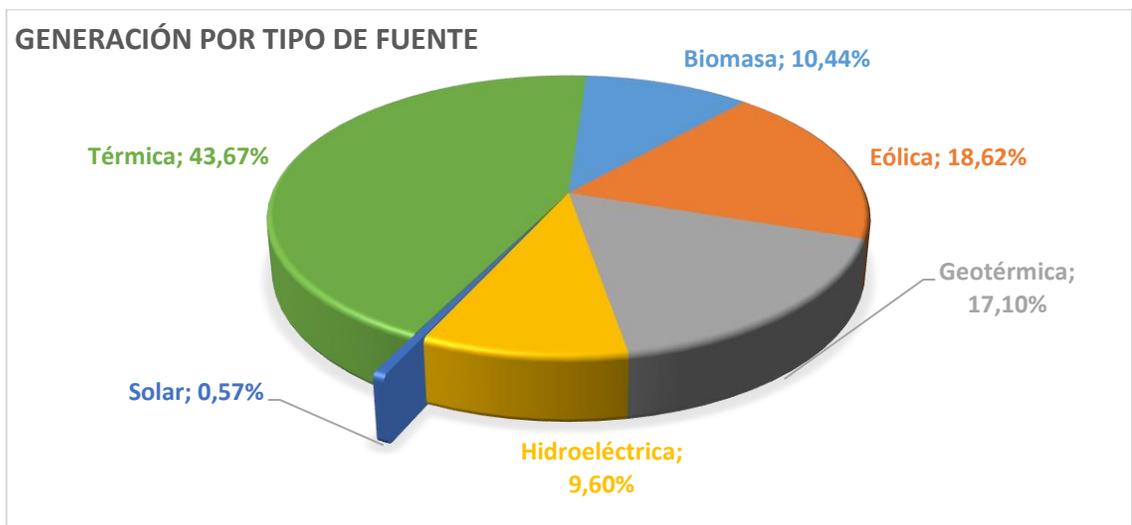


Ilustración 1. Instituto Nicaragüense de Energía. (2018). Generación de energía por tipo de fuente.

Sin embargo, en el año 2014, la inversión de energías renovables sufrió una desaceleración en Nicaragua, esto se debió en gran parte a la caída de los precios del petróleo y a la falta de ley que incentivara su uso mediante exoneraciones de equipos, consumo y venta; no obstante, en julio del 2019 se inauguró “Caribbean Pride Solar Energy Plant”, considerada la planta de energía solar más grande de la región iberoamericana, ubicada en el archipiélago nicaragüense de Corn Island, cuenta con 2.1 MW de potencia y se espera que para 2030 entre en operación una planta generadora de energía solar, de 50 MW de potencia, ubicada entre San Benito y Tipitapa (Calero, 2017) En el 2017 se realizó la reforma con la Ley No. 951, "Ley de Reformas y Adiciones a la Ley No. 272, Ley de la Industria Eléctrica" la cual agrega la “Normativa de generación distribuida renovable para

autoconsumo”, en esta dictan los pasos y reglas a seguir de agentes de autoconsumo eléctrico, o sea que generen su propia energía eléctrica, así también mejora las condiciones y ventajas para individuos naturales y jurídicas que realicen estas prácticas, por lo que esta reforma incentiva la instalación y uso de paneles solares

## Justificación

Nicaragua actualmente atraviesa una situación energética poco favorable para el consumidor a causa del alto costo de la tarifa energética, reducción de subsidios, falta de inversión en Energías Renovables y plantas eléctricas obsoletas y/o próximas al fin de su vida útil.

Este estudio tiene como intención proponer la instalación de un sistema solar fotovoltaico.

El consumidor interesado en esta opción de energía limpia posee un terreno de 750 metros cuadrados el cual se ha utilizado para fines lucrativos, dentro de este se encuentra una casa de habitación, cuatro apartamentos para renta, una zona de restaurante y un cuarto de música para uso personal y de alquiler.

El consumo energético promedio mensual de estos servicios más la vivienda es de 1289 kWh, proveniente del Sistema de Interconectado Nacional (SIN); la facturación eléctrica es elevada, con un promedio mensual de equivalente a C\$16.253,66.

Así mismo si esta propuesta se llega a realizar podría concientizar a la comunidad aledaña al sitio de la instalación, las personas podrán ser testigos del uso y viabilidad de esta tecnología, pueden optar por realizar una inversión similar para disminuir su consumo eléctrico y obtener un significativo ahorro económico.

## Objetivos

### Objetivo general

- Realizar propuesta de instalación de sistema solar fotovoltaico para uso domiciliario en vivienda y complejo de apartamentos localizada en el Lomas de Montserrat Managua, departamento de Managua, Nicaragua.

### Objetivos específicos

- Realizar cálculos para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico con base a la demanda eléctrica y espacio disponible en el domicilio.
- Evaluar costos del sistema fotovoltaico.
- Proponer plan de mantenimiento para el sistema de paneles fotovoltaicos escogido.

## Hipótesis

La propuesta de instalación de un sistema solar fotovoltaico en la casa de habitación ubicada en Lomas de Montserrat Managua, plantea el uso de una fuente alternativa de energía limpia y renovable para consumo cotidiano, diferente a la proporcionada por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) sin estar conectado al mismo.

El sistema solar fotovoltaico propuesto se dimensionó considerando la demanda energética y la tecnología disponible en el país.

El sistema produce energía a lo largo del día empezando alrededor de las ocho de la mañana hasta las cinco de la tarde, luego se emplea el uso del banco de baterías para suplementar la vivienda desde las cinco de la tarde hasta las nueve de la noche, y así se logra cubrir un estimado del 70% de la demanda eléctrica y obtener un ahorro económico significativo a largo plazo.

## 1. Fundamentos de la Energía Solar

### 1.1 Generalidades

Con el presente trabajo se pretende establecer un plan de instalación de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en una vivienda localizada en el departamento de Managua, Nicaragua, con latitud de 12°06'58.9"N y longitud de 86°16'41.6"O, que cuenta con apartamentos, y así lograr un estado de autoconsumo eléctrico, por lo tanto, resulta esencial introducir conocimientos del uso, manejo, instalación y mantenimiento de todas las partes del sistema solar fotovoltaico.

### 1.2 La energía solar

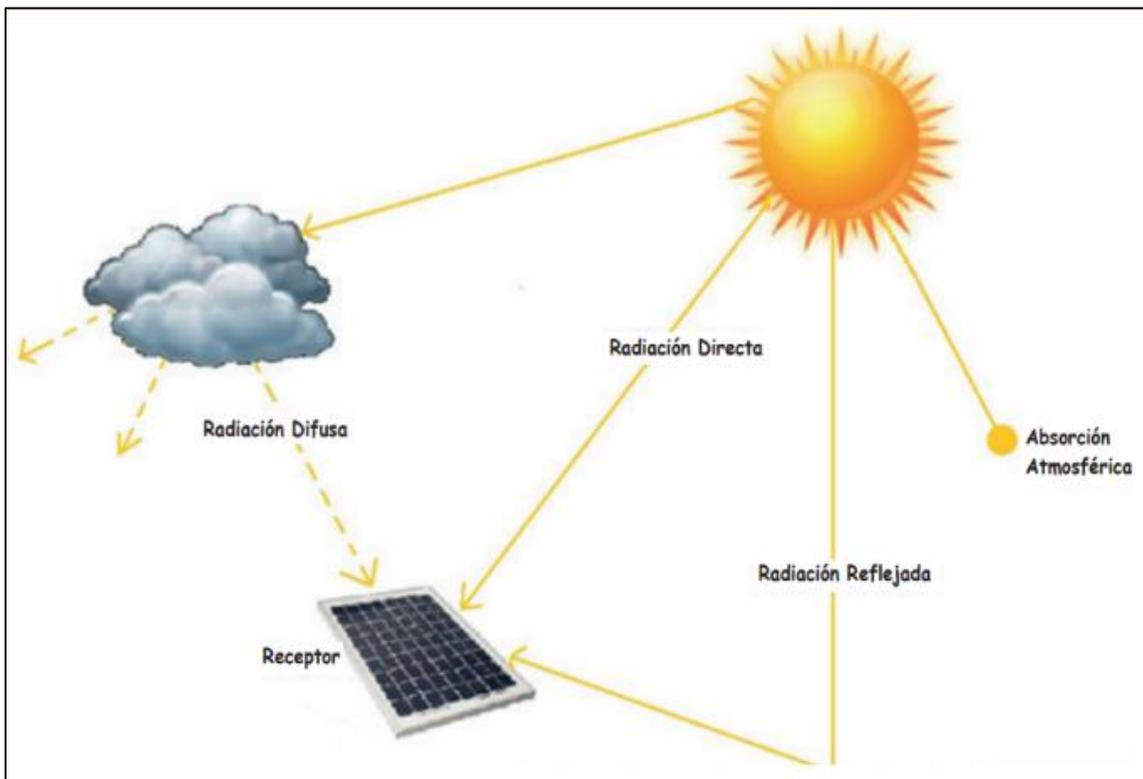
Es un tipo de energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede ser utilizada por diversos medios captadores como células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que podrían ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad. (Arias, 2018)

Las tecnologías utilizadas para la generación de energía solar se pueden clasificar en dos tipos, las tecnologías activas que incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía, y las técnicas pasivas, que consisten en diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática como la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural. (Arias, 2018)

Se estima que la tierra recibe 174 peta-vatios de radiación solar entrante también conocida como insolación que llega desde la parte más alta de la atmósfera, de esto aproximadamente el 30% regresa al espacio, mientras que las nubes, los océanos y las masas terrestres absorben la restante. En el 2017 se estimó que el 24% de la demanda de energía mundial era en base a fuentes renovables de la

cual el 70% era energía solar con un estimado de 98 GW de potencia. (Arias, 2018)

La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Esta transformación en energía eléctrica se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el Silicio. Cuando la luz del Sol incide en una de las caras de la célula solar se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando una corriente eléctrica. (Arias, 2018)



*Ilustración 2 Receptor captando la radiación Solar*

### 1.3 La irradiancia

El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre lo ocupa principalmente la luz visible y los rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1,000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. Esta potencia se denomina irradiancia solar. (LIDER, 2014)

#### 1.3.1 La irradiación

La radiación solar en la tierra es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en Kwh/m<sup>2</sup>. (Aunque la irradiancia y la Irradiación son magnitudes físicas distintas, coinciden numéricamente cuando la unidad de tiempo es la hora). (LIDER, 2014)

La radiación solar recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como Constante Solar y es igual a 1,353 W/m<sup>2</sup>, variable durante el año un  $\pm 3\%$  a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. La proporción de radiación directa recibida por una superficie depende de:

El valor máximo medido sobre la superficie terrestre que es aproximadamente de  $1000 \frac{W}{m^2}$ , en condiciones óptimas de Sol a mediodía y en un día despejado de verano. (Vallina, 2010)

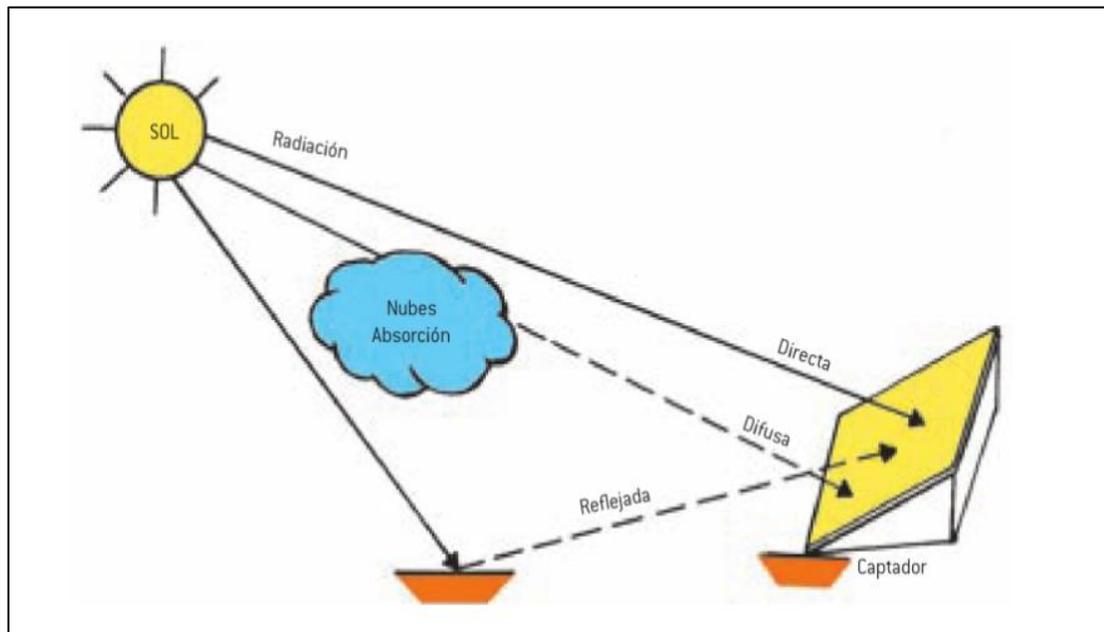
Sobre una superficie cualquiera, situada en la superficie terrestre incidirán distintos tipos de energía radiante:

- *Radiación directa*: aquella que procede del Sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección.
- *Radiación difusa o dispersa*: es aquella parte de radiación solar que, por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire, se ha difundido al atravesar la atmósfera. Es una radiación que procede de toda la bóveda de cielo visible desde la superficie, no es direccional y puede

considerarse que su distribución es casi uniforme para todo el hemisferio celeste.

- *Albedo*: radiación que llega a la superficie considerada, después de haberse reflejado en las superficies del entorno. Esta radiación que procede de las dos anteriores, tampoco es claramente direccional.
- *Radiación global*: es la suma de la directa, difusa y de albedo.

(Jutglar, 2007)



*Ilustración 3 Representación de las formas de radiación.*

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo recibida por una superficie dependen de:

- Las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con un clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.
- Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa – si no hay alrededor objetos a una altura superior de la de la superficie - y la mínima reflejada.

En función del lugar, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que, al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, comúnmente se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar; la orientación al sur, maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud origina que, durante el año, sean mínimas las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23.5° de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida. (Guerra Plasencia, Ballesteros Perdices, & Heras Celemín, 2008)

- Presencia de superficies reflectantes: debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumente en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno.

#### 1.4 Radiación solar total

La radiación solar total ( $I_T$ ) es la suma de la radiación solar dispersa ( $I_S$ ), directa ( $I_D$ ) y albedo ( $R$ ) en una superficie, también conocida como radiación global cuando se trata de una superficie horizontal.

$$I_T = I_D + I_S + R$$

(Guerra Plasencia, Ballesteros Perdices, & Heras Celemín, 2008)

#### 1.5 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la obtención de electricidad obtenida a partir de la radiación solar mediante dispositivos semiconductor denominado célula o celda fotovoltaica.

Este tipo de energía se usa principalmente para sistemas autónomos, de vivienda donde no existes el sistema de interconectado nacional, también son utilizados para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aplicaciones y aparatos autónomos, así como abastecer refugios de montaña o viviendas aisladas de la red eléctrica nacional, etc. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años, esta tecnología al ser comparada con otras fuentes energéticas tiene un bajo impacto ambiental, evita la propagación de gases de efectos invernaderos, sin embargo su mayor desventaja es que depende de la radiación directa del sol, esto se ha venido contrarrestando con acumuladores energéticos a pequeña y media escala y sistemas guías que mueven los paneles a posiciones perpendiculares a los rayos solares a lo largo del día, de igual manera se utilizan a gran escala para conexiones a la red eléctrica, donde no requieren acumuladores energético. (LIDER, 2014)



*Ilustración 4 Célula Fotovoltaica.*

## 1.6 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Ventajas:

- Se trata de una fuente de energía renovable, limpia y gratuita.
- Genera menos residuos contaminantes que las energías fósiles y que la nuclear.
- Necesita poco mantenimiento.
- Está disponible en todas las partes del planeta.
- Es muy fiable en su funcionamiento y rendimiento.
- No necesita combustible, por lo que es ideal para zonas remotas o alejadas de redes de suministro eléctrico.

- Son sistemas modulares, por lo que se pueden adaptar a aplicaciones muy variadas y ampliar sin tener que cambiar todos los elementos existentes.
- Permite aprovechar zonas infrautilizadas (tejados, terrenos baldíos, etc.) para producir energía.
- Es la única fuente de energía renovable que puede instalarse de forma masiva en el centro de zonas urbanas.

#### Desventajas

- Los costos de la inversión inicial son altos, aunque con el tiempo se amortiza.
- Requiere mucho espacio para la colocación de los paneles.
- Producen energía solo durante las horas en que hay luz solar.
- Las baterías para la acumulación de energía son de elevado costo, requieren espacios ventilados y tienen una vida útil de entre 5 y 10 años.
- En viviendas, se necesita la instalación de receptores muy eficientes y la adaptación de los hábitos de consumo del usuario.

### 1.7 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos se utilizan en una variedad de aplicaciones. Estas aplicaciones se pueden agrupar en dos categorías:

Sistema aislado a la red eléctrica (off grid): Conocidos como autónomos, su objetivo es satisfacer una demanda energética determinada, incorporan un equipo de acumulación de energía (baterías) y se instalan para electrificación rural y pequeño consumo.

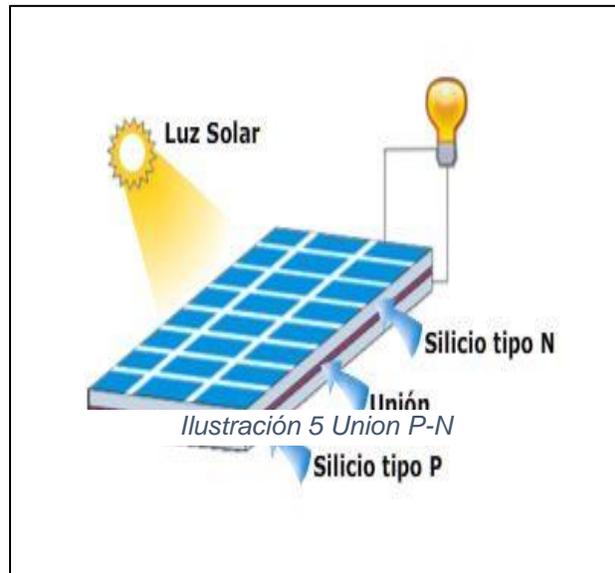
Sistema fotovoltaico de conexión a la red eléctrica: producen energía para ser inyectada en la red convencional, no necesitan incorporar equipos de acumulación de energía y para permitir el correcto acoplamiento con la red eléctrica, estos sistemas incorporan un equipo inversor que adecúa la potencia

producida por el generador fotovoltaico a las condiciones de la red convencional. (Gueymard, 2013)

### 1.8 Unión Positivo (P) y Negativo (N)

Cuando a un material semiconductor se le añaden impureza tipo P por un lado e impurezas tipo N por otro, se forma una unión PN con dos regiones, una N y otra P, separadas.

Por la atracción entre cargas positivas y negativas, los electrones libres de la región N más próximos a la región P, se difunden en esta, produciéndose la recombinación con los huecos más próximos de dicha región. En



la región N se crean iones positivos y en la región P se crean iones negativos.

Por el hecho de formar parte de una red cristalina, los iones mencionados no se pueden mover y por lo tanto no son libres para recombinarse. Esta distribución de cargas en la unión establece un campo eléctrico o barrera de potencial que impide el paso del resto de electrones de la región N a la región P, deteniendo la difusión y manteniendo separados a los portadores de carga de cada región.

#### 1.8.1 Semiconductores P-N

Para mejorar la conductividad eléctrica de los semiconductores se utilizan impurezas añadidas voluntariamente, operación denominada dopado, que puede ser de dos tipos:

- a) Impurezas pentavalentes: son elementos cuyos átomos tienen cinco electrones de valencia en su orbital externo. Entre ellos se encuentra el Fósforo, Antimonio y el Arsénico.

- b) Impurezas trivalentes: son elementos cuyos átomos tienen tres electrones de valencia en su orbital externo. Entre ellos se encuentra el Boro, el Galio y el Indio.

Cuando un elemento con cinco electrones de valencia entra en la red cristalina del Silicio, se completan los cuatro electrones de valencia que se precisan para llegar al equilibrio quedando un quinto electrón libre que se convierte en portador de carga, aumentando su conductividad eléctrica. Un semiconductor dopado con impurezas pentavalentes se dice que es de tipo N por ser negativa la carga de los portadores añadidos.

En cambio, si se introduce una impureza trivalente en la red cristalina del silicio se forman tres enlaces covalentes con tres átomos de silicio vecinos, quedando un cuarto átomo de silicio con un electrón sin enlazar, provocando un hueco en la red cristalina. Los huecos originados son portadores de carga para el paso de la corriente eléctrica formada por electrones que son transportados de hueco en hueco. El hueco se comporta como una carga positiva que solo se puede mover por el interior del semiconductor. Un semiconductor dopado con impurezas trivalentes se dice que es de tipo P por ser positiva la carga de los portadores añadidos. (Guerra Plasencia, Ballesteros Perdices, & Heras Celemín, 2008)

### 1.9 Efecto Fotovoltaico

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la célula solar, que no es otra cosa que un diodo con la característica esencial de tener una superficie muy amplia (unas decenas de centímetros cuadrados).

Para analizar de forma más minuciosa el efecto fotovoltaico es necesario describir el funcionamiento del diodo (UNIÓN P-N).

El silicio (Si) tiene 14 electrones de los que 4 son de valencia, lo que quiere decir que están disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En

un cristal de Silicio químicamente puro cada átomo está unido de forma covalente con otros 4 átomos, así que dentro del cristal no hay electrones libres.

Algunos átomos de silicio en el cristal se sustituyen con átomos de Fósforo (P), elemento que tiene 5 electrones de valencia: 4 serán utilizados para enlaces químicos con átomos adyacentes de Silicio, mientras que el quinto puede ser separado del átomo de Fósforo mediante energía térmica y, así, tener libertad de movimiento en la red del cristal.

Así mismo, si la sustitución se realiza con átomos de Boro (B), que solo tiene 3 electrones de valencia, faltará un electrón para completar los enlaces químicos con los átomos adyacentes de silicio. Este electrón que falta actúa como si fuera un electrón “positivo” y se llama hueco.

La siguiente figura muestra la situación descrita; en la primera imagen se ve la estructura de la red cristalina del silicio (Si), en la segunda la variación de la estructura cuando se realiza una combinación con átomos de Fósforo (P) y, finalmente, en la última situación, se muestra la red cristalina en enlaces con átomos de Boro (B).

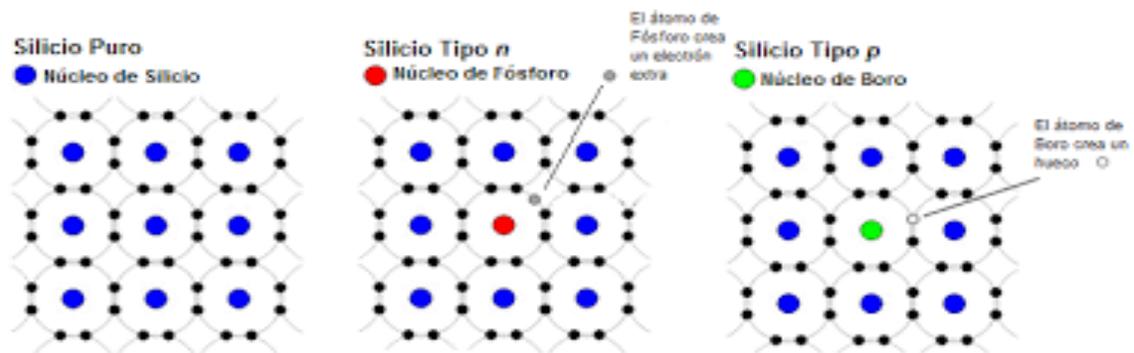


Ilustración 6 Efecto fotovoltaico

En el enlace con Fósforo, los portadores de carga libres son negativos y el material es llamado tipo N, mientras en la sustitución de átomos de Silicio con átomos de Boro, los portadores de carga son positivos y el material es llamado tipo P.

La unión P-N (diodo) se realiza uniendo una barra de material de tipo N con una barra de material de tipo p.

Los electrones libres en el material “N” verán una región en la que no existen electrones libres, y, por tanto, habrá un flujo de esos portadores hacia la zona en el intento de restablecer el equilibrio. De la misma manera, los huecos verán una región en la que no hay huecos y habrá un flujo de cargas positivas hacia la dicha zona. Con el avance de este proceso de difusión, en un lado se tendrá un exceso de cargas negativas mientras en el otro habrá un exceso de cargas positivas.

Por consiguiente, en la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los electrones continúan difundiendo hacia lados opuestos. Este proceso continuo hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos. Cuando se alcanza este equilibrio se habrá creado un campo eléctrico permanente en un material sin la ayuda de campos eléctricos externos.

(Guerra Plasencia, Ballesteros Perdices, & Heras Celemín, 2008)

#### 1.10 Celdas Solares Fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son los elementos que transforman parte de la energía luminosa del Sol directamente en electricidad. (Gueymard, 2013)

La célula fotovoltaica es formada por una fina capa de un material semiconductor, generalmente de Silicio, el segundo elemento más abundante en la arena; su grosor varía entre los 0.25 mm y los 0.35 mm, generalmente son de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100 cm<sup>2</sup>.

Estas células están elaboradas a base de Silicio con 97% de pureza, con adición de impurezas de ciertos elementos químicos tales como Boro y Fósforo y son capaces de generar una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios cada una de ellas. Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas, entre las cuales se pueden mencionar:

- **Silicio Monocristalino:** se obtienen a partir de barras cilíndricas de un solo cristal de silicio de gran pureza, poseen un rendimiento del 14 al 17%.

Presentan una larga vida útil y baja degradación de sus propiedades con el tiempo. Suelen ser de color negro homogéneo.

### **Ventajas de las celdas solares monocristalinas**

- Las celdas solares monocristalinas hacen los paneles solares planos más eficientes gracias a su habilidad de convertir la mayor cantidad de energía solar en electricidad.
- Han existido por muchos años, lo cual prueba su durabilidad.
- Son seguros para el medio ambiente.

### **Desventajas de las celdas solares monocristalinas**

- Los paneles solares con celdas monocristalinas son más caros que los policristalinos debido a la complejidad de su proceso de fabricación
- **Silicio Policristalino:** se fabrican a partir de bloques obtenidos por fusión de trozos de silicio puro en moldes especiales. Durante el lento enfriado, los átomos no se organizan en un único cristal, sino que forman granos cristalinos claramente visibles. Son de color llamado en inglés “Steel blue” (un tono azul que parece de acero galvanizado). Son más baratas de producir que las monocristalinas, pero tiene un rendimiento menor, en torno al 12-14%. Tienen un coeficiente de temperatura menor que las monocristalinas, lo que significa que su disminución de potencia al aumentar la temperatura es menor. Además, las monocristalinas son más oscuras, por que absorben más calor y alcanzan mayor temperatura. Es decir, las células policristalinas tienen mejor comportamiento a altas temperaturas.

### **Ventajas de las celdas solares policristalinas**

- Los paneles solares de celdas policristalinas son más económicos que los monocristalinos debido a que son más fáciles de fabricar ya que usan pedaceras de cristales de silicio.

### **Desventajas de las celdas solares policristalinas**

- Los paneles solares hechos de celdas policristalinas son menos eficientes que los paneles solares monocristalinos principalmente por la menor cantidad de silicio que incorporan.
- **Silicio Amorfo:** formadas por una pequeña capa de Silicio (Si) depositada sobre un soporte. Se emplea allí donde es necesario reducir el peso de los paneles o adaptarlo a superficies curvas. Su eficiencia es del 5-6% y empeora con el tiempo.

#### **Ventajas de las Celdas Solares Amorfas (De película delgada)**

- Las celdas solares amorfas son menos costosas.
- Son más flexibles.
- Algunas están hechas con materiales resistentes a las sombras o circuitos múltiples, lo cual permite a los paneles seguir generando energía incluso cuando algunas celdas están cubiertas por sombra.
- Tienen gran resistencia al calor.

#### **Desventajas de las Celdas Solares Amorfas (De película delgada)**

- Tienen un ciclo de vida más corto y se degradan más rápidamente que otros tipos de celdas solares.
- Los paneles solares amorfos son menos eficientes.
- **Celdas de capa fina (película delgada):** obtenidas mediante la deposición de capas muy delgadas de semiconductor sobre superficies de vidrio, metal o plástico. Podemos clasificarlas en:
  - **Teluro de Cadmio (CdTe):** con una capa P de Telurio de Cadmio (CdTe) y una N de sulfuro de Cadmio (CdS). Tiene una eficiencia de 10-12%. Presentan un problema de reciclaje, por ser tóxico el Cadmio (Cd).

- Cobre- Indio- Selenio (CIS): la capa semiconductor está formada por aleaciones de Cobre, Indio y Selenio junto con otros elementos (Galio o Azufre). Su eficiencia está en torno al 10-11%.
- Arseniuro de Galio (GaAs): son las más eficientes con rendimientos de entre 25 y el 30%. Son muy costosas, por la que se usan principalmente para aplicaciones en el espacio.

### **Ventajas de las celdas de película delgada**

- Les afecta mucho menos la temperatura ya que responden mejor que las de Silicio mono y policristalino a la luz solar difusa, por lo que sigue generando energía, aunque esté nublado.
- Las celdas solares de película delgada son más económicas.
- Pueden aplicarse a casi cualquier tipo de superficie, metal, plástico o vidrio.
- Son flexibles y pueden doblarse sin romperse.
- Superan el desempeño de otros tipos de paneles a altas temperaturas.
- Se desempeñan mejor con luz indirecta.

### **Desventajas de las celdas de película delgada**

- Son mucho menos eficientes que los monos y policristalinos.
- Requieren casi el doble de espacio para generar la misma cantidad de energía.
- Utilizan Teluro de Cadmio, una sustancia tóxica que no trae riesgos mientras se encuentre en el techo, sin embargo, trae problemas de contaminación al final de su ciclo de vida cuando los paneles de película delgada necesitan ser desechados. (Vallina, 2010)

En la siguiente tabla se observa la eficiencia alcanzada por los varios tipos de celdas que han sido utilizadas para la elaboración de los paneles solares fotovoltaicos:

Tabla 1 Celdas solares y sus eficiencias.

| <b>Celdas Solares y sus eficiencias.</b> |                                |         |  |
|--|--------------------------------|---------|--|
| <b>Tipo de Celda</b>                     | Eficiencia para módulos FV (%) |         | Eficiencia máxima para celdas de laboratorio (%) |
|  | Típicas                        | Máximas |  |
| <b>Silicio monocristalino</b>            | 12 - 15                        | 22.3    | 24   |
| <b>Silicio policristalino</b>            | 11 – 14                        | 15.3    | 28.6   |
| <b>Silicio amorfo</b>                    | 6 – 7                          | 10.2    | 12.7   |
| <b>Telurio de cadmio</b>                 | 7 – 8                          | 9.1     | 15.8   |
| <b>Di-seleniuro de Cobreo indio</b>      |                                |         | 16.4   |

### 1.11 Partes de un Panel Solar Fotovoltaico

Una célula solar típica posee en la actualidad una superficie de 243 centímetros cuadrados y produce una potencia pico de entre 3 y 4 vatios, con una tensión de 0.5 voltios y una intensidad de entre 7 y 8 amperios. El escaso valor de la tensión y la potencia hace necesaria la conexión de varias células en serie. Para ello, se suelda el conector superior (negativo) de una célula con el conector inferior (positivo) de la siguiente. Entre las células individuales se introduce un pequeño espacio de unos 2 milímetros.

La mayor parte de los módulos o paneles fotovoltaicos posee entre 36 y 96 células conectadas en serie. En la actualidad, los módulos estándar llegan a entregar una potencia de hasta 300 vatios, con unos valores tensión que rondan habitualmente los 30 voltios en el punto de máxima potencia.

Además de las células propiamente dichas, el panel debe contar con una serie de elementos adicionales:

- Un aislamiento adecuado, para proteger las células frente a los agentes atmosféricos y evitar que se dañen o se degraden.
- Una consistencia mecánica que permita manipular el conjunto y proporcionarle la adecuada solidez.

El panel solar fotovoltaico está compuesto por:

- *Cubierta frontal:* fabricada con vidrio templado y con un grosor de unos tres o cuatro milímetros, debe ser buen transmisor de la radiación solar y proteger las células contra los agentes atmosféricos. La superficie exterior de esta cubierta es anti-reflexiva y antiadherente.
- *Encapsulado:* Proporciona solidez a las células, estas se insertan en un material transparente que las aísla eléctricamente. El encapsulado debe permitir la transmisión de la radiación solar y no degradarse con la luz ultravioleta. Se suelen emplear cuatro materiales para el encapsulado: Etileno Vinil Acetato (EVA), Butiral de Polivinilo (PVB), Teflón y Resina.
- *Cubierta posterior:* suele estar fabricada con Poliflururo de vinilo (PVF) o Poliéster. Al igual que la cubierta frontal, sirve para proteger al módulo frente a los agentes atmosféricos y para aislarlo eléctricamente.
- *Marco:* fabricado en aluminio anodizado, proporciona rigidez y resistencia al módulo, disponiendo además de un sistema de fijación.
- *Conexiones:* se sitúan en la parte posterior del módulo, en una caja que los protege del polvo. Estas cajas deben tener como mínimo una protección IP 54. (Definición de grado/índice acorde a DIN en IEC60529. Código IP65, índice "5". Protección contra residuos de polvo. Segundo Índice "4". Protección contra salpicaduras de agua). En el momento del montaje, se debe evitar totalmente que, entre agua en la caja, lo que se logra mediante el uso de prensaestopas.

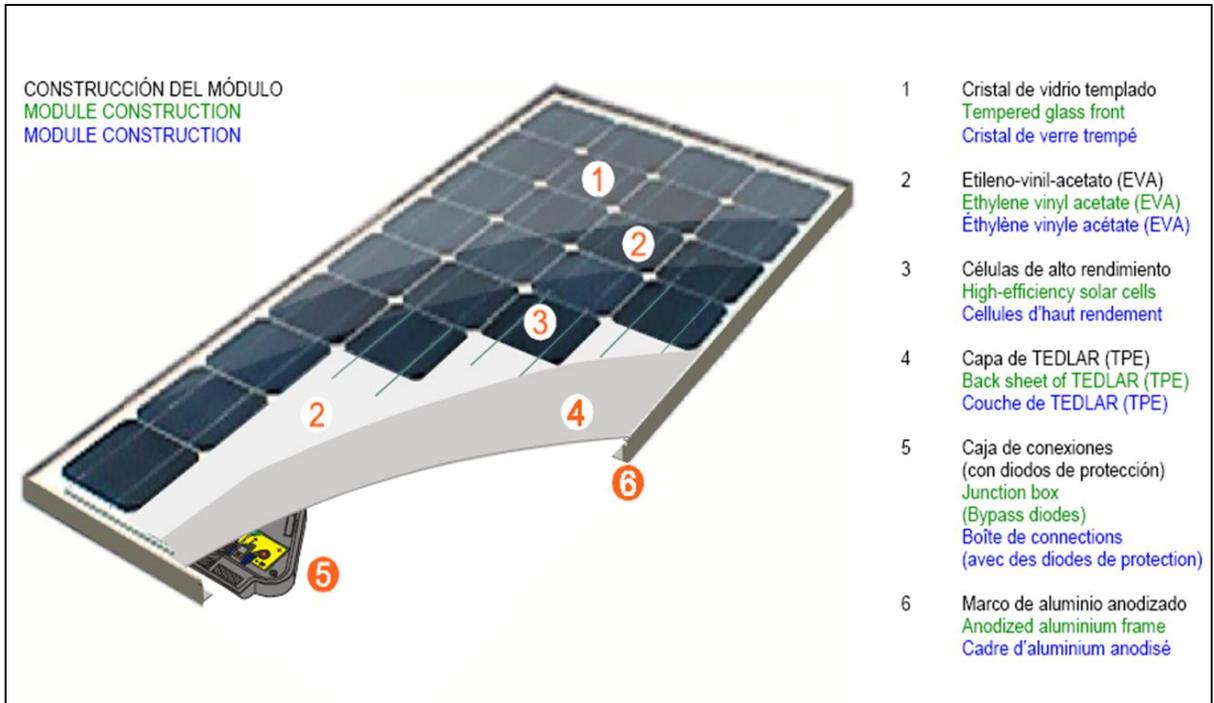


Ilustración 7 Partes de un panel solar fotovoltaico

## 1.12 Criterios a considerar para elección del panel solar fotovoltaico

La característica eléctrica de un panel fotovoltaico está dada por la curva solar que es la relación intensidad de corriente y tensión ( $I - V$ ), esta fluye a través del panel.

Esta curva depende de la Irradiancia solar ( $\frac{W}{m^2}$ ), de la radiación solar incidente y de la temperatura de la celda.

### 1.12.1 Potencia Pico

Conocida también como Potencia del Panel.

Se define como la potencia máxima de salida, en Watts de potencia, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, es decir, una radiación solar de  $1000(\frac{W}{m^2})$  a  $25^\circ\text{C}$  de temperatura.

### 1.12.2 Variación de potencia

Es una manera estadística de representar que tan alta o baja es la salida de la potencia de un panel. Las tolerancias de la potencia son típicamente expresadas en porcentaje ( $\pm 5\%$ ).

### 1.12.3 Eficiencia

La eficiencia se expresa como un porcentaje, es una cuantificación del grado en el que un panel solar convierte la radiación solar en electricidad, con el resto disipado como calor no productivo. Entre más alta sea la eficiencia de un panel, más será la electricidad que producirá.

### 1.12.4 Coeficientes de temperatura

El coeficiente de temperatura indica el comportamiento eléctrico de un panel solar desde una temperatura de funcionamiento estándar de  $25^{\circ}\text{C}$ . Dada por las características técnicas del panel solar seleccionado, las unidades de este coeficiente se expresan en “% por  $^{\circ}\text{C}$ ”, por lo que cuanto menor sea el coeficiente, mejor será el panel solar. Por otro lado, cuanto mayor sea el número, menor será el rendimiento del módulo fotovoltaico en caso de calor intenso o al comienzo de la tarde.

Un coeficiente de temperatura alto es un signo de un panel solar de menor calidad. Un número razonable es de alrededor del  $0,5\%$ , también los mejores paneles solares hasta el  $0,3\%$ , mientras que el  $0,7\%$  indica un bajo coeficiente en términos de rendimiento y, por lo tanto, un equipo fotovoltaico no muy confiable.

Ejemplo: las células solares monocristalinas tienen un coeficiente de temperatura de  $-0.5\% / ^{\circ}\text{C}$ , esto significa que un panel solar perderá un  $0.5\%$  de su potencia por cada grado superior a la temperatura ideal o de laboratorio la cual es de  $25$  grados centígrados.

La temperatura tiene una influencia importante. Al aumentar la temperatura, se incrementa también la corriente, disminuyendo tensión, teniendo como resultado la disminución de la potencia entre un  $0.3- 0.5\%$  por grado  $^{\circ}\text{C}$ .

Si las condiciones a las que se ve sometido el panel son diferentes a las de estándar medida, las características de los paneles fotovoltaicos cambiarán.

Por lo tanto, es necesario conocer tres parámetros importantes de los paneles:

- *Corriente de corto circuito*  $I_{sc}$  : es la máxima corriente de salida que puede alcanzarse por el módulo bajo las condiciones de un circuito sin resistencia o en corto circuito.
- *Voltaje de circuito abierto*  $V_{oc}$  : es el voltaje potencial máximo obtenido cuando no se está extrayendo corriente del módulo. Como no hay corriente fluyendo el módulo experimenta la máxima tensión eléctrica.
- *Punto de máxima potencia*  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$ : es el punto de operación en el cual el módulo produce la máxima salida en las condiciones de operación indicadas por esa curva. En otras palabras,  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$  del módulo pueden medirse cuando el sistema está con carga y en la celda una temperatura de 25° C y 1000 ( $\frac{W}{m^2}$ ). El voltaje en el punto de máxima potencia puede determinarse extendiendo una línea vertical desde la curva hacia abajo para leer un valor en la escala horizontal de voltaje.

La corriente en el punto de máxima potencia puede determinarse extendiendo una línea horizontal desde la curva hacia la izquierda para leer un valor en la escala vertical de la corriente ( $I_{mp}$ ).

La potencia (Watt) en el punto de máxima potencia se determina multiplicando el voltaje a la máxima potencia por la corriente a la máxima potencia.

La potencia de salida decrece según cae el voltaje. Las salidas de corriente y potencia para la mayoría de los módulos caen según se incrementa el voltaje más allá del punto de máxima potencia. (Mateo, 2015)

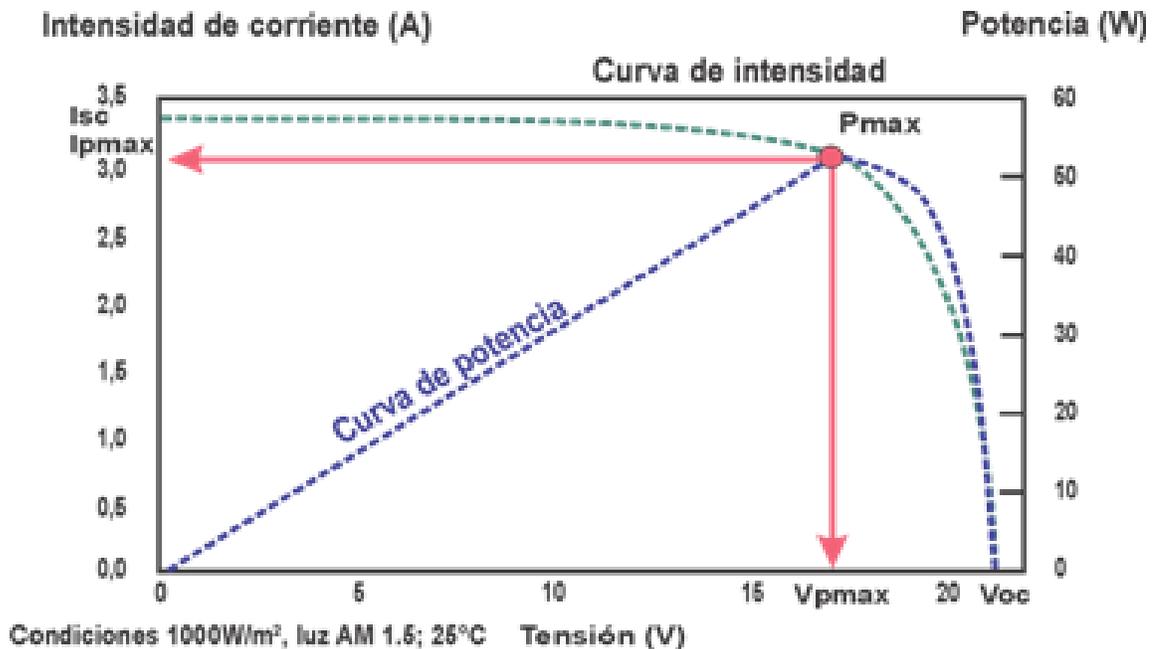


Ilustración 8 Curva de Potencia. (Condiciones ideales)

### 1.13 Calidad de paneles solares

- Certificación ISO 9001
- Durabilidad de un panel solar
- Certificación IEC 61215
- Carga de viento

### 1.14 Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos.

#### 1.14.1 Carga eléctrica

Es la cantidad de energía eléctrica que se debe proporcionar a un sistema para su funcionamiento.

Se determina por dos variables:

- Tipo de carga
- Régimen de carga

#### 1.14.2 Tipo de carga

Existen tres tipos de carga (consumo):

- CD (Corriente Directa)

- CA (Corriente Alterna)
- Mixta (CD y CA)

### 1.14.3 Régimen de Carga

El régimen de carga está definido por las siguientes variables:

- La cantidad de energía que la carga requiere por día.
- El periodo del día durante el cual se usará esa energía.
- El valor máximo (pico) que alcance el consumo.

### 1.15 Cantidad de Energía

Está en dependencia del consumo eléctrico del lugar donde se hará la conexión, esta medida está dada en Wh/día o Kwh/día, y en función de la cantidad y el tipo de aparatos a conectarse y del tiempo que permanezcan conectados.

### 1.16 Hora Solar Pico. (HSP)

Es el potencial solar que muestra una zona. La hora solar pico muestra la cantidad de horas que una zona recibe una irradiación equivalente a  $1.000 \frac{W}{m^2}$  al día. Se debe analizar el patrón de consumo para determinar si el régimen de carga es constante, o si tiene picos de carga; esta carga deber ser satisfecha o el sistema tendrá un déficit energético. (González F. J., 2016)

### 1.17 Corriente Alterna (CA) / Corriente Directa (CD)

*Corriente Alterna (CA):* es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos. La corriente que fluye por las líneas eléctricas y la electricidad disponible normalmente en las casas procedente de los conectores de pared es corriente alterna. La corriente estándar utilizada en los EE.UU. es de 60 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 60 Hz); en Europa y en la mayor parte del mundo es de 50 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 50 Hz.).

*Corriente Directa (CD):* es el nombre por el cual se conoce al desplazamiento constante de la carga eléctrica, la cual se traslada desde un conductor hacia dos

puntos de potencial distinto sin cambiar su sentido con el paso del tiempo. (S.L. Innovaciones, 2017).

Los sistemas de CD requieren un inversor para convertirla a Corriente Alterna (CA) que es la que normalmente se utiliza en las instalaciones residenciales. (S.L. Innovaciones, 2017)

#### 1.18 Periodo de consumo eléctrico

Determina la cantidad de energía que debe generarse y/o acumularse, depende del periodo de consumo, que puede ser:

- Diurno: no requiere bloque de acumulación.
- Nocturno: requiere bloque de acumulación.
- Continuo. Día y noche, requiere bloque de acumulación (banco de baterías).

#### 1.19 Banco de Baterías

Por lo general son baterías de ciclo profundo, las cuales están diseñadas para soportar niveles de descargar profundos durante muchos ciclos de cargar y descargar.

Evita la descarga de las baterías a través de los paneles durante la noche cuando el voltaje de salida del sistema solar fotovoltaico es nulo.

Para el banco de baterías se usa un tipo especial llamada batería solar. Las cuales se ofrecen en versiones de 6V y 12 V, 24V y 48V; para zonas residenciales las más implementadas son las de 12V. Están diseñadas para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga.

El fusible de baterías es usado en el sistema como un elemento de seguridad. Para prevenir un cortocircuito accidental.

Existen diversos tipos de baterías solares:

- Las baterías de abiertas se rellenan periódicamente con agua destilada.

- Las baterías de ácido cerradas, estancas o sin mantenimiento no necesitan rellenarse, pero tienen un ciclo de vida algo más corto que las anteriores, puesto que la carga y la descarga electrolizan una pequeña cantidad de agua y la batería, pasado un tiempo, se seca y queda inservible.
- Baterías de gel. En este tipo de baterías, se añaden aditivos al electrolito, lo que reduce la tendencia a la corrosión y evita la formación de gases. Son baterías sin mantenimiento, se pueden instalar en cualquier lugar y están selladas para evitar la salida del ácido. Ej.: baterías de Absortion Glass Mat (AGM)
- Baterías de Litio: Con la aleación de Litio y Hierro (LI-Fe) disponible en las baterías de Litio se puede descargar el 100% de su potencia. Esto quiere decir que una batería de Litio de 200 Ah se puede cargar a ese nivel. En cambio, en las AGM o las de Gel, esta potencia de carga se sitúa en un porcentaje menor, en el 10 o en el 20%. Esta mayor capacidad de descarga permite que el proceso de carga sea más rápido que en el resto de baterías. La vida útil de estas baterías es de 5000 o 6000 ciclos al 80% de descarga, debido al efecto memoria casi nulo que tiene el electrolito. (Serrano, 2016)

### 1.20 Regulador o controlador de carga

Es un dispositivo destinado a proteger las baterías tanto de los excesos de carga desde los paneles como de los de descarga por el consumo de los receptores que provocan una disminución de su vida útil. Además de la vigilancia y control del estado de carga de la batería con el objetivo de maximizar su vida útil, el regulador de carga puede disponer de funciones adicionales como compensación por temperatura de baterías, alarmas, monitorización y visualizadores. A pesar de que el regulador de carga puede suponer solo un 5% del coste total del sistema, su funcionamiento tiene una gran influencia en la vida útil de la batería y por tanto en el coste final del sistema (de un 20% a un 40% del coste de sustitución del sistema de baterías). (Carreras, 2019)

### 1.21 Inversor

Su función es convertir la corriente continua proveniente de las baterías en corriente alterna para su aprovechamiento.

### 1.22 Cableado

Es lo más básico del sistema y su selección tiene un rol importante en la reducción de pérdidas de energía por efecto Joule el cual refiere a la pérdida de energía causada por el movimiento de los electrones dentro del cableado generando fricción y calor. Es importante recordar que el régimen de carga (Watts) está directamente relacionado con la corriente la cual disminuye cuando el voltaje del sistema aumenta. Para instalaciones fotovoltaicas el voltaje más adecuado es 12V. (S.L. Innovaciones, 2017)

Todos los cables tienen una capa de recubrimiento o aislamiento para prevenir que entren en contacto unos con otros y provoquen un cortocircuito.

Se puede identificar el tipo de aislamiento que tiene un cable en las inscripciones que aparecen sobre él, son abreviaciones del inglés. Los cables que se utilizan para instalaciones en viviendas y oficinas son: THN, THW, THHW y THWN. El significado de estas abreviaturas es el siguiente. (S.L. Innovaciones, 2017)

- *T (Thermoplastic)*: Aislamiento termoplástico (este lo tienen todos los cables).
- *H (Heat resistant)*: Resistente al calor hasta 75° centígrados (167° F).
- *HH (Heat resistant)*: Resistente al calor hasta 90° centígrados (194° F).
- *W (Water resistant)*: Resistente al agua y a la humedad.
- *LS (Low smoke)*: Este cable tiene baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes.
- *SPT (Service parallel thermoplastic)*: Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex.

Las medidas de los cables y alambres eléctricos son categorizadas en calibres si se habla del sistema AWG (American Wire Gauge), sin embargo, es más común conocerlos dependiendo del diámetro del cable en el sistema métrico decimal y categorizarlos en milímetros cuadrados dependiendo del diámetro de la sección. (S.L. Innovaciones, 2017)

| FOTO  | CALIBRE / AWG | SECCIÓN EN MM2     | CONSUMO DE CORRIENTE | EJEMPLOS  |
|---|---------------|--------------------|----------------------|---|
|    | 4             | 25mm <sup>2</sup>  | Muy alto             | Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts). |
|    | 6             | 16mm <sup>2</sup>  | Alto                 | Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.                           |
|    | 8             | 10mm <sup>2</sup>  | Medio - alto         | Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.                                   |
|  | 10            | 6mm <sup>2</sup>   | Medio                | Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.             |
|  | 12            | 4mm <sup>2</sup>   | Medio - bajo         | Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.                                  |
|  | 14            | 2.5mm <sup>2</sup> | Bajo                 | Extensiones de bajo consumo, lámparas.  |
|  | 16            | 1.5mm <sup>2</sup> | Muy bajo             | Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.                             |

*Ilustración 9 Tabla de equivalencias de calibres en mm (S.L. Innovaciones, 2017)*

Cuanto más grande sea un cable, mayor será su capacidad para llevar la corriente eléctrica. Corriente máxima que un conductor aislado puede llevar sin exceder las limitaciones térmicas de su aislamiento y cubierta.

A continuación, se mostrará una tabla con el amperaje que soportan los cables de cobre.

| Amperaje que soportan los cables de cobre |                    |                |                      |                            |                    |
|---|--------------------|----------------|----------------------|----------------------------|--------------------|
| Nivel de temperatura:                     | 60°C               | 75°C           | 90°C                 | 60°C                       |                    |
| Tipo de aislante:                         | TW                 | RHW, THW, THWN | THHN, XHHW-2, THWN-2 | SPT                        |                    |
| Medida / calibre del cable                | Amperaje soportado |                |                      | Medida / calibre del cable | Amperaje soportado |
| 14 AWG                                    | 15 A               | 15 A           | 15 A                 | 20 AWG                     | 2 A                |
| 12 AWG                                    | 20 A               | 20 A           | 20 A                 |                            |                    |
| 10 AWG                                    | 30 A               | 30 A           | 30 A                 | 18 AWG                     | 10 A               |
| 8 AWG                                     | 40 A               | 50 A           | 55 A                 |                            |                    |
| 6 AWG                                     | 55 A               | 65 A           | 75 A                 |                            |                    |
| 4 AWG                                     | 70 A               | 85 A           | 95 A                 | 16 AWG                     | 13 A               |
| 3 AWG                                     | 85 A               | 100 A          | 115 A                |                            |                    |
| 2 AWG                                     | 95 A               | 115 A          | 130 A                | 14 AWG                     | 18 A               |
| 1 AWG                                     | 110 A              | 130 A          | 145 A                |                            |                    |
| 1/0 AWG                                   | 125 A              | 150 A          | 170 A                |                            |                    |
| 2/0 AWG                                   | 145 A              | 175 A          | 195 A                | 12 AWG                     | 25 A               |
| 3/0 AWG                                   | 165 A              | 200 A          | 225 A                |                            |                    |
| 4/0 AWG                                   | 195 A              | 230 A          | 260 A                |                            |                    |

*Ilustración 10 Normas AWG para amperaje que soporta cables de cobre (S.L. Innovaciones, 2017)*

### 1.23 Estructura de Soporte

La estructura de soporte asegura el anclaje del generador solar y le proporciona orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación solar incidente. Además, es la encargada de hacer que los paneles fotovoltaicos resistan la acción ejercida por los agentes atmosféricos. Hay que recordar que los paneles fotovoltaicos pesan poco, pero en cambio, ofrecen una gran superficie que oponer al viento, lo que puede traducirse en esfuerzos que, durante una fuerte racha de este, hagan que los paneles salgan proyectados desde su ubicación.

La elección de los soportes empleados para la sujeción de los paneles dependerá del tipo de montaje que se les dé, no siendo el mismo tipo de estructura la que se emplee para el montaje de los paneles sobre un tejado, que la que se monte en una fachada. La estructura debe ser capaz de resistir las cargas a las que va a estar sometida.

### 1.23.1 Estructura soporte sobre techo

En este caso se debe tener en cuenta el tipo de cubierta sobre la que va a ir montada la estructura de soporte.

El tejado es uno de los lugares más empleados para la colocación del sistema generador fotovoltaico, ya que, por lo general, dispone de espacio y, al estar elevado, también presenta menos problemas con las sombras. Sin embargo, la colocación de la estructura de soporte de los paneles puede afectar a la impermeabilización, por el tema de las sujeciones; en las estructuras sobre cubiertas no deben traspasarse estas con los anclajes para evitar infiltraciones de agua.

### 1.23.2 Colocación sobre techo inclinado

Cuando la cubierta está inclinada, existen dos formas fundamentales de colocar los módulos:

- Sobre una estructura independiente de la cubierta.
- Integrados totalmente en la cubierta.

Y, además, cuando los módulos se colocan sobre una estructura esta puede presentar dos configuraciones:

- Paralela a la cubierta
- Salvando el desnivel de la cubierta, de forma que queden todos los paneles a la misma altura.

Estructuras para cubiertas de teja: se colocan paralelas a la cubierta sin tener que perforar las tejas. Incluyen un salva teja, que permite anclar la estructura y poner encima los perfiles sobre los que se sujetan los módulos.

(S.L. Innovaciones, 2017)

## 2. Ubicación de los Paneles Solares

### 2.1 Mapa de irradiancia solar en Nicaragua

Para diseñar correctamente un sistema Fotovoltaico se requiere los datos de la Irradiación global y la radiación directa normal, estos permiten realizar un dimensionamiento más preciso y un estudio comparativo de sitios para la ubicación del sistema. Sin estos datos es posible que el desempeño del sistema sea ineficiente lo que acarrearía pérdidas económicas.



*Ilustración 11 Mapa de Irradiación Solar en Nicaragua.*

## 2.2 El clima promedio en Managua

En Managua, la temporada de lluvia es opresiva y nublada; la temporada seca es bochornosa, ventosa y parcialmente nublada y es muy caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 21 °C a 35 °C y rara vez baja a menos de 20 °C o sube a más de 36 °C.

## 2.3 El sol y la energía solar en Managua

La duración del día en Managua no varía considerablemente durante el año, solamente varía 50 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2019, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 25 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 50 minutos de luz natural.

El período más resplandeciente del año dura 2,1 meses, del 19 de febrero al 22 de abril, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 6,8 kWh. El día más resplandeciente del año es el 25 de marzo, con un promedio de 7,4 kWh. El periodo más obscuro del año dura 2,6 meses, del 23 de agosto al 11 de noviembre, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 5,2 kWh. El día más obscuro del año es el 2 de octubre, con un promedio de 4,6 kWh. (Spark, 2019)

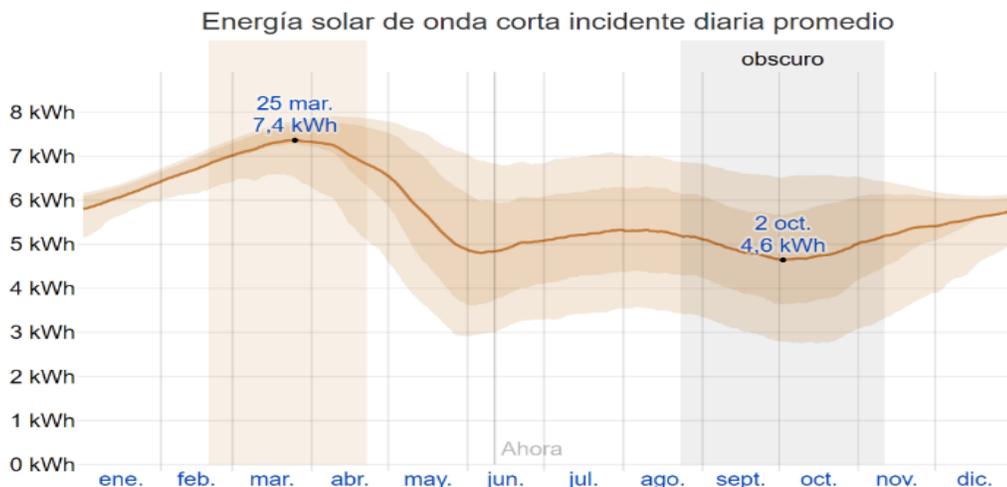


Ilustración 12 La energía solar de onda corta promedio diario que llega a la tierra por metro cuadrado (línea anaranjada), con las bandas de percentiles 25° a 75° C y 10° a 90° C. (Spark, 2019).

## 2.4 Ubicación de los paneles solares fotovoltaicos

Esta propuesta de instalación se realizará en una vivienda localizada en el departamento de Managua, Nicaragua, con latitud y longitud de 12°06'58.9"N 86°16'41.6"W.

Este lugar cuenta con una casa de dos pisos con un terreno de 750 metros cuadrados, adicionalmente parte del terreno esta acondicionado con una serie de cuatro apartamentos en alquiler, un cuarto de música y un apartamento que se arregló para poder realizar servicios alimenticios como almuerzos delivery, por lo que esta área cuenta con una gran variedad y cantidad de aparatos electrodomésticos en uso constante lo que causa un gran consumo de energía

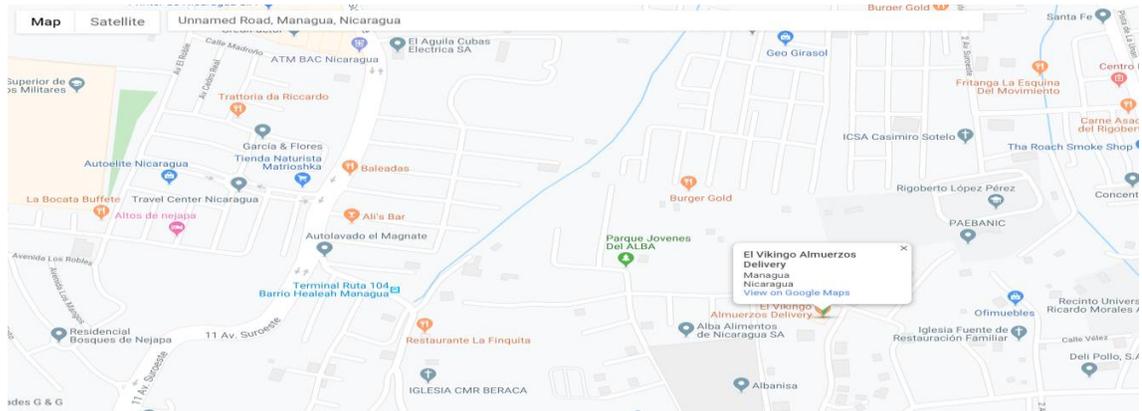


Ilustración 13. © 2017 The World Bank, Solar resource data: Solargis.

Tabla 2 Recurso solar del sitio.

| <b>Recurso Solar</b>                         |                       |
|--|-----------------------|
| Latitud                                      | <b>12.1162 N</b>      |
| Longitud                                     | <b>86.27833 O</b>     |
| Ángulo Óptimo                                | <b>15°</b>            |
| Insolación promedio a 12° (horas)            | <b>5.67 h</b>         |
| Insolación promedio en ángulo óptimo (horas) | <b>6.04 h</b>         |
| Temperatura Mínima °C                        | <b>Enero: 21.93°C</b> |
| Temperatura Máxima °C                        | <b>Abril: 42.34°C</b> |

Recurso energético del sitio. (Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA), 2019)

## 2.5 Datos históricos del tiempo en Managua

Tabla 3 Tabla de temperatura en Managua (°C).

| <i>Tabla de temperatura en Managua (°C).</i> |                             |                             |                            |
|--|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Meses</b>                                 | Temperatura.<br>Mínima (°C) | Temperatura.<br>Máxima (°C) | Temperatura.<br>Media (°C) |
| <b>Enero</b>                                 | 21,1                        | 31,9                        | 26,5                       |
| <b>Febrero</b>                               | 21,5                        | 33,2                        | 27,4                       |
| <b>Marzo</b>                                 | 22,5                        | 34,5                        | 28,5                       |
| <b>Abril</b>                                 | 23,3                        | 35,1                        | 29,2                       |
| <b>Mayo</b>                                  | 23,7                        | 34,4                        | 29,1                       |
| <b>Junio</b>                                 | 23,2                        | 31,7                        | 27,5                       |
| <b>Julio</b>                                 | 23,2                        | 31,6                        | 27,4                       |
| <b>Agosto</b>                                | 22,9                        | 32                          | 27,5                       |
| <b>Septiembre</b>                            | 22,5                        | 31,6                        | 27,1                       |
| <b>Octubre</b>                               | 22,4                        | 31,2                        | 26,8                       |
| <b>Noviembre</b>                             | 21,6                        | 31,5                        | 26,6                       |
| <b>Diciembre</b>                             | 20,8                        | 31,7                        | 26,3                       |
| <b>Promedio</b>                              | 22,4                        | 32,5                        | 27,5                       |

### 3. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

Para el dimensionamiento del sistema se requiere:

- Estimación de la carga eléctrica de la casa y los apartamentos.
- Recurso solar.
- Tecnología disponible en Nicaragua.

#### 3.1 Estimación de la carga eléctrica.

Inicialmente, se calcula la demanda de energía de la vivienda y los apartamentos al promediar su consumo energético durante un año luego se determina el promedio aproximado de consumo diario y la energía que se espera generar con los paneles, en kWh/día.

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = \frac{\text{Prom. consumo anual kWh/año}}{365 \text{ días/año}} \quad \text{Ec. 1}$$

*Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día  $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}}\right)$ .*

*Prom. consumo anual  $\frac{\text{kWh}}{\text{año}}$ : Promedio de consumo energético anual  $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}}\right)$ .*

$$\text{EG por sistema FV} = \text{Prom. consumo diario kWh} * \% \text{ EG por FV} \quad \text{Ec. 2}$$

*EG por sistema FV = Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico.*

*Prom. consumo diario kWh = Promedio de consumo energético por día  $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}}\right)$ .*

*% EG por FV = Porcentaje de energía generada por el Sistema Solar Fotovoltaico.*

Consecutivamente, se investiga el promedio de horas sol pico, se calcula la eficiencia del panel solar y posteriormente se determina la potencia necesaria del sistema solar fotovoltaico, se incluye factores de reducción por pérdidas por temperaturas, del sistema y del inversor.

### 3.2 Eficiencia del panel solar fotovoltaico

Para determinar la eficiencia del panel o módulo fotovoltaico, primero se determina a través de la temperatura de trabajo del panel:

$$T_{trabajo} = T_{amb} + T_{aire} \quad \text{Ec. 3}$$

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente.

$T_{aire}$  : Temperatura del aire.

Luego se obtiene la diferencia de temperatura que tendrá el panel:

$$\Delta T = T_{trabajo} - T_{\acute{o}ptima} \quad \text{Ec. 4}$$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura.

$T_{\acute{o}ptima}$  : Temperatura óptima de operación del panel solar bajo condiciones estandar.

Después de encontrar la diferencia de temperatura se determina la eficiencia del panel solar:

$$\eta_{panel} = 1 - 0.005\Delta T \quad \text{Ec. 5}$$

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura.

### 3.3 Cálculo de Potencia del sistema solar

$$P_{sist. FV} = \frac{\text{Prom.consumo diario} \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{\text{Prom.HSP} * \eta_{inversor} * F.\text{reducción} * \eta_{panel}} \quad \text{Ec. 6}$$

$P_{sist. FV}$ : Potencia necesaria desde el sistema Solar Fotovoltaico.

Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día  $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}}\right)$ .

Prom. HSP: Promedio diario de horas solar pico.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

F. reducción: Factor de reducción.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

### 3.4 Módulo solar fotovoltaico

#### 3.4.1 Número de módulos solares necesarios.

$$\text{No. de módulos} = \frac{P_{sist. FV}}{P. \text{nominal STC}} \quad \text{Ec. 7}$$

No. de módulos: Número de módulos solares fotovoltaicos necesarios.

$P_{sist. FV}$ : Potencia necesaria desde el sistema Solar Fotovoltaico.

P. nominal STC: Potencia nominal STC del módulo solar fotovoltaico.

STC: Condiciones estandar de prueba del panel.

#### 3.4.2 Número de módulos solares en serie.

$$\text{No. módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje del módulo fotovoltaico}} \quad \text{Ec. 8}$$

#### 3.4.3 Número de módulos en paralelo.

$$\text{No. módulos en paralelo} = \frac{\text{No. módulos solares}}{\text{No. módulos en serie}} \quad \text{Ec. 9}$$

### 3.5 Inversor

Con los sistemas solares fotovoltaicos interconectados se elige un modelo de inversor basado en la potencia máxima que pasa a través de éste desde el sistema solar fotovoltaico.

$$P_{MI} = \text{No. de módulos} * P. \text{ nominal STC} \quad \text{Ec. 10}$$

$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W).

No. de módulos: Número de módulos solares fotovoltaicos necesarios.

P. nominal STC: Potencia nominal STC del módulo solar fotovoltaico.

$$\text{No. de Inversores} = \frac{P_{MI}}{P_{inv}} \quad \text{Ec. 11}$$

No. de Inversores: Número de inversores necesarios en el sistema.

$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W).

$P_{inv}$ : Potencia nominal del inversor (W).

### 3.6 Controlador de carga

$$I_{M\acute{a}x} = \frac{\text{Número de paneles en paralelo} * I_{mp}}{\eta_{\text{Controlador de carga}}} \quad \text{Ec. 12}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{mp}$  : Corriente máxima de potencia de los paneles solares.

$\eta_{\text{Controlador de carga}}$ : Eficiencia del Controlador de carga.

$$\text{Número de controladores} = \frac{I_{M\acute{a}x}}{I_{Invm\acute{a}x}} \quad \text{Ec. 13}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{Invm\acute{a}x}$  : Corriente máxima del inversor (A).

### 3.7 Baterías

El número de baterías del sistema solar fotovoltaico se calcula realizando un censo de carga de la casa para determinar un estimado de la demanda durante horas nocturnas y realizar los cálculos para el dimensionamiento del banco de baterías.

Primero se realiza un ajuste de Wh/día basado en la eficiencia del sistema:

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = \frac{EG \text{ por sistema FV } \left(\frac{Wh}{d\acute{a}a}\right) * 0.3}{(\eta_{bater\acute{a}a}) * (\eta_{cableado}) * (\eta_{inversor}) \text{ Voltaje del Sistema}} \quad \text{Ec. 14}$$

$EG \text{ por sistema FV}$  : Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico.

$\eta_{bater\acute{a}a}$ : Eficiencia de la batería.

$\eta_{cableado}$ : Eficiencia del cableado.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\text{Promedio diario requerido (Ah)} * N}{\frac{P_{D_{bater\acute{a}a}}}{\text{Capacidad de Batería (Ah)}}} \quad \text{Ec. 15}$$

$N$ : Días de autonomía.

$P_{D_{bater\acute{a}a}}$ : Profundidad de descarga de batería.

$$\text{No. Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\text{Número total de baterías} = \text{baterías en paralelo} \times \text{baterías en serie} \quad \text{Ec. 17}$$

#### 4. Memoria de cálculo, selección de equipos y sistemas

##### 4.1 Cálculo de la demanda energética

Se utilizó la página en línea de DISNORTE – DISSUR para recolectar los datos de consumo de energía eléctrica de un año entero (2018) y así promediar la demanda energética del hogar y los apartamentos.

Tabla 4 Tabla de consumo energético de casa y apartamentos kWh/mes.

| <b>Tabla de consumo energético de casa y apartamentos kWh/mes.</b> |                   |                          |                        |             |                     |                |                |                          |
|--|-------------------|--------------------------|------------------------|-------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| <b>Periodo de consumo</b>  |                   | <b>Mes de la factura</b> | <b>Días facturados</b> | <b>Casa</b> | <b>Restaurante.</b> | <b>Apto. 2</b> | <b>Apto. 3</b> | <b>Consumo kWh / mes</b> |
| <b>10/01/2018</b>  | <b>07/02/2018</b> | Febrero                  | 28                     | 680         | 332                 | 152            | 167            | 1331                     |
| <b>07/02/2018</b>  | <b>11/03/2018</b> | Marzo                    | 32                     | 590         | 358                 | 147            | 217            | 1312                     |
| <b>11/03/2018</b>  | <b>09/04/2018</b> | Abril                    | 29                     | 685         | 377                 | 132            | 182            | 1376                     |
| <b>09/04/2018</b>  | <b>09/05/2018</b> | Mayo                     | 30                     | 655         | 353                 | 135            | 358            | 1501                     |
| <b>09/05/2018</b>  | <b>08/06/2018</b> | Junio                    | 30                     | 845         | 302                 | 162            | 283            | 1592                     |
| <b>08/06/2018</b>  | <b>10/07/2018</b> | Julio                    | 32                     | 687         | 252                 | 146            | 206            | 1291                     |
| <b>10/07/2018</b>  | <b>09/08/2018</b> | Agosto                   | 30                     | 539         | 198                 | 101            | 233            | 1071                     |
| <b>09/08/2018</b>  | <b>09/09/2018</b> | Septiembre               | 31                     | 557         | 230                 | 136            | 246            | 1169                     |
| <b>09/09/2018</b>  | <b>09/10/2018</b> | Octubre                  | 30                     | 559         | 269                 | 115            | 216            | 1159                     |
| <b>09/10/2018</b>  | <b>09/11/2018</b> | Noviembre                | 31                     | 678         | 275                 | 105            | 187            | 1245                     |
| <b>09/11/2018</b>  | <b>11/12/2018</b> | Diciembre                | 32                     | 744         | 247                 | 77             | 171            | 1239                     |
| <b>11/12/2018</b>  | <b>10/01/2019</b> | Enero                    | 30                     | 739         | 230                 | 61             | 151            | 1181                     |
| <b>Total</b>   |                   |                          | 365                    |             |                     |                |                | 15467                    |
| <b>Promedio</b>  |                   |                          |                        | 663,167     | 285,250             | 122,417        | 218,083        | 1288,917                 |

#### 4.2 Censo de carga energética.

Se realizó un censo de carga durante una semana para calcular un promedio de diferentes consumos a lo largo de las 24 Horas del día: 7 AM, 5 PM y 9 PM. Esto resultara necesario para el dimensionamiento de las baterías y calcular un estimado de la demanda de la casa durante la noche.

Tabla 5 Lecturas y censo de carga de la casa principal kWh.

| <i>Lecturas y censo de carga de casa principal en kWh.</i> |         |        |         |       |        |           |        |
|--|---------|--------|---------|-------|--------|-----------|--------|
| Horario  | Viernes | Sábado | Domingo | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves |
| <b>7:00 AM</b>   | 97565   | 97584  | 97601   | 97614 | 97628  | 97636     | 97647  |
| <b>5:00 PM</b>   | 97574   | 97588  | 97605   | 97621 | 97630  | 97640     | 97650  |
| <b>9:00 PM</b>   | 97578   | 97593  | 97611   | 97625 | 97634  | 97645     | 97656  |
| <b>Consumo real en kWh.</b>                                |         |        |         |       |        |           |        |
|  |         |        |         |       |        |           |        |
| <b>7:00 AM</b>   |         | 6      | 8       | 3     | 3      | 2         | 2      |
| <b>5:00 PM</b>   | 9       | 4      | 4       | 7     | 2      | 4         | 3      |
| <b>9:00 PM</b>   | 4       | 5      | 6       | 4     | 4      | 5         | 6      |
| <b>Consumo real en porcentaje.</b>                         |         |        |         |       |        |           |        |
| Horario  | Viernes | Sábado | Domingo | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves |
| <b>Consumo día 7:00 AM - 05:00 PM</b>                      | 47%     | 24%    | 31%     | 50%   | 25%    | 36%       | 33%    |
| <b>Consumo noche 05:00 PM - 09:00 PM</b>                   | 21%     | 29%    | 46%     | 29%   | 50%    | 45%       | 67%    |
| <b>Total, por día</b>                                      | 19      | 17     | 13      | 14    | 8      | 11        | 9      |
| <b>% total</b>   | 68%     | 53%    | 77%     | 79%   | 75%    | 82%       |        |

#### 4.3 Tecnología disponible.

Se solicitó información de sistemas fotovoltaicos con empresa local de Managua, para obtener las diferentes tecnologías necesarias para este proyecto, incluyendo fichas técnicas del fabricante.

Tabla 6

| <i>Ficha técnica del Panel Fotovoltaico</i> |               |
|---|---------------|
| <b>Modelo</b>                               | DAH Mono Perc |
| <b>Potencia</b>                             | 360W          |
| <b>Voltaje nominal del modulo</b>           | 38.9 V        |
| <b>Corriente máx. modulo</b>                | 9.26 Amp      |
| <b>Corriente SC modulo</b>                  | 9.76 Amp      |
| <b>Voltaje OC modulo</b>                    | 47.2 V        |
| <b>Coeficiente de temperatura</b>           | 0.05%/°C      |

Tabla 7

| <i>Ficha técnica del Inversor.</i> |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Modelo</b>                      | Split Phase LV Series |
| <b>Potencia del inversor</b>       | 5000 Watts            |
| <b>Eficiencia del inversor</b>     | 90%                   |
| <b>Numero de inversores</b>        | 2                     |
| <b>Voltaje del sistema DC</b>      | 48 v                  |
| <b>Corriente máx. de carga</b>     | 160 A                 |

Tabla 8

| <i>Ficha técnica de baterías.</i> |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| <b>Modelo</b>                     | RITAR DC-C Series |
| <b>Voltaje por unidad</b>         | 12 v              |
| <b>Capacidad</b>                  | 200 AH            |
| <b>Eficiencia</b>                 | 85%               |

(Ver Anexo I)

#### 4.4 Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.

##### 4.4.1 Estimación de carga eléctrica

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = \frac{\text{Prom. consumo anual kWh/año}}{365 \text{ días /año}}$$

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = \frac{15467 \text{ kWh/año}}{365 \text{ días /año}}$$

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = 42.375 \text{ kWh/día}$$

Con este sistema, se pretende cubrir el 70% de la demanda energética total:

$$\text{EG por sistema FV} = \text{Prom. consumo diario kWh} * \% \text{ EG por FV}$$

$$\text{EG por sistema FV} = 42.375 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 70\%$$

$$\text{EG por sistema FV} = 29.663 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

*EG por sistema FV : Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico*

*Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día ( $\frac{\text{kWh}}{\text{día}}$ )*

*% EG por FV: Porcentaje de energía generada por el Sistema Solar Fotovoltaico.*

#### 4.4.2 Eficiencia del panel solar fotovoltaico

Para determinar la eficiencia del panel o módulo fotovoltaico, primero se determina a través de la temperatura de trabajo del panel:

$$T_{trabajo} = T_{amb} + T_{aire}$$

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente.

$T_{aire}$  : Temperatura del aire.

$$T_{trabajo} = 32.5\text{ }^{\circ}\text{C} + 15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{trabajo} = 47.5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Luego se obtiene la diferencia de temperatura que tendrá el panel:

$$\Delta T = T_{trabajo} - T_{\acute{o}ptima}$$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura.

$T_{\acute{o}ptima}$ : Temperatura óptima de operación del panel solar bajo condiciones estandar 25°C.

$$\Delta T = 47.5\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Después de encontrar la diferencia de temperatura se determina la eficiencia del panel solar:

$$\eta_{panel} = 1 - 0.005\Delta T$$

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$$\eta_{panel} = 1 - 0.005 (22.5)$$

$$\eta_{panel} = 0.89$$

#### 4.4.3 Cálculo de Potencia del sistema solar.

$$P_{sist. FV} = \frac{\text{Prom. consumo diario} \frac{kWh}{\text{día}}}{\text{Prom. HSP} * \eta_{inversor} * F.\text{reducción}^1 * \eta_{panel}}$$

$P_{sist. FV}$  : Potencia necesaria desde el sistema Solar Fotovoltaico.

Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día  $\left(\frac{kWh}{\text{día}}\right)$ .

Prom. HSP: Promedio diario de horas solar pico.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

F. reducción: Factor de reducción.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$$P_{sist. FV} = \frac{29.663 \frac{kWh}{\text{día}}}{5.67 \frac{Hrs}{\text{día}} * 0.9 * 0.84 * 0.89}$$

$$P_{sist. FV} = 7.775 \text{ kW}$$

---

<sup>1</sup> Es el factor que indica otras pérdidas del sistema como pérdidas por manchas o suciedad, cableado o acoplamiento deficiente de los módulos.

#### 4.5 Módulo solar fotovoltaico

Tabla 9 Ficha técnica del Panel Fotovoltaico.

| <i>Ficha técnica del Panel Fotovoltaico.</i> |               |
|--|---------------|
| <b>Modelo</b>                                | DAH Mono Perc |
| <b>Potencia</b>                              | 360W          |
| <b>Voltaje nominal del modulo</b>            | 38.9 V        |
| <b>Corriente máx. modulo</b>                 | 9.26 Amp      |
| <b>Corriente SC modulo</b>                   | 9.76 Amp      |
| <b>Voltaje OC modulo</b>                     | 47.2 V        |
| <b>Coeficiente de temperatura</b>            | 0.05%/°C      |

##### 4.5.1 Número de módulos solares necesarios

$$\text{No. de módulos solares} = \frac{P_{\text{sist. FV}}}{P_{\text{nominal STC}}}$$

$$\text{No. de módulos solares} = \frac{7775 \text{ W}}{360 \text{ W}}$$

$$\text{No. de módulos solares} = 21.598 \cong 22$$

##### 4.5.2 Número de módulos solares en serie.

$$\text{No. modulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje del módulo fotovoltaico}}$$

$$\text{No. modulos en serie} = \frac{48}{38.9}$$

$$\text{No. modulos en serie} = 1.232 \cong 2$$

##### 4.5.3 Número de módulos en paralelo

$$\text{No. modulos en paralelo} = \frac{\text{No. módulos solares}}{\text{No. módulos en serie}}$$

$$\text{No. modulos en paralelo} = \frac{22}{2}$$

*No. modulos en paralelo = 11*

4.6 Inversor.

**$P_{MI} = \text{No. de módulos} * P. \text{ nominal STC}$**

$$P_{MI} = 22 * 360W$$

$$P_{MI} = 7920 W$$

*$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W).*

*P. nominal STC: Potencia nominal STC del módulo solar fotovoltaico.*

*STC: Condiciones estandar de prueba del panel.*

$$\text{No. de Inversores} = \frac{P_{MI}}{P_{inv}}$$

$$\text{No. de Inversores} = \frac{7920 W}{5000 W}$$

$$\text{No. de Inversores} = 1.584 \cong 2$$

*No. de Inversores: Número de inversores necesarios en el sistema.*

*$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W).*

*$P_{inv}$ : Potencia nominal del inversor (W)*

$$\text{No. de módulos por inversor} = \frac{\text{No. de módulos solares}}{\text{No. de Inversores}}$$

$$\text{No. de módulos por inversor} = \frac{22}{2}$$

$$\text{No. de módulos por inversor} = 11$$

## 4.7 Controlador eléctrico

Tabla 10 Ficha técnica del Inversor.

| <i>Ficha técnica del Inversor.</i> |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Modelo</b>                      | Split Phase LV Series |
| <b>Potencia del inversor</b>       | 5000 Watts            |
| <b>Eficiencia del inversor</b>     | 90%                   |
| <b>Numero de inversores</b>        | 2                     |
| <b>Voltaje del sistema DC</b>      | 48 v                  |
| <b>Corriente máx. de carga</b>     | 160 A                 |

$$I_{M\acute{a}x} = \frac{\text{Numero de paneles en paralelo} * I_{mp}}{\eta_{\text{Controlador de carga}}}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{mp}$  : Corriente máxima de potencia de los paneles solares

$\eta_{\text{Controlador de carga}}$ : Eficiencia del Controlador de carga.

$$I_{M\acute{a}x} = \frac{11 * 9.26 \text{ A}}{0.9}$$

$$I_{M\acute{a}x} = 113.178 \text{ A}$$

$$\text{Número de controladores} = \frac{I_{M\acute{a}x}}{I_{Inv\acute{m}ax}}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{Inv\acute{m}ax}$  : Corriente máxima del inversor (A).

$$\text{Número de controladores} = \frac{113.17 \text{ A}}{160 \text{ A}}$$

$$\text{Número de controladores} = 0.71 \cong 1$$

#### 4.8 Baterías.

Según el censo, con las baterías se pretende cubrir el 30% del consumo diario:

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = \frac{\text{EG por sistema FV} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) * 0.3}{(\eta_{\text{batería}}) * (\eta_{\text{cableado}}) * (\eta_{\text{inversor}})} \cdot \text{Voltaje del Sistema}$$

EG por sistema FV : Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico

$\eta_{\text{batería}}$ : Eficiencia de la batería.

$\eta_{\text{cableado}}$ : Eficiencia del cableado.

$\eta_{\text{inversor}}$ : Eficiencia del inversor.

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = \frac{29663 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 0.3}{(0.85) * (0.97) * (0.9)}$$

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = 249.840 \text{ Ah}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\text{Promedio diario requerido (Ah)} * N}{\frac{P_{D_{\text{batería}}}}{\text{Capacidad de Batería (Ah)}}}$$

N: Días de autonomía.

$P_{D_{\text{batería}}}$ : Profundidad de descarga de batería

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{249.840(\text{Ah}) * 1}{\frac{0.8}{200 (\text{Ah})}}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = 1.561 \cong 2$$

$$\text{No. Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}}$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{48\text{V}}{12\text{V}}$$

$$\text{Baterías en serie} = 4$$

**No. total de baterías = baterías en paralelo x baterías en serie**

*No. total de baterías = 2x 4*

*No. total de baterías = 8 Baterías*

## 5. Propuesta

Para abastecer la demanda de energía de todo el perímetro se precisan 22 paneles solares que ocuparían un área extensa y una cuantiosa inversión inicial, por ende, se propone que el proyecto se realice por etapas. La primera etapa es cubrir la demanda energética de la casa principal.

Tabla 11 Consumo energético de la casa kWh/mes.

| <b>Consumo energético de la casa.</b> |                   |                |                 |                 |
|---------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Periodo de consumo                    |                   | Mes de factura | Días facturados | Consumo kWh/mes |
| <b>10/01/2018</b>                     | <b>07/02/2018</b> | Febrero        | 28              | 680             |
| <b>07/02/2018</b>                     | <b>11/03/2018</b> | Marzo          | 32              | 590             |
| <b>11/03/2018</b>                     | <b>09/04/2018</b> | Abril          | 29              | 685             |
| <b>09/04/2018</b>                     | <b>09/05/2018</b> | Mayo           | 30              | 655             |
| <b>09/05/2018</b>                     | <b>08/06/2018</b> | Junio          | 30              | 845             |
| <b>08/06/2018</b>                     | <b>10/07/2018</b> | Julio          | 32              | 687             |
| <b>10/07/2018</b>                     | <b>09/08/2018</b> | Agosto         | 30              | 539             |
| <b>09/08/2018</b>                     | <b>09/09/2018</b> | Septiembre     | 31              | 557             |
| <b>09/09/2018</b>                     | <b>09/10/2018</b> | Octubre        | 30              | 559             |
| <b>09/10/2018</b>                     | <b>09/11/2018</b> | Noviembre      | 31              | 678             |
| <b>09/11/2018</b>                     | <b>11/12/2018</b> | Diciembre      | 32              | 744             |
| <b>11/12/2018</b>                     | <b>10/01/2019</b> | Enero          | 30              | 739             |
| Total                                 |                   |                | 365             | 7958            |
| Promedio                              |                   |                |                 | 663,167         |

## 5.1 Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos.

### 5.1.1 Estimación de carga eléctrica

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = \frac{\text{Prom. consumo anual kWh/año}}{365 \text{ días /año}}$$

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = \frac{7958 \text{ kWh/año}}{365 \text{ días /año}}$$

$$\text{Prom. consumo diario kWh} = 21.803 \text{ kWh/día}$$

Con este sistema, se pretende cubrir el 70% de la demanda energética de la casa:

$$\text{EG por sistema FV} = \text{Prom. consumo diario kWh} * \% \text{ EG por FV}$$

$$\text{EG por sistema FV} = 21.803 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 70\%$$

$$\text{EG por sistema FV} = 15.262 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

EG por sistema FV : Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico

Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día ( $\frac{\text{kWh}}{\text{día}}$ )

% EG por FV: Porcentaje de energía generada por el Sistema Solar Fotovoltaico.

### 5.1.2 Cálculo de Potencia del sistema solar

$$P_{sist. FV} = \frac{\text{Prom. consumo diario} \frac{kWh}{\text{día}}}{\text{Prom. HSP} * \eta_{inversor} * F. \text{reducción} * \eta_{panel}}$$

$P_{sist. FV}$ : Potencia necesaria desde el sistema Solar Fotovoltaico.

Prom. consumo diario kWh: Promedio de consumo energético por día  $\left(\frac{kWh}{\text{día}}\right)$ .

Prom. HSP: Promedio diario de horas solar pico.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

F. reducción: Factor de reducción.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$$P_{sist. FV} = \frac{15.262 \frac{kWh}{\text{día}}}{5.67 \frac{Hrs}{\text{día}} * 0.9 * 0.84 * 0.89}$$

$$P_{sist. FV} = 4.001 kW$$

## 5.2 Módulo solar fotovoltaico

### 5.2.1 Número de módulos solares necesarios

$$\text{No. de módulos} = \frac{P_{sist. FV}}{P. \text{ nominal STC}}$$

$$\text{No. de módulos} = \frac{4001 W}{360 W}$$

$$\text{No. de módulos} = 11.113 \cong 12$$

### 5.2.2 Número de módulos solares en serie.

$$\text{No. módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje del modulo fotovoltaico}}$$

$$\text{No. módulos en serie} = \frac{48}{38.9}$$

$$\text{No. módulos en serie} = 1.23 \cong 2$$

### 5.2.3 Número de módulos en paralelo.

$$\text{No. módulos en paralelo} = \frac{\text{No. modulos solares}}{\text{No. modulos en serie}}$$

$$\text{No. módulos en paralelo} = \frac{12}{2}$$

$$\text{No. módulos en paralelo} = 6$$

### 5.3 Inversor.

$$P_{MI} = \text{No. de módulos} * P. \text{ nominal STC}$$

$$P_{MI} = 12 * 360W$$

$$P_{MI} = 4320 W$$

$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W).

$P. \text{ nominal STC}$ : Potencia nominal STC del módulo solar fotovoltaico.

$STC$ : Condiciones estandar de prueba del panel.

$$\text{No. de Inversores} = \frac{P_{MI}}{P_{inv}}$$

$$\text{No. de Inversores} = \frac{4320 W}{5000 W}$$

$$\text{No. de Inversores} = 0.864 \cong 1$$

$\text{No. de Inversores}$ : Número de inversores necesarios en el sistema.

$P_{MI}$ : Potencia máxima que debe pasar por el inversor (W)

$P_{inv}$ : Potencia nominal del inversor (W)

## 5.4 Controlador eléctrico

Tabla 12 Ficha técnica del Inversor.

| <i>Ficha técnica del Inversor.</i> |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Modelo</b>                      | Split Phase LV Series |
| <b>Potencia del inversor</b>       | 5000 watts            |
| <b>Eficiencia del inversor</b>     | 90%                   |
| <b>Numero de inversores</b>        | 2                     |
| <b>Voltaje del sistema DC</b>      | 48 v                  |
| <b>Corriente máx. de carga</b>     | 160 A                 |

$$I_{M\acute{a}x} = \frac{\text{Numero de paneles en paralelo} * I_{mp}}{\eta_{\text{Controlador de carga}}}$$

$$I_{M\acute{a}x} = \frac{6 * 9.26 \text{ A}}{0.9}$$

$$I_{M\acute{a}x} = 61.733 \text{ A}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{mp}$  : Corriente máxima de potencia de los paneles solares

$\eta_{\text{Controlador de carga}}$ : Eficiencia del Controlador de carga.

$$\text{Número de controladores} = \frac{I_{M\acute{a}x}}{I_{Inv\acute{m}\acute{a}x}}$$

$I_{M\acute{a}x}$  : Corriente máxima del sistema fotovoltaico (A).

$I_{Inv\acute{m}\acute{a}x}$  : Corriente máxima del inversor (A).

$$\text{Número de controladores} = \frac{61.733 \text{ A}}{160 \text{ A}}$$

$$\text{Número de controladores} = 0.39 \cong 1$$

## 5.5 Baterías.

Según el censo, con las baterías se pretende cubrir el 30% del consumo diario:

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = \frac{\text{EG por sistema FV} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) * 0.3}{(\eta_{\text{batería}}) * (\eta_{\text{cableado}}) * (\eta_{\text{inversor}}) \text{ Voltaje del Sistema}}$$

EG por sistema FV : Energía generada por Sistema Solar Fotovoltaico

$\eta_{\text{batería}}$ : Eficiencia de la batería.

$\eta_{\text{cableado}}$ : Eficiencia del cableado.

$\eta_{\text{inversor}}$ : Eficiencia del inversor.

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = \frac{15262 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 0.3}{(0.85) * (0.97) * (0.9) 48 \text{ V}}$$

$$\text{Promedio diario requerido Ah} = 128.546 \text{ Ah}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\text{Promedio diario requerido (Ah)} * N}{\frac{P_{D_{\text{batería}}}}{\text{Capacidad de Batería (Ah)}}}$$

N: Días de autonomía.

$P_{D_{\text{batería}}}$ : Profundidad de descarga de batería

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{128.546 (\text{Ah}) * 1}{\frac{0.8}{200 (\text{Ah})}}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = 0.803 \cong 1$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}}$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{48\text{V}}{12\text{V}}$$

*Baterías en serie = 4*

***No. total de baterías = baterías en paralelo x baterías en serie***

*No. total de baterías = 1x 4*

*No. total de baterías = 4 Baterías*

## 5.6 Cálculo del cableado del sistema.

Calibre del cableado desde los paneles solares, controlador de carga, baterías y entrada del inversor.

$$A_{cc} = A_S * \text{Factor de seguridad} \quad \text{Ec. 18}$$

*A<sub>cc</sub> : Amperaje para el Calibre del cable.*

*FS: factor de seguridad = 25%*

*A<sub>S</sub>: Amperaje del sistema.*

Donde:

$$\text{Amperaje} = \frac{\text{Potencia de los paneles solares}}{\text{Voltaje}}$$

$$\text{Amperaje} = \frac{360W}{12V}$$

$$\text{Amperaje} = 30 A$$

1.25 (25% del total de amperaje (S.L. Innovaciones, 2017))

$$\text{Amperaje para el Calibre del cable} = 30 A * 1.25$$

$$\text{Amperaje para el Calibre del cable} = 37.5 A$$

El tipo de cable que se recomienda es 10 AWG con aislamiento THHN para lugares secos y húmedos, resistente a altas temperaturas e intemperie, de acuerdo con la normativa AWG. (Ilustración No. 10, Pág. 32)

### 5.7 Distancia entre filas de módulos

Las filas de módulos deben situarse a una distancia que garantice al menos cuatro horas de sol. Si la altura del obstáculo que supone la fila de módulos es  $h$ , la distancia mínima a la que deberán instalarse los módulos se calcula con la expresión:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud del sitio})} \quad \text{Ec. 19}$$

$$d = \frac{1.3}{\tan(61^\circ - 12.1162^\circ)}$$

$$d = 1.135 \text{ m}$$

(Ver Anexo III)

Las filas de los módulos solares fotovoltaicos estarán situadas a una distancia de 1.135 m entre ellas y orientadas al sur, en un ángulo óptimo de 15° grados.

(Vallina, 2018)

### 6. Mantenimiento del Sistema Solar Fotovoltaico

Una de las características más convenientes de las instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos es que requieren de escaso mantenimiento, si bien cuentan con un buen diseño proporcional a la demanda y al ambiente del lugar, aun así, se deben de tomar en cuenta planes de mantenimientos ya sea correctivo, preventivo y predictivo, y realizarlos periódicamente.

El mantenimiento del sistema fotovoltaico es de carácter preventivo y correctivo ya que carecen de piezas móviles por lo que no está sujeto a desgaste, ni requiere de cambio de piezas ni lubricación, pero si está expuesta a la intemperie por lo que las condiciones ambientales de la localidad se deben de tomar en cuenta, además que la contaminación del medio circundante, la suciedad y el polvo causa que el rendimiento de los sistemas disminuya, entonces se recomienda realizar revisiones periódicas de las instalaciones, para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente, y la experiencia a lo largo de los años de utilización de esta tecnología, se ha demostrado que los sistemas fotovoltaicos

tienen muy pocas posibilidades de avería, especialmente si la instalación se ha realizado correctamente y si se realiza un mantenimiento preventivo, el cual puede ser realizado por el usuario final del sistema o bien la empresa que realizó la instalación. (Fernandez, 2012)

Al planear un plan de mantenimiento se deben considerar los siguientes puntos:

- Las operaciones necesarias para el mantenimiento.
- La frecuencia de las operaciones de mantenimiento.

Para facilitar las labores de mantenimiento el usuario de la instalación deberá disponer de planos actualizados de la instalación solar, en el que queden reflejados los distintos componentes de la misma, y es recomendable llevar un control detallado del estado de los componentes revisados, indicaciones de posibles fallas y deterioros. Ante cualquier modificación o expansión en la instalación, un técnico competente en la materia se recomienda realice un estudio previo.

#### 6.1 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo consiste en la determinación del estado de un sistema en operación, es decir, se basa en que los sistemas darán un tipo de aviso antes de que fallen por lo que este plan de mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.

En el mantenimiento predictivo se suelen realizar ensayos no destructivos, como medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, intensidades, tensiones, etc.

#### 6.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel mantenimiento que tiene como primer objetivo evitar o mitigar cualquier posible fallo o avería en el sistema fotovoltaico, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran.

Este plan de mantenimiento permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir coste de

reparaciones y detectar puntos débiles en la instalación, un plan de mantenimiento correctamente planificado puede reducir considerablemente los fallos de una instalación y sus consecuentes acarreadas. (Fernandez, 2012)

### 6.3 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es una forma de mantenimiento del sistema que se realiza después de haber ocurrido un fallo o problema en alguna de sus partes, con el objetivo de restablecer la operatividad del mismo. Se utiliza cuando es imposible de predecir o prevenir un fracaso, lo que hace el mantenimiento correctivo la única opción. (Fernandez, 2012)

Esta estrategia de mantenimiento puede resultar económica a corto plazo, al no invertir en planes de mantenimiento preventivo, si bien puede ocurrir que a causa de una falta de mantenimiento surja una avería que pueda resultar irreparable, por lo que no se recomienda este plan de mantenimiento, porque puede resultar mucho más costoso que cualquier otro a medio y a largo plazo.

### 6.4 Mantenimiento del sistema solar fotovoltaico

#### ***Paneles solares fotovoltaicos.***

Por su configuración carente de partes móviles, los paneles fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento. Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son:

- Asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos.
- Mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos

Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5% y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada.

#### 6.4.1 Limpieza periódica del panel.

Las labores de limpieza de los paneles solares se realizan mensualmente o bien después de lluvias intermitentes o finas. La limpieza se realizará con agua (sin

agentes abrasivos ni instrumento metálicos) y es conveniente realizarlos en horas diferentes a la Hora solar pico, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel.

#### 6.4.2 Inspección visual de posibles degradaciones.

Se debe realizar bimensualmente y se controlara que ninguna cedula se encuentre en mal estado (cristal de protección roto, normalmente debido a acciones externas) y se comprobara que el marco del módulo se encuentre en correctas condiciones (ausencia de deformaciones o rotura).

#### 6.4.3 Estructura de soporte de los paneles

La estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio y tornillería de acero inoxidable, por lo que no requieren de mantenimiento anticorrosivo. El mantenimiento de las mismas se realizará cada año.

#### 6.5 Inversores

Los inversores son uno de los equipos más delicados de la instalación, y como tal requieren un mantenimiento más exhaustivo. Si bien los intervalos de mantenimiento dependen del emplazamiento de estos y de las condiciones ambientales (polvo, humedad, etc.).

#### 6.6 Baterías

Las baterías son los elementos del sistema más caro y más delicado por lo que su cuidado y mantenimiento será fundamental. El cuidado de las baterías comienza por respetar el uso para el que han sido diseñadas y dimensionadas. Anualmente hay que revisar la apariencia exterior y constatar que no existe hinchazón o sulfatación (Sulfato de plomo cristalizado en la superficie), en caso que se detecte anomalías se deberá notificar a los proveedores del sistema. (Fernandez, 2012)

| <b>Plan de mantenimiento predictivo</b>                   |   |               |
|---|---|---------------|
| <b>Partes</b>   | <b>Descripción</b>  | <b>Tiempo</b> |
| <b>Paneles fotovoltaicos</b>                              | Revisar estado de las conexiones, oxidaciones en los circuitos y soldadura de las células, debido a entrada de humedad.<br>Comprobación de estado y adherencia de los cables a los terminales de los paneles. | Anual         |
| <b>Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos</b> | Inspección de posibles deformaciones y estado de la estructura.<br>Comprobación del estado de fijación de la estructura a cubierta. Se controlará que la tornillería se encuentra correctamente apretada.     | Anual         |
| <b>Inversor</b>   | Inspección y limpieza de polvo, y deformaciones del estado físico del inversor.<br>Revisar firmeza de todas las conexiones del cableado eléctrico y, dado el caso, apretarlas.                                | Anual         |
| <b>Baterías</b>   | Comprobación del correcto funcionamiento de los interruptores.  | Anual         |
| <b>Cableado</b>   | Comprobación del estado y aislamiento de los cables.  | Anual         |
| <b>Puesta a tierra</b>                                    | En la época en que el terreno este más seco y después de cada descarga eléctrica, comprobación de la  | Anual         |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | continuidad eléctrica y reparación de cualquier defecto encontrado. |  |
|--|---|--|

Mantenimiento predictivo (Fernandez, 2012)

| <b>Plan de mantenimiento preventivo</b> |   |  |
|---|---|--|
| <b>Partes</b>                           | <b>Descripción</b>  | <b>Tiempo</b>                              |
| <b>Paneles fotovoltaicos</b>            | Limpieza de los paneles fotovoltaicos e inspección de estado. | Mensual o en caso de lluvias leves y finas |
| <b>Inversor</b>                         | Revisión de alarmas en el sistema solar fotovoltaico          | Mensual                                    |
| <b>Baterías</b>                         | Revisar apariencia exterior y remover suciedad o polvo.       | Mensual                                    |
| <b>Cableado</b>                         | Inspección del estado físico del cableado.                    | Mensual                                    |
| <b>Interruptores</b>                    | Inspección visual del estado de los interruptores             | Mensual                                    |

*Mantenimiento preventivo (Fernandez, 2012).*

| <b>Plan de mantenimiento correctivo cada 5 años</b>       |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
| <b>Partes</b>   | <b>Descripción</b>  | <b>Costo</b>                   |
| <b>Paneles fotovoltaicos</b>                              | Limpieza de los paneles fotovoltaicos e inspección de estado.   | Mano de obra                   |
| <b>Estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos</b> | Inspección de posibles deformaciones y estado de la estructura.   | Mano de obra                   |
| <b>Inversor y cableado</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de alarmas en el sistema solar fotovoltaico</li> <li>- Reemplazo de interruptores, tuberías eléctricas y cableado.</li> </ul> | 1% del valor del sistema/añual |

|                 |                        |                    |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| <b>Baterías</b> | Reemplazo de baterías. | 495 \$ /<br>unidad |
|-----------------|------------------------|--------------------|

Nota: Precios obtenidos por distribuidor autorizado NICASOLAR S.A., Precio no incluye IVA.

El mantenimiento correctivo se aplicará únicamente cuando se presenten circunstancias imprevistas por averías en la instalación. Es recomendable que las labores de mantenimiento correctivo sean delegadas al proveedor e instalador del sistema solar fotovoltaico.

La empresa externa encargada de realizar las labores de mantenimiento correctivo deberá:

- Garantizar la visita a la instalación en los plazos establecidos y cada vez que el usuario lo requiera debido a cualquier incidencia en la misma.
- Analizar y realizar un presupuesto adecuado de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto y normal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.

## 7. Recuperación de Inversión

Previamente, se presentará el costo de compra de los equipos para el sistema solar fotovoltaico. El costo de cada uno de los equipos está indicado en proformas, en anexos, donde se reflejan las ofertas de tres empresas nicaragüenses, sin embargo, el cálculo de la recuperación de inversión para nuestra propuesta, se hará únicamente con la oferta de la empresa NICAMISOL S.A, pues es la única que cumple con nuestros requerimientos de cubrir el 70% de la demanda energética.

El sistema solar fotovoltaico está compuesto de los siguientes equipos: paneles fotovoltaicos, baterías e inversor.

La oferta escogida incluye costo de instalación, cableado y demás accesorios.

### 7.1 Escenario sin financiamiento

El escenario sin financiamiento se refiere a la realización del proyecto prescindiendo del aporte económico de alguna entidad financiera.

A continuación, se muestra los cálculos de los diferentes indicadores financieros:

#### 7.1.1 Flujo Neto de Efectivo (FNE)

Describe los ingresos y los gastos de dinero en efectivo en el transcurso de un período de tiempo determinado.

Para el cálculo se precisan los ingresos (renta de departamentos), costos (gastos básicos), y el IR según la Ley de Concertación Tributaria en el artículo 52 establece un 30% para las actividades económicas.

## 7.2 Costos de inversión

Tabla 13 Inversión total del sistema solar fotovoltaico.

| <i>Inversión total del sistema solar fotovoltaico.</i> |  |                      |          |              |
|--|--|----------------------|----------|--------------|
| Clase  | Descripción  | Precios unitarios \$ | Cantidad | Precio total |
| <b>Baterías</b>  | Ritar DC 12200C<br>12VDC 200 Ah<br>Lead Cabon €          | \$ 495,00            | 4        | \$ 1.980,00  |
| <b>Paneles Solares</b>                                 | 360 Wp DAH mono<br>Perc 72 cell €                        | \$ 214,00            | 12       | \$ 2.568,00  |
| <b>Inversores</b>                                      | Hybrid Inversor<br>MPP solar LV 5048<br>y accesorios (G) | \$ 2.360,00          | 1        | \$ 2.360,00  |
| <b>Sistema montaje</b>                                 | DAH Seam Roof<br>Complete (G)                            | \$ 65,00             | 12       | \$ 780,00    |
| <b>Accesorios</b>                                      | Para baterías A (1-<br>18 paneles) (G)                   | \$ 495,00            | 1        | \$ 495,00    |
| <b>Instalación Eléctrica</b>                           | Con baterías A<br>(Residencial) (G)                      | \$ 390,00            | 1        | \$ 390,00    |
| <b>Instalación paneles</b>                             | Techo inclinado B<br>(6-12 paneles) (G)                  | \$ 120,00            | 1        | \$ 120,00    |
| <b>Total</b>   |  |                      |          | \$ 8.693,00  |
| <b>IVA 15%</b>   |  |                      |          | \$ 621,75    |
| <b>Gran Total</b>                                      |  |                      |          | \$ 9.314,75  |

(Ver Anexo II)

### 7.3 Costos básicos

#### 7.3.1 Costos de servicios de Internet, telefonía y televisión.

Los servicios son adquiridos mediante el paquete Casa Claro, el cual incluye servicio de internet de 20 Mbps, teléfono convencional y cable.

Los costos totales se proyectan utilizando la tasa de inflación de 6.30% registrada en el informe del BCN en agosto de 2019.

Tabla 14 Costos de servicios de Internet, telefonía y Televisión.

| <b>Costos de servicios de Internet, telefonía y TV.</b> |               |
|---|---------------|
| <b>Año</b>  | <b>Costo</b>  |
| <b>2020</b>   | C\$ 25.898,33 |
| <b>2021</b>   | C\$ 27.529,92 |
| <b>2022</b>   | C\$29.264,31  |
| <b>2023</b>   | C\$31.107,96  |
| <b>2024</b>   | C\$33.067,76  |

#### 7.3.2 Costos de energía eléctrica

Los costos de energía representan el promedio de consumo de la casa menos el promedio de la energía eléctrica producida por los paneles solares fotovoltaicos, estos costos se proyectan utilizando una tasa de incremento promedio de 3.20%, según el informe del BCN en enero 2019.

Tabla 15 Costos de energía eléctrica.

| <b>Costos de energía eléctrica.</b> |               |
|-------------------------------------|---------------|
| <b>Año</b>                          | <b>Costo</b>  |
| <b>2020</b>                         | C\$ 21.713,30 |
| <b>2021</b>                         | C\$ 22.408,12 |
| <b>2022</b>                         | C\$ 23.125,18 |
| <b>2023</b>                         | C\$ 23.865,19 |
| <b>2024</b>                         | C\$ 24.628,87 |

### 7.3.3 Costos de agua

De acuerdo con la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) y estadísticas del BCN, el precio promedio del metro cúbico de agua ( $m^3$ ) para el sector residencial para el año 2018 fue de 9.6914 C\$/ $m^3$  y para el año 2019 fue de 9.8394 C\$/ $m^3$ .

La tasa de crecimiento promedio se calcula de la siguiente manera:

$$\% = \frac{C\$ (9.8394 - 9.6914)}{C\$ 9.6914} * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

$$\% = 1.53$$

Tabla 16 Costos de agua potable.

| <i>Costos de agua potable.</i> |               |
|--------------------------------|---------------|
| <b>Año</b>                     | <b>Costo</b>  |
| <b>2020</b>                    | C\$ 11.132,38 |
| <b>2021</b>                    | C\$ 11.302,38 |
| <b>2022</b>                    | C\$ 11.474,99 |
| <b>2023</b>                    | C\$ 11.650,22 |
| <b>2024</b>                    | C\$ 11.828,14 |

#### 7.3.4 Costos de mantenimiento del sistema solar fotovoltaico.

Según la empresa NICAMISOL S.A el costo de mantenimiento en el primer año después de la instalación equivale al 1% de la inversión inicial, manteniendo esto los costos totales se proyectan utilizando la tasa de inflación de 6.30% registrada en el informe del BCN en agosto de 2019.

Tabla 17 Costo de mantenimiento del Sistema solar fotovoltaico.

| <i>Costo de mantenimiento del SSF.</i> |               |
|--|---------------|
| <b>Año</b>                             | <b>Costos</b> |
| <b>2020</b>                            | C\$ 3.350,51  |
| <b>2021</b>                            | C\$ 3.785,97  |
| <b>2022</b>                            | C\$ 4.278,03  |
| <b>2023</b>                            | C\$ 4.834,04  |
| <b>2024</b>                            | C\$ 5.462,31  |

#### 7.4 Ingresos

##### 7.4.1 Rentas de apartamentos

Tabla 18 Renta de apartamentos (C\$).

| <i>Renta de apartamentos.</i> |                |
|-------------------------------|----------------|
| <b>Año</b>                    | <b>Costos</b>  |
| <b>2020</b>                   | C\$ 323.729,10 |
| <b>2021</b>                   | C\$ 344.124,00 |
| <b>2022</b>                   | C\$ 365.804,10 |
| <b>2023</b>                   | C\$ 388.849,50 |
| <b>2024</b>                   | C\$ 413.346,60 |

### 7.5 Tasa mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR)

La tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) es un porcentaje que por lo regular determina la persona que va a invertir en el proyecto. Se usa como referencia para determinar si el proyecto le puede generar ganancias o no.

Se determina de la siguiente manera y se expresa de manera porcentual:

$$TMAR = Tasa\ de\ inflación + premio\ de\ riesgo \quad Ec. 21$$

*Tasa de inflación* según el Informe Mensual de Inflación, emitido por el BCN en agosto de 2019, de 6.30%.

*Premio de riesgo* significa el verdadero crecimiento del dinero, y se le llama así porque el inversionista siempre arriesga su dinero y por arriesgarlo merece una ganancia adicional sobre la inflación. En casos de alto riesgo en inversiones productivas el valor del premio al riesgo siempre está arriba de 12% sin un límite superior definido. (Urbina, 2007)

*Rentabilidad sobre Recursos Propios (ROE)*: es un indicador que mide el rendimiento del capital invertido por los accionistas. Concretamente, mide la rentabilidad obtenida por la empresa sobre sus fondos propios.

El enero del 2019, el BCN emitió el “Informe Financiero” donde establece un ROE del 11.9%, lo que indica que la TMAR deberá ser mayor a este valor para ser rentable en el contexto nacional.

$$TMAR = Tasa\ de\ inflación + premio\ de\ riesgo$$

$$TMAR = 6.30\% + 13\%$$

$$TMAR = 19.30\%$$

## 7.6 Valor Presente Neto (VPN)

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos o entradas futuras descontadas del proyecto a la inversión inicial. La tasa de descuento o actualización es la tasa mínima aceptable. (Serna, 1995)

Una inversión debe ser tomada en consideración si su VAN es positivo. Si es negativo debe ser descartada automáticamente.

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. 22}$$

Tabla 19 Flujo neto de efectivo sin financiamiento.

| <i>Flujo neto de efectivo sin financiamiento</i> |                               |                              |  |                              |                              |                              |
|--|-------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Periodo  | 0                             | 1                            | 2  | 3                            | 4                            | 5                            |
| Año  | 2019                          | 2020                         | 2021   | 2022                         | 2023                         | 2024                         |
| Ingresos   |                               | C\$ 323.729,10               | C\$ 344.124,00   | C\$ 365.804,10               | C\$ 388.849,50               | C\$ 413.346,60               |
| Costos Totales                                   |                               | 62.094,51                    | 65.026,40  | 68.142,50                    | 71.457,41                    | 74.987,09                    |
| Depreciación                                     |                               | 13.402,03                    | 14.246,35  | 15.143,87                    | 16.097,94                    | 17.112,11                    |
| Amortización                                     |                               | -                            | -  | -                            | -                            | -                            |
| Utilidad antes de Impuesto                       |                               | <b><u>C\$ 248.232,56</u></b> | <b><u>C\$ 264.851,25</u></b>   | <b><u>C\$ 282.517,72</u></b> | <b><u>C\$ 301.294,15</u></b> | <b><u>C\$ 321.247,41</u></b> |
| Impuesto sobre la Renta (IR=30%)                 |                               | 74.469,77                    | 79.455,37  | 84.755,32                    | 90.388,25                    | 96.374,22                    |
| Utilidad después de Impuesto                     |                               | <b><u>C\$ 173.762,80</u></b> | <b><u>C\$ 185.395,87</u></b>   | <b><u>C\$ 197.762,41</u></b> | <b><u>C\$ 210.905,91</u></b> | <b><u>C\$ 224.873,19</u></b> |
| Depreciación                                     |                               | 13.402,03                    | 14.246,35  | 15.143,87                    | 16.097,94                    | 17.112,11                    |
| Amortización                                     |                               | -                            | -  | -                            | -                            | -                            |
| Inversión  | C\$ 315.193,44                |                              |  |                              |                              |                              |
| Flujo Neto de Efectivo                           | <b><u>-C\$ 315.193,44</u></b> | <b><u>C\$ 187.164,82</u></b> | <b><u>C\$ 199.642,23</u></b>   | <b><u>C\$ 212.906,28</u></b> | <b><u>C\$ 227.003,84</u></b> | <b><u>C\$ 241.985,29</u></b> |
| TMAR   | 19,30%                        |                              |  |                              |                              |                              |
| VPN  | C\$ 219.421,18                | para 4 años                  | En la tabla se observa que en el año 2 el resultado es negativo, lo que significa que para este período ya se habrá recuperado la inversión. |                              |                              |                              |
| VPN  | C\$ 107.355,80                | para 3 años                  |  |                              |                              |                              |
| VPN  | -C\$ 18.035,42                | para 2 años                  |  |                              |                              |                              |

## 7.7 Período de recuperación

Es el número de años que tomará el proyecto para recuperar la inversión inicial.

Cuando los flujos netos no son iguales, el período de recuperación se calcula acumulando los flujos de efectivos sucesivos hasta que su suma sea igual a la inversión inicial.

(Urbina, 2007)

Tabla 20 Período de recuperación de la inversión sin financiamiento.

| <i>Periodo de recuperación</i> |                |
|--------------------------------|----------------|
| <b>VPN</b>                     | <b>Periodo</b> |
| <b>107.355,80</b>              | 3              |
| <b>0</b>                       | X              |
| <b>(-) 18035.42</b>            | 2              |

$$x = 2 + ((3 - 2) * \left( \left( \frac{0 - (-18035.42)}{107355.80 - (-18035.42)} \right) \right))$$

$$x = 2.144$$

El período de recuperación aproximado es de 2 años, 1 mes y 22 días.

## 8 Costo nivelado de la energía

Es una herramienta que permite analizar distintos proyectos de generación, que puede ser de distintos tamaños o distintas tecnologías y llevarlos a una unidad común de comparación.

$$LCOE = \frac{\text{Costo total vida útil}}{\text{Generación total de energía}} \left( \frac{\$}{kWh} \right) \quad \text{Ec. 23}$$

El LCOE depende de manera proporcional al costo total del proyecto durante su vida útil, e inversamente proporcional a la generación total de energía durante su vida útil.

Los costos totales de mantener operativa la central se pueden clasificar en:

- **Costos Fijos:** Los cuales no dependen de la energía generada por la central. En esta categoría se encuentran, entre otros: préstamos, mantenimientos, seguridad y personal, impuestos y seguros, etc.
- **Costos Variables:** Dependen de la generación del proyecto. Dentro de los costos asociados al nivel de operación del proyecto se encuentra: combustible, impuesto por emisiones de  $CO_2$ , mantenimientos, pagos por transmisión y personal adicional asociados a la operación de la central.

Los valores de costos como generación suelen ser trabajados en términos anuales, junto a que los distintos tipos de centrales tienen distinta vida útil. La expresión anterior se trabaja de la siguiente forma:

$$LCOE = \frac{\text{Inversión inicial } (\$) * \text{Costos de mantenimiento durante su vida útil } (\$)}{\text{Producción estimada de energía durante su vida útil } (kWh)} \quad \text{Ec. 24}$$

Si el precio de venta fuese menor al LCOE, significa que los ingresos no serán capaces cumplir con las expectativas del inversionista. Por otra parte, si el precio

de venta es mayor que el LCOE, se tendrá una rentabilidad mayor que la esperada. (Office of Indian Energy, 2009)

Concepto LCOE

### 8.1 LCOE para casa y apartamentos.

Primero se calcula la eficiencia del sistema solar fotovoltaico, posteriormente se deduce la potencia pico del sistema.

$$\eta_{ssf} = (\eta_{bateria}) * (\eta_{cableado}) * (\eta_{inversor}) * (\eta_{panel}) \quad \text{Ec. 25}$$

$\eta_{bateria}$ : Eficiencia de la batería.

$\eta_{cableado}$ : Eficiencia del cableado.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$$\eta_{ssf} = (0.85) * (0.97) * (0.9) * (0.89)$$

$$\eta_{ssf} = 0.66$$

$$P_{Pico} = \frac{\text{No.de paneles} * \text{Potencia del módulo (W)} * \eta_{ssf}}{1000} \quad \text{Ec. 26}$$

$P_{Pico}$ : Potencia Pico del sistema solar fotovoltaico.

No. de paneles : número de paneles.

$\eta_{ssf}$  : Eficiencia del sistema solar fotovoltaico.

Potencia del módulo (W): Potencia del panel solar.

$$P_{Pico} = \frac{22 * 360 \text{ W} * 0.66}{1000}$$

$$P_{Pico} = 5.227 \text{ kW}$$

$$\text{Energía} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right) = \text{Días mes} * \text{Prom. HSP} * P_{\text{Pico}} \quad \text{Ec. 27}$$

$\text{Energía} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)$ : Energía producida por los paneles durante el mes.

*Prom. HSP*: Promedio horas solar pico en el mes.

*Días mes*: Días del mes facturados.

$P_{\text{Pico}}$ : Potencia Pico del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 21 Energía producida por los paneles durante el mes (kWh/mes).

| <b>Energía producida por los paneles durante el mes (kWh/mes).</b> |                        |            |                   |                          |
|--|------------------------|------------|-------------------|--------------------------|
| <b>Mes de la Factura</b>   | <b>Días facturados</b> | <b>HSP</b> | <b>Ppico (kW)</b> | <b>Energía (kWh/mes)</b> |
| <b>Febrero</b>   | 28                     | 6,09       | 5,227             | 891,342                  |
| <b>Marzo</b>   | 32                     | 6,54       | 5,227             | 1093,948                 |
| <b>Abril</b>   | 29                     | 6,15       | 5,227             | 932,271                  |
| <b>Mayo</b>  | 30                     | 5,64       | 5,227             | 884,442                  |
| <b>Junio</b>   | 30                     | 5,63       | 5,227             | 882,874                  |
| <b>Julio</b>   | 32                     | 5,52       | 5,227             | 923,333                  |
| <b>Agosto</b>  | 30                     | 5,37       | 5,227             | 842,102                  |
| <b>Septiembre</b>  | 31                     | 5,24       | 5,227             | 849,106                  |
| <b>Octubre</b>   | 30                     | 5,29       | 5,227             | 829,557                  |
| <b>Noviembre</b>   | 31                     | 5,41       | 5,227             | 876,654                  |
| <b>Diciembre</b>   | 32                     | 5,53       | 5,227             | 925,005                  |
| <b>Enero</b>   | 30                     | 5,67       | 5,227             | 889,147                  |
| <b>Total</b>   | 365                    |            |                   | 10819,781                |

8.1.1 Cálculo del precio de kilovatio-hora.

$$\text{Precio} \left( \frac{\$}{kWh} \right) = \frac{\text{Monto de la facturación eléctrica del mes} \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right)}{\text{Consumo energético durante el mes} \left( \frac{kWh}{\text{mes}} \right)} \quad \text{Ec. 28}$$

Tabla 22 Precio kilovatio-hora. (\$/kWh).

| Precio kilovatio-hora. (\$/kWh). |            |                   |                 |                   |                                    |                         |                                   |                 |
|----------------------------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Periodo de consumo               |            | Mes de la factura | Días facturados | Consumo kWh / mes | Monto facturación al mes (C\$/kWh) | Tipo de cambio en (C\$) | Monto facturación al mes (\$/mes) | Precio (\$/kWh) |
| 10/01/2018                       | 07/02/2018 | Febrero           | 28              | 1331              | C\$16.536,64                       | C\$ 30,85               | \$535,99                          | \$0,40          |
| 07/02/2018                       | 11/03/2018 | Marzo             | 32              | 1312              | C\$16.316,05                       | C\$ 30,98               | \$526,65                          | \$0,40          |
| 11/03/2018                       | 09/04/2018 | Abril             | 29              | 1376              | C\$17.368,80                       | C\$ 31,10               | \$558,54                          | \$0,41          |
| 09/04/2018                       | 09/05/2018 | Mayo              | 30              | 1501              | C\$19.376,45                       | C\$ 31,23               | \$620,52                          | \$0,41          |
| 09/05/2018                       | 08/06/2018 | Junio             | 30              | 1592              | C\$20.869,22                       | C\$ 31,35               | \$665,65                          | \$0,42          |
| 08/06/2018                       | 10/07/2018 | Julio             | 32              | 1291              | C\$16.253,64                       | C\$ 31,48               | \$516,29                          | \$0,40          |
| 10/07/2018                       | 09/08/2018 | Agosto            | 30              | 1071              | C\$12.866,07                       | C\$ 31,61               | \$407,05                          | \$0,38          |
| 09/08/2018                       | 09/09/2018 | Septiembre        | 31              | 1169              | C\$14.463,20                       | C\$ 31,74               | \$455,68                          | \$0,39          |
| 09/09/2018                       | 09/10/2018 | Octubre           | 30              | 1159              | C\$14.364,30                       | C\$ 31,87               | \$450,70                          | \$0,39          |
| 09/10/2018                       | 09/11/2018 | Noviembre         | 31              | 1245              | C\$15.789,44                       | C\$ 32,00               | \$493,43                          | \$0,40          |
| 09/11/2018                       | 11/12/2018 | Diciembre         | 32              | 1239              | C\$15.758,37                       | C\$ 32,13               | \$490,42                          | \$0,40          |
| 11/12/2018                       | 10/01/2019 | Enero             | 30              | 1181              | C\$15.081,75                       | C\$ 32,26               | \$467,49                          | \$0,40          |
| <b>Total</b>                     |            |                   | 365             | 15467             |                                    |                         |                                   |                 |
| <b>Promedio</b>                  |            |                   |                 |                   | <b>C\$16.253,66</b>                |                         |                                   | <b>\$0,40</b>   |

Tabla 23 Cálculo LCOE (\$/kWh).

| <b>Cálculo LCOE (\$/kWh).</b>                              |                     |
|--|---------------------|
| <b>Potencia del panel solar fotovoltaico (Watts)</b>       | 360 W               |
| <b>Número de paneles</b>                                   | 22                  |
| <b>Eficiencia del sistema</b>                              | 0.66                |
| <b>Capacidad del proyecto (kW)</b>                         | 5.227 kW            |
| <b>Vida útil del proyecto (años).</b>                      | 25 años             |
| <b>Inversión Inicial (\$)</b>                              | \$ 17137.75         |
| <b>Costos de Mantenimiento anual (\$).</b>                 | \$ 171.378          |
| <b>Costos de Mantenimiento durante su vida útil (\$).</b>  | \$ 4284.438         |
| <b>Producción anual estimada (kWh/año).</b>                | 10819.781 kWh/año.  |
| <b>Producción estimada durante su vida útil (kWh/año).</b> | 270494.525 kWh/año. |
| <b>LCOE</b>  | 0.079               |

$$LCOE = \frac{\text{Inversión inicial (\$)} * \text{Costos de mantenimiento durante su vida útil (\$)}}{\text{Producción estimada de energía durante su vida útil (kWh)}}$$

$$LCOE = \frac{\left( \$ 17137.75 + 4284.438 \frac{\$}{\text{año}} \right)}{(270494.525) \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}$$

$$LCOE = 0.079 \frac{\$}{\text{kWh}}$$

## 8.2 LCOE para casa principal.

Primero se calcula la eficiencia del sistema solar fotovoltaico, posteriormente se deduce la potencia pico del sistema.

$$\eta_{ssf} = (\eta_{bateria}) * (\eta_{cableado}) * (\eta_{inversor}) * (\eta_{panel}) \quad \text{Ec. 29}$$

$\eta_{bateria}$ : Eficiencia de la batería.

$\eta_{cableado}$ : Eficiencia del cableado.

$\eta_{inversor}$ : Eficiencia del inversor.

$\eta_{panel}$ : Eficiencia del panel.

$$\eta_{ssf} = (0.85) * (0.97) * (0.9) * (0.89)$$

$$\eta_{ssf} = 0.66$$

$$P_{Pico} = \frac{\text{No.de paneles} * \text{Potencia del módulo (W)} * \eta_{ssf}}{1000} \quad \text{Ec. 30}$$

$P_{Pico}$ : Potencia Pico del sistema solar fotovoltaico.

No. de paneles : número de paneles.

$\eta_{ssf}$  : Eficiencia del sistema solar fotovoltaico.

Potencia del módulo (W): Potencia del panel solar.

$$P_{Pico} = \frac{12 * 360 \text{ W} * 0.66}{1000}$$

$$P_{Pico} = 2.851 \text{ kW}$$

$$\text{Energía} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right) = \text{Días mes} * \text{Prom. HSP} * P_{Pico} \quad \text{Ec. 31}$$

Energía  $\left( \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)$ : Energía producida por los paneles durante el mes.

Prom. HSP: Promedio horas solar pico en el mes.

*Días mes : Días del mes facturados.*

*P<sub>Pico</sub>: Potencia Pico del sistema solar fotovoltaico.*

Tabla 24 Energía producida por los paneles durante el mes (kWh/mes).

| <b>Energía producida por los paneles durante el mes (kWh/mes).</b> |                        |            |                    |                          |
|--|------------------------|------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Mes</b>   | <b>Días facturados</b> | <b>HSP</b> | <b>Ppico (kWp)</b> | <b>Energia (kWh/mes)</b> |
| <b>Febrero</b>   | 28                     | 6,09       | 2,851              | 486,187                  |
| <b>Marzo</b>   | 32                     | 6,54       | 2,851              | 596,699                  |
| <b>Abril</b>   | 29                     | 6,15       | 2,851              | 508,512                  |
| <b>Mayo</b>  | 30                     | 5,64       | 2,851              | 482,423                  |
| <b>Junio</b>   | 30                     | 5,63       | 2,851              | 481,568                  |
| <b>Julio</b>   | 32                     | 5,52       | 2,851              | 503,636                  |
| <b>Agosto</b>  | 30                     | 5,37       | 2,851              | 459,328                  |
| <b>Septiembre</b>  | 31                     | 5,24       | 2,851              | 463,149                  |
| <b>Octubre</b>   | 30                     | 5,29       | 2,851              | 452,485                  |
| <b>Noviembre</b>   | 31                     | 5,41       | 2,851              | 478,175                  |
| <b>Diciembre</b>   | 32                     | 5,53       | 2,851              | 504,548                  |
| <b>Enero</b>   | 30                     | 5,67       | 2,851              | 484,989                  |
| <b>Total</b>   | 365                    |            |                    | 5901,699                 |

### 8.2.1 Cálculo del precio de kilovatio-hora.

$$\text{Precio} \left( \frac{\$}{kWh} \right) = \frac{\text{Monto de la facturación eléctrica del mes} \left( \frac{\$}{\text{mes}} \right)}{\text{Consumo energético durante el mes} \left( \frac{kWh}{\text{mes}} \right)} \quad \text{Ec. 32}$$

Tabla 25 Precio kilovatio-hora (\$/kWh).

| Precio kilovatio-hora (\$/kWh). |            |                   |                 |                   |                                       |                                   |                                      |               |
|---------------------------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| Periodo de consumo              |            | Mes de la factura | Días facturados | Consumo kWh / mes | Monto de facturación al mes (C\$/kWh) | Tipo de cambio en Córdobas (C\$). | Monto de facturación al mes (\$/mes) | Precio \$/kWh |
| 10/01/2018                      | 07/02/2018 | Febrero           | 28              | 680               | C\$6.368,14                           | C\$ 30,85                         | \$ 206,40                            | \$0,30        |
| 07/02/2018                      | 11/03/2018 | Marzo             | 32              | 590               | C\$5.263,46                           | C\$ 30,98                         | \$ 169,89                            | \$0,29        |
| 11/03/2018                      | 09/04/2018 | Abril             | 29              | 685               | C\$6.488,47                           | C\$ 31,10                         | \$ 208,65                            | \$0,30        |
| 09/04/2018                      | 09/05/2018 | Mayo              | 30              | 655               | C\$6.130,03                           | C\$ 31,23                         | \$ 196,31                            | \$0,30        |
| 09/05/2018                      | 08/06/2018 | Junio             | 30              | 845               | C\$8.570,90                           | C\$ 31,35                         | \$ 273,38                            | \$0,32        |
| 08/06/2018                      | 10/07/2018 | Julio             | 32              | 687               | C\$6.589,67                           | C\$ 31,48                         | \$ 209,32                            | \$0,30        |
| 10/07/2018                      | 09/08/2018 | Agosto            | 30              | 539               | C\$4.716,53                           | C\$ 31,61                         | \$ 149,22                            | \$0,28        |
| 09/08/2018                      | 09/09/2018 | Septiembre        | 31              | 557               | C\$4.967,77                           | C\$ 31,74                         | \$ 156,52                            | \$0,28        |
| 09/09/2018                      | 09/10/2018 | Octubre           | 30              | 559               | C\$5.014,04                           | C\$ 31,87                         | \$ 157,32                            | \$0,28        |
| 09/10/2018                      | 09/11/2018 | Noviembre         | 31              | 678               | C\$6.580,99                           | C\$ 32,00                         | \$ 205,66                            | \$0,30        |
| 09/11/2018                      | 11/12/2018 | Diciembre         | 32              | 744               | C\$7.470,28                           | C\$ 32,13                         | \$ 232,49                            | \$0,31        |
| 11/12/2018                      | 10/01/2019 | Enero             | 30              | 739               | C\$7.539,62                           | C\$ 32,26                         | \$ 233,70                            | \$0,32        |
| <b>Total</b>                    |            |                   | 365             | 7958              | <b>C\$6.308,33</b>                    |                                   |                                      | <b>\$0,30</b> |

Tabla 26 Cálculo LCOE (\$/kWh).

| <b>Cálculo LCOE (\$/kWh).</b>                              |                     |
|--|---------------------|
| <b>Potencia del panel solar fotovoltaico (Watts)</b>       | 360 W               |
| <b>Número de paneles</b>                                   | 12                  |
| <b>Eficiencia del sistema</b>                              | 0.66                |
| <b>Capacidad del proyecto (kW)</b>                         | 2.851 kW            |
| <b>Vida útil del proyecto (años).</b>                      | 25 años             |
| <b>Inversión Inicial (\$)</b>                              | \$ 9314.75          |
| <b>Costos de Mantenimiento anual (\$).</b>                 | \$ 93.148           |
| <b>Costos de Mantenimiento durante su vida útil (\$).</b>  | \$ 2328.688         |
| <b>Producción anual estimada (kWh/año).</b>                | 5901.699 kWh/año.   |
| <b>Producción estimada durante su vida útil (kWh/año).</b> | 147542.475 kWh/año. |
| <b>LCOE</b>  | 0.079               |

$$LCOE = \frac{\text{Inversión inicial (\$)} * \text{Costos de mantenimiento durante su vida útil (\$)}}{\text{Producción estimada de energía durante su vida útil (kWh)}}$$

$$LCOE = \frac{\left( \$ 9314.75 + 2328.688 \right) \frac{\$}{\text{año}}}{(147542.475) \frac{\text{kWh}}{\text{año}}}$$

$$LCOE = 0.079 \frac{\$}{\text{kWh}}$$

## CONCLUSIÓN

Para esta tesis, se investigó los conceptos necesarios para un correcto entendimiento de lo que conforma un sistema solar fotovoltaico y los parámetros para su dimensionamiento tales como: demanda energética, recurso solar del sitio y tecnología disponible en el país.

El consumo energético de la vivienda, apartamentos y restaurante localizados en Lomas de Montserrat se obtuvo directamente de DISSNORTE – DISSUR.

Luego de recopilar la información necesaria y analizarla se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico utilizando como base las fichas técnicas del fabricante.

Se dimensionó un sistema para satisfacer aproximadamente un 70% de la demanda energética de todo el perímetro, pero a causa del finito espacio disponible se decidió cubrir el mismo porcentaje de la demanda energética solamente para la casa principal, y se planificó una rutina de mantenimiento estándar para este tipo de instalación.

Posteriormente se procedió a cotizar con tres diferentes empresas que ofrecen productos de sistemas solares fotovoltaicos, se analizó la recuperación de inversión y costo nivelado de la energía para conocer cuál de las propuestas de la empresa es la más factible, siendo esta la ofrecida por la empresa NICAMISOL S.A.

## Recomendaciones

1. Se recomienda desarrollar este proyecto por etapas, empezando por la vivienda principal y en caso de que la propietaria no cuente con el capital suficiente para realizar esto, tiene la opción de instalar la cantidad de paneles solares y demás equipos que pueda costear en el momento e ir sumando paulatinamente hasta alcanzar la potencia necesaria calculada en este estudio.
2. Se debe instalar señalización de peligro de contactos eléctricos en las cercanías del generador y en aquellos lugares en los que exista riesgo de contacto con las partes activas de la instalación.
3. El instalador debe informar al usuario de los riesgos eléctricos asociados al manejo de la instalación fotovoltaica.
4. Las personas que realicen los trabajos de montaje y mantenimiento y los usuarios de la instalación deben cumplir estrictamente con las medidas de seguridad establecidas, tanto las generales referidas a instalaciones eléctricas ((ej. uso de equipo de protección personal), como las que proporcionan los fabricantes de los equipos instalados.

## Glosario

### Abreviaturas

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| °C                                |    |
| Grados Celsius.....               | 36 |
| <b>A</b>                          |    |
| AGM                               |    |
| Absortion Glass Mat .....         | 30 |
| Ah                                |    |
| Amperios-Hora .....               | 39 |
| <b>C</b>                          |    |
| CA                                |    |
| Corriente Alterna .....           | 27 |
| CD                                |    |
| Corriente Directa .....           | 27 |
| CNE                               |    |
| Consejo Nacional de Energia ..... | 1  |
| <b>F</b>                          |    |
| FV                                |    |
| Fotovoltaico.....                 | 21 |
| <b>G</b>                          |    |
| GW                                |    |
| Giga Watts .....                  | 9  |
| <b>H</b>                          |    |
| <b>HSP</b>                        |    |
| Hora Solar Pico .....             | 28 |
| <b>I</b>                          |    |
| Is                                |    |
| Radiacion directa.....            | 12 |

|                |  |
|----------------|--|
| Is             |  |
|                | Radiacion dispersa ..... 12                |
| <b>K</b>       |  |
| kWh            |  |
|                | Kilo Watts-hora ..... 1                    |
| <b>M</b>       |  |
| m <sup>2</sup> |  |
|                | Metro Cuadrado ..... 10                    |
| MEM            |  |
|                | Ministerio de Energia y Minas ..... 1      |
| mm             |  |
|                | Milímetros ..... 44                        |
| MW             |  |
|                | Mega Watts ..... 2                         |
| <b>P</b>       |  |
| P-N            |  |
|                | Union Positivo-Negativo ..... 15           |
| <b>R</b>       |  |
| R              |  |
|                | Radiacion de Albedo ..... 12               |
| <b>S</b>       |  |
| SIN            |  |
|                | Sistema de Interconectado Nacional ..... 4 |
| <b>V</b>       |  |
| V              |  |
|                | Voltaje ..... 31                           |
| <b>W</b>       |  |
| W              |  |
|                | Watts ..... 10                             |

## Bibliografía

- Arias, J. M. (Junio de 2018). *El tiempo*. Obtenido de El tiempo:  
<https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/generacion-de-energia-solar-aumento-en-2017-en-el-mundo-205376>
- Aurora, P. a. (2009). *Aurora Power*. Obtenido de  
[http://www.aurorapower.net/pdf\\_reference/Aurora%20Power%20REcatalog.pdf](http://www.aurorapower.net/pdf_reference/Aurora%20Power%20REcatalog.pdf)
- BCN, B. C. (2019). *Informe mensual de Inflación*. Managua.
- BCN, B. C. (2020). *Tipo de cambio oficial de 01-2020*. Managua.
- Calero, M. (27 de 09 de 2017). *LA PRENSA*. Obtenido de LA PRENSA:  
<https://www.laprensa.com.ni/2017/09/27/nacionales/2303493-menos-energia-renovable>
- Carreras, M. B. (2019). *Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas y sus componentes (ISF)*. EDITEX.
- Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA). (2019). Obtenido de Solar App - CCEEA: <https://ccea.mx/solar>
- Definición de grado/índice acorde a DIN en IEC60529. Código IP65, índice "5". Protección contra residuos de polvo. Segundo Índice "4". Protección contra salpicaduras de agua.* (s.f.).
- Díaz y Berviz., A. E. (2019). *Generación distribuida: diseño de un sistema fotovoltaico*. Managua.
- EnDev/GIZ, P. (Marzo de 2013). *EnergyPedia*. Obtenido de  
[https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa\\_de\\_instalaci%C3%B3n\\_de\\_SFD\\_-\\_2013.pdf](https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf)
- Fernandez, M. C. (Abril de 2012). *Manual de mantenimiento*. Obtenido de  
<file:///C:/Users/franc/Downloads/9.%20Manual%20de%20Manteminiento.pdf>
- González, D. (26 de Febrero de 2018). *LA PRENSA*. Obtenido de  
<https://www.laprensa.com.ni/2018/02/26/lptv/2382981-energia-solar-es-mas-barata-pero-solo-representa-el-2-de-la-matriz-energetica-del-pais>
- González, F. J. (2016). *Determinación del potencial solar*. IC Editorial.
- Guerra Plasencia, I., Ballesteros Perdices, M., & Heras Celemín, M. (2008). *Fuentes de energía para el futuro*.
- Gueymard, C. A. (2013). The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models.

- INE, I. N. (Diciembre de 2020). *INE*. Obtenido de <https://www.ine.gob.ni/index.php/pliegos-tarifarios/>
- I-XXI. (2017). *MASVOLTAJE*. Obtenido de <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- Jutglar, L. (2007). *Energía Solar*. Grupo Planeta.
- LIDER, L. d. (Noviembre de 2014). *Diseño e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos y*. Obtenido de <http://repositorio.una.edu.ni/3256/1/NP06B272.pdf>
- Mateo, V. M. (2015). *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- MEM. (s.f.). *Ministerio de Energía Y Minas*. Obtenido de [http://www.mem.gob.ni/?page\\_id=281](http://www.mem.gob.ni/?page_id=281)
- Multimedia. (2016). *Multimedia*. Obtenido de <https://www.multimedia.com.mx/blog/index.php/186-energia-solar-en-tu-casa-ha-llegado-el-momento>
- Nacional, A. (Diciembre de 2017). *NORMATIVA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE PARA AUTOCONSUMO*. Obtenido de [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/2E6A9C4715BA6CA60625820B00733361?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/2E6A9C4715BA6CA60625820B00733361?OpenDocument)
- Office of Indian Energy. (2009). *Levelized Cost of Energy (LCOE)*. Obtenido de <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
- Ortiz, H. (2016). *EcoSolar*. Obtenido de EcoSolar: <https://www.ecosolaresp.com/la-celula-fotovoltaica/>
- S.L. Innovaciones, S. L. (2017). *Montaje mecánico en Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. IC Editorial.
- Santamaría, G., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Editex.
- Serna, J. M. (1995). *Apuntes de matemática financiera e ingeniería económica*. .
- Serrano, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo.
- Sostenibilidad. (2017). *Sostenibilidad para todos*. Obtenido de <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/claves-para-entender-la-huella-de-carbono/>
- Spark, W. (2019). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/14372/Clima-promedio-en-Managua-Nicaragua-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Urbina, G. B. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica*. México: McGraw Hill.
- Urbina, G. B. (2007). *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Méxcio: McGraw Hill.
- Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.

ANEXOS.

## Anexo I

Fichas técnicas de los equipos seleccionados para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

Ficha técnica del Inversor.

### SPLIT PHASE LV SERIES

**120V / 240V / 208V Off-Grid Solar Inverter**

Suitable for use in USA/Puerto Rico, and Canada where split phase power standard is used.



5KW  
48V DC

**MAIN FEATURES**

- Versatile AC output modes: single phase 120V, split phase 240V, and 3-phase 208V
- Pure sine wave output 5KW / 48VDC
- Dual MPPT Input up to 160A max charge
- Max PV input power up to 8KW (4KW\*2)
- Utility charging up to 60A max
- Max total system charging up to 220A
- Parallel operation up to 3 units max
- Genset starter dry contact\*
- Programmable parameters
- Ideal for Off-Grid or Grid-backup application
- Wide AC input range
- Easy to install
- FREE monitoring software
- LCD Display + LED indicators
- USB, RS232 communication interface



PARALLEL  
ABLE

\*requires inverter-type generator of acceptable output quality

sales@mppsolar.com | www.mppsolar.com

**Single Phase L1-N / L2-N = 120V**



**Split Phase / 3-Phase L1-L2 = 208V**



**Split Phase L1-L2 = 240V**



| Split Phase LV SERIES                            |  | LV 5048 |
|--|--|---------|
| <b>STANDARD RATING</b>                           |  |         |
| Continuous Output                                | 5000W                                      |         |
| System DC Volt                                   | 48VDC                                      |         |
| AC Input Voltage                                 | 110 / 120VAC (Phase - Neutral)             |         |
| Maximum Parallel                                 | Up to 3 units                              |         |
| <b>PV INPUT / SOLAR CHARGING</b>                 |  |         |
| Max PV Input Power                               | 8000W (4000W each input)                   |         |
| Max PV Input Volt                                | 145VDC (open circuit V <sub>oc</sub> )     |         |
| MPPT Range                                       | 60 - 110VDC                                |         |
| Number of PV Input                               | 2  |         |
| Max Charging Current                             | 160A (80A X 2)                             |         |
| <b>OUTPUT MODE</b>                               |  |         |
| Output Waveform                                  | Pure Sine Wave                             |         |
| AC Output Mode                                   | 120V L-N / 240V L1-L2 / 208V L1-L2 3-Phase |         |
| Frequency  | 50 / 60Hz, auto-sensing                    |         |
| Max Bypass Current                               | 40A  |         |
| Max Efficiency                                   | >90%                                       |         |
| Max Utility Charging                             | 60A  |         |
| Max Utility + Solar Charging                     | 220A                                       |         |
| Max Bulk/Float Charge                            | 58.4V                                      |         |
| <b>ENVIRONMENTAL / MECHANICAL SPECIFICATIONS</b> |  |         |
| Communication Port                               | USB / RS232 / Dry Contact                  |         |
| Operating Temp.                                  | 0 - 50°C                                   |         |
| Operating Humidity                               | 0 - 90% RH (No Condensing)                 |         |
| Dimension  | 623*610*130mm                              |         |
| Net Weight                                       | 30Kg                                       |         |

MPP Solar Inc. reserves the right to change specification without notice. MPP Solar is a registered trademark.



Buying Solar should be this easy

Ilustración 14 Ficha técnica del inversor.

# Ficha técnica de la Batería.



## DC12-200 (12V200Ah)

DC (Deep Cycle) series is specially designed for frequent cyclic discharge. By using strong grids and specially designed active material, the DC series battery offers 30% more cyclic life than the standby series. It is suitable for solar energy systems, marine and RV etc.

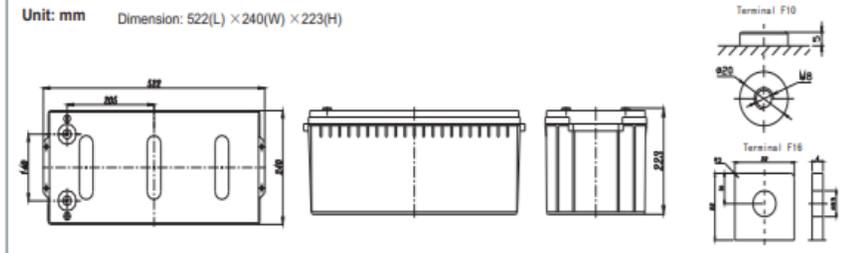


### Specification

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Cells Per Unit                       | 6   |
| Voltage Per Unit                     | 12  |
| Capacity                             | 200Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C   |
| Weight                               | Approx. 60.0 Kg (Tolerance ± 1.5%)  |
| Max. Discharge Current               | 2000 A (5 sec)  |
| Internal Resistance                  | Approx. 4 mΩ  |
| Operating Temperature Range          | Discharge: -20°C~60°C<br>Charge: 0°C~50°C<br>Storage: -20°C~60°C  |
| Normal Operating Temperature Range   | 25°C ± 5°C  |
| Float charging Voltage               | 13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C   |
| Recommended Maximum Charging Current | 60 A  |
| Equalization and Cycle Service       | 14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C   |
| Self Discharge                       | RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using. |
| Terminal                             | Terminal F10  |
| Container Material                   | A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.   |



### Dimensions



### Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)

| F.V/Time | 5MIN  | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR   | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.60V    | 569.6 | 426.7 | 344.7 | 200.9 | 124.8 | 77.07 | 52.38 | 42.23 | 35.06 | 23.09 | 20.81 | 11.02 |
| 10.0V    | 553.2 | 406.0 | 337.6 | 198.4 | 123.2 | 75.52 | 51.41 | 41.63 | 34.75 | 23.00 | 20.61 | 10.81 |
| 10.2V    | 536.8 | 391.7 | 332.3 | 195.3 | 122.0 | 74.72 | 50.95 | 41.22 | 34.52 | 22.79 | 20.40 | 10.61 |
| 10.5V    | 482.0 | 361.4 | 316.4 | 190.0 | 120.5 | 73.74 | 50.50 | 40.61 | 34.23 | 22.59 | 20.20 | 10.40 |
| 10.8V    | 435.1 | 329.6 | 291.7 | 183.7 | 118.8 | 73.14 | 49.91 | 39.22 | 34.06 | 22.50 | 20.02 | 10.30 |
| 11.1V    | 371.5 | 294.6 | 261.6 | 176.7 | 116.0 | 70.20 | 48.93 | 38.65 | 33.81 | 22.32 | 19.78 | 9.88  |

### Constant Power Discharge Characteristics: W (25°C)

| F.V/Time | 5MIN | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR  | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9.60V    | 5892 | 4544  | 3792  | 2300  | 1447 | 903.2 | 616.7 | 505.5 | 420.0 | 276.5 | 249.6 | 132.7 |
| 10.0V    | 5776 | 4405  | 3731  | 2276  | 1433 | 892.2 | 607.5 | 498.4 | 416.2 | 275.5 | 247.6 | 130.4 |
| 10.2V    | 5710 | 4289  | 3689  | 2257  | 1425 | 885.8 | 604.8 | 493.7 | 413.7 | 273.4 | 245.4 | 128.0 |
| 10.5V    | 5198 | 3994  | 3518  | 2211  | 1416 | 874.6 | 599.9 | 487.1 | 410.4 | 271.1 | 243.0 | 125.6 |
| 10.8V    | 4734 | 3681  | 3252  | 2158  | 1398 | 868.1 | 593.2 | 470.6 | 408.5 | 269.9 | 240.6 | 124.4 |
| 11.1V    | 4159 | 3328  | 2927  | 2099  | 1377 | 835.6 | 583.2 | 463.9 | 407.0 | 268.0 | 238.0 | 119.9 |

All mentioned values are average values (Tolerance ± 2%).

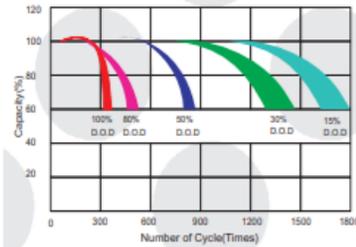
Ilustración 15 Ficha técnica de la batería.

# DC12-200

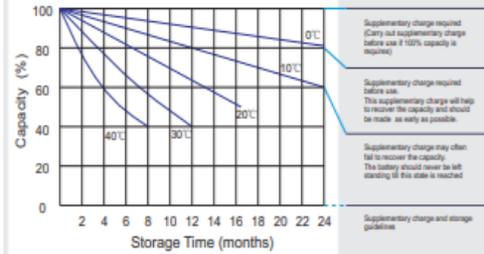
12V200Ah



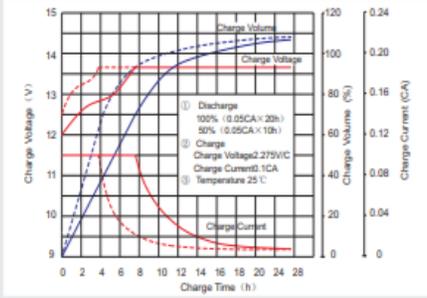
### Life characteristics of cyclic use



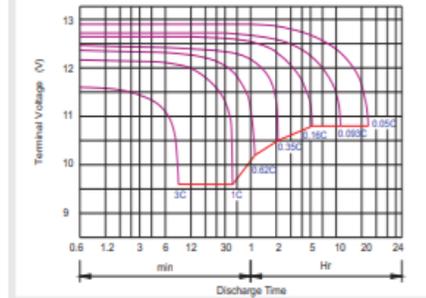
### Storage characteristic



### Charge characteristic Curve for standby use



### Discharge characteristic Curve



### Capacity Factors With Different Temperature

| Battery Type |        | -20°C | -10°C | 0°C | 5°C | 10°C | 20°C | 25°C | 30°C | 40°C | 45°C |
|--------------|--------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| GEL Battery  | 6V&12V | 50%   | 70%   | 83% | 85% | 90%  | 98%  | 100% | 102% | 104% | 105% |
|              | 2V     | 60%   | 75%   | 85% | 88% | 92%  | 99%  | 100% | 103% | 105% | 106% |
| AGM Battery  | 6V&12V | 46%   | 66%   | 76% | 83% | 90%  | 98%  | 100% | 103% | 107% | 109% |
|              | 2V     | 55%   | 70%   | 80% | 85% | 92%  | 99%  | 100% | 104% | 108% | 110% |

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

| Final Discharge Voltage V/cell | 1.75V     | 1.70V          | 1.60V     |
|--------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| Discharge Current (A)          | (A) <0.2C | 0.2C<(A) <1.0C | (A) >1.0C |

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

### Charging Method:

|                  |   |
|------------------|---|
| Constant Voltage | -0.2Cx2h+14.4-14.7Vx24h,Max. Current 0.3C |
| Constant Current | -0.2Cx2h+0.1Cx7h+0.05Cx4h                 |
| Fast             | -0.2Cx2h+0.3Cx3h                          |

| Bolt     | M5                  | M6         | M8                    |
|----------|---------------------|------------|-----------------------|
| Terminal | F3 F4 F2 F8 T25 T26 | F9 F12 F13 | F5 F9 F10 F12 F14 F16 |
| Torque   | 6.7N·m              | 8.10N·m    | 10.12N·m              |

SHENZHEN RITAR POWER CO.,LTD.

URL: www.ritarpower.com

Address: Rm405, Tower C, Huashan Building, Langshan Rd16, Nanshan District, ShenZhen, 518057, China  
Tel: +86-755-33981888 Fax: 86-755-8347-5180

2015 - Version 0

### Maintenance & Cautions

#### Cycle service

- ⊗ Avoid battery over discharge, especially battery series connection use.
- ⊗ Charged with recommend voltage, ensure battery can be full recharged.  
In general, recharge capacity should be 1.1-1.15 times discharge capacity.
- ⊗ Effect of temperature on cycle charge voltage: -4mV/°C/Cell.
- ⊗ There are a number of factors that will affect the length of cyclic service.  
The most significant are depth of discharge, ambient temperature, discharge rate, and the manner in which the battery is recharged.  
Generally speaking, the most important factors is depth of discharge.

Ilustración 16 Ficha técnica de la batería.

# Ficha técnica del panel solar

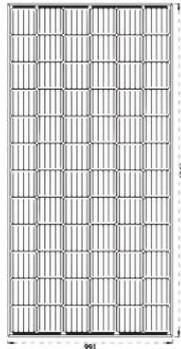
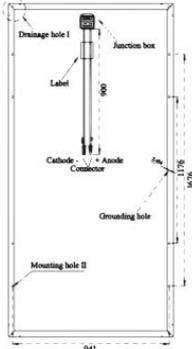
Lower module current self-consumption

**DAH solar**  
Smart PV Module Pioneer, Transform More Sunlight Into Energy.

## Perc DHM72 <sup>(5BB)</sup>

### 345W-365W

Monocrystalline PV module


### Mechanical Specification

|                   |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|
| Cells Type        | Mono 156.75x156.75mm                             |  |  |
| Weight            | 22.5kg   |  |  |
| Dimension (LxWxT) | 1956x991x40mm                                    |  |  |
| Output Cables     | TUV, Length 900mm, 4.0mm <sup>2</sup>            |  |  |
| No. of Cells      | 72 (6x12)  |  |  |
| Front Glass       | 3.2mm High Transmission, Low Iron Tempered Glass |  |  |
| Frame             | Anodised Aluminium                               |  |  |
| Junction box      | IP67, 3 Bypass Diodes                            |  |  |
| Connector         | MC4 or MC4 Compatible                            |  |  |

### Packing Configuration

|                   |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|
| Container         | 20GP | 40GP | 40HC |
| PCS per pallet    | 27   | 27   | 27   |
| PLT per container | 10   | 24   | 24   |
| PCS per container | 270  | 648  | 696  |

### Operating Parameters

|   |              |
|---|--------------|
| Maximum system voltage                    | DC1000V      |
| Operating Temperature(°C)                 | -40 ~ +85 °C |
| Maximum series fuse rating                | 15A          |
| Snow load, frontside                      | 5400Pa       |
| Wind load, backside                       | 2400Pa       |
| Nominal operating cell temperature (NOCT) | 45 ± 2 °C    |
| Application level                         | Class A      |

### Electrical Characteristics (Standard Test Conditions)

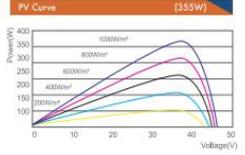
| Module Type                     | DHM72-345  | DHM72-350 | DHM72-355 | DHM72-360 | DHM72-365 |
|---------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Maximum Power(Pmax)             | 345W   | 350W      | 355W      | 360W      | 365W      |
| Open-circuit Voltage (Voc)      | 46.7V  | 46.9V     | 47.0V     | 47.2V     | 47.4V     |
| Maximum Power Voltage (Vmp)     | 38.4V  | 38.5V     | 38.7V     | 38.9V     | 39.1V     |
| Short-circuit Current (Isc)     | 9.50A  | 9.40A     | 9.49A     | 9.76A     | 9.82A     |
| Maximum Power Current(Imp)      | 8.99A  | 9.09A     | 9.17A     | 9.26A     | 9.34A     |
| Module Efficiency(%)            | 17.80%   | 18.06%    | 18.31%    | 18.57%    | 18.83%    |
| Power Tolerance                 | 0 ~ +5W  |           |           |           |           |
| Temperature Coefficient of Isc  | 0.05%/°C   |           |           |           |           |
| Temperature Coefficient of Voc  | -0.29%/°C  |           |           |           |           |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.39%/°C  |           |           |           |           |
| Standard Test Environment       | Irradiance 1000w/m <sup>2</sup> , Cell temperature 25 °C, Spectrum AM1.5 |           |           |           |           |

### Electrical Characteristics (Noct)

| Module Type                 | DHM72-345  | DHM72-350 | DHM72-355 | DHM72-360 | DHM72-365 |
|-----------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Maximum Power(Pmax)         | 257W   | 261W      | 264W      | 267W      | 271W      |
| Open-circuit Voltage (Voc)  | 43.4V  | 43.6V     | 43.7V     | 43.8V     | 43.9V     |
| Maximum Power Voltage (Vmp) | 35.5V  | 35.6V     | 35.8V     | 35.9V     | 36.1V     |
| Short-circuit Current (Isc) | 7.67A  | 7.75A     | 7.82A     | 7.88A     | 7.95A     |
| Maximum Power Current(Imp)  | 7.25A  | 7.33A     | 7.40A     | 7.44A     | 7.50A     |
| Standard Test Environment   | Irradiance 800w/m <sup>2</sup> , Cell temperature 20 °C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s |           |           |           |           |

## Function parameter

**PV Curve [355W]**



**IV Curve [355W]**

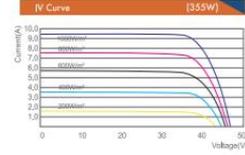










Ilustración 17 Ficha técnica del panel solar.

Anexos II  
Ofertas.



Ivania Guerrero Pereira  
Lomas de MontserratJ Managua

### **Oferta**

Nicamisol S.A.ê

Funeraria Monte de los Olivos 2C al lago, casa #206 M/DJ 14033 Colonial Los Robles Managua,  
Nicaragua

Su contactoú Pablo Zelaya 8551 2324J  
p.zelaya@nicamisol.comÚ

Fecha: 19/09/2019 17:30  
Proyecto: 325Z

Oferta

### **Sistema fotovoltaico para Ivania - FV 4,3 kWp y baterías 19,2 kWh**

Proyecto: 325

Estimado Sr. Guerrero Pereira

Agradecemos su solicitud, nos agrada ofertarle el siguiente proyecto solar  
fotovoltaico

|  | Clase                            | Descripción   | Pr<br>ec<br>io     | Canti<br>dad | Precio<br>Total   |
|--|----------------------------------|---|--------------------|--------------|-------------------|
|   | <b>Baterías</b>                  | Ritar DC12200C 12VDC<br>200Ah<br>Lead Carbon (E)            | \$49<br>5,0<br>0   | 8            | <b>\$3.960,00</b> |
|   | <b>Paneles<br/>solares</b>       | 360Wp DAH Mono Perc<br>72cell (E)                           | \$21<br>4,0<br>0   | 12           | <b>\$2.568,00</b> |
|   | <b>Inversores</b>                | Hybrid Inversor<br>MPP Solar LV<br>5048 y Accesorios<br>(G) | \$2.<br>360<br>,00 | 1            | <b>\$2.360,00</b> |
|   | <b>Sistema<br/>a<br/>montaje</b> | DAH Seam Roof<br>Complete (G)                               | \$65<br>,00        | 12           | <b>\$780,00</b>   |
|  | <b>Accesorios</b>                | Para Baterias A (1-<br>18 Paneles) (G)                      | \$49<br>5,0<br>0   | 1            | <b>\$495,00</b>   |
|  | <b>Instalación<br/>Eléctrica</b> | Con Baterias A<br>(Residencial) (G)                         | \$39<br>0,0<br>0   | 1            | <b>\$390,00</b>   |
|  | <b>Instalación<br/>Paneles</b>   | Techo inclinado B (6-<br>12 Paneles) (G)                    | \$12<br>0,0<br>0   | 1            | <b>\$120,00</b>   |

Total ..... \$10673.00

Iva ..... \$621.752

Gran Total ..... \$11294.752



Oferta de ECAMI S.A.



CLIENTE: **Franco guerrero**

FECHA: 6/12/2019

CONTACTO:

TELEFONO: 86878263

N° RUC/CED ID:

DIRECCION:

DESCRIPCION: **SISTEMA SOLAR 3KWP**

| CANTIDAD | DESCRIPCION DEL PRODUCTO                       | PRECIO UNITARIO    | MONTO TOTAL        |
|----------|--|--------------------|--------------------|
| 9        | MODULOS TRINA SOLAR 24VDC 34WATT               | \$ 170.00          | 1,530.00           |
| 4        | BATERIAS RITAR N/C 12V 200AH LIBRE MANTTO      | \$ 475.00          | 1,900.00           |
| 1        | INVERSOR VICTRON MODELO QUALTRO 3000WATT/48VDC | \$ 1,881.00        | 1,881.00           |
| 1        | CONTROLADOR DE CARGA MPPT 70AMP 250V           | \$ 748.00          | 748.00             |
| 1        | COLOR CONTROL GX SISTEM                        | \$ 495.00          | 495.00             |
| 1        | MATERIALES ELECTRICOS                          | \$ 800.00          | 800.00             |
| 1        | MANO DE OBRA                                   | \$ 800.00          | 800.00             |
| 1        | ESTRUCTURA PARA MODULOS                        | \$ 225.00          | 225.00             |
| 1        | MUEBLE PARA BATERIAS                           | \$ 100.00          | 100.00             |
|          |  | <b>Sub-Total</b>   | <b>\$ 8,479.00</b> |
|          |  | <b>IVA 15%</b>     | <b>\$ 757.35</b>   |
|          |  | <b>Monto Total</b> | <b>\$ 9,236.35</b> |

**Condiciones Generales de Ventas:**

|                     |  |
|---------------------|--|
| Precios:            | Neto en \$ dolares   |
| Descuentos:         | Incluidos  |
| Periodo de Validez: | 10 dias  |
| Forma de Pago:      | Prepago  |
| Entrega:            | Aceptamos tarjeta de credito, cheque certificados, y efectivo. |
| RUC ECAMI S.A.      | Con previa confirmacion<br>J0310000155011                      |

**ECAMI S.A:** Departamento Comercial  
**asesor Comercial** Carolina Lopez Jarquin  
**Correo Vendedor:** [carolina.lopez@ecami.com.ni](mailto:carolina.lopez@ecami.com.ni)  
**Telefono:** 22773692  
**Celular:** 85608696 Mov 86450133 Claro.

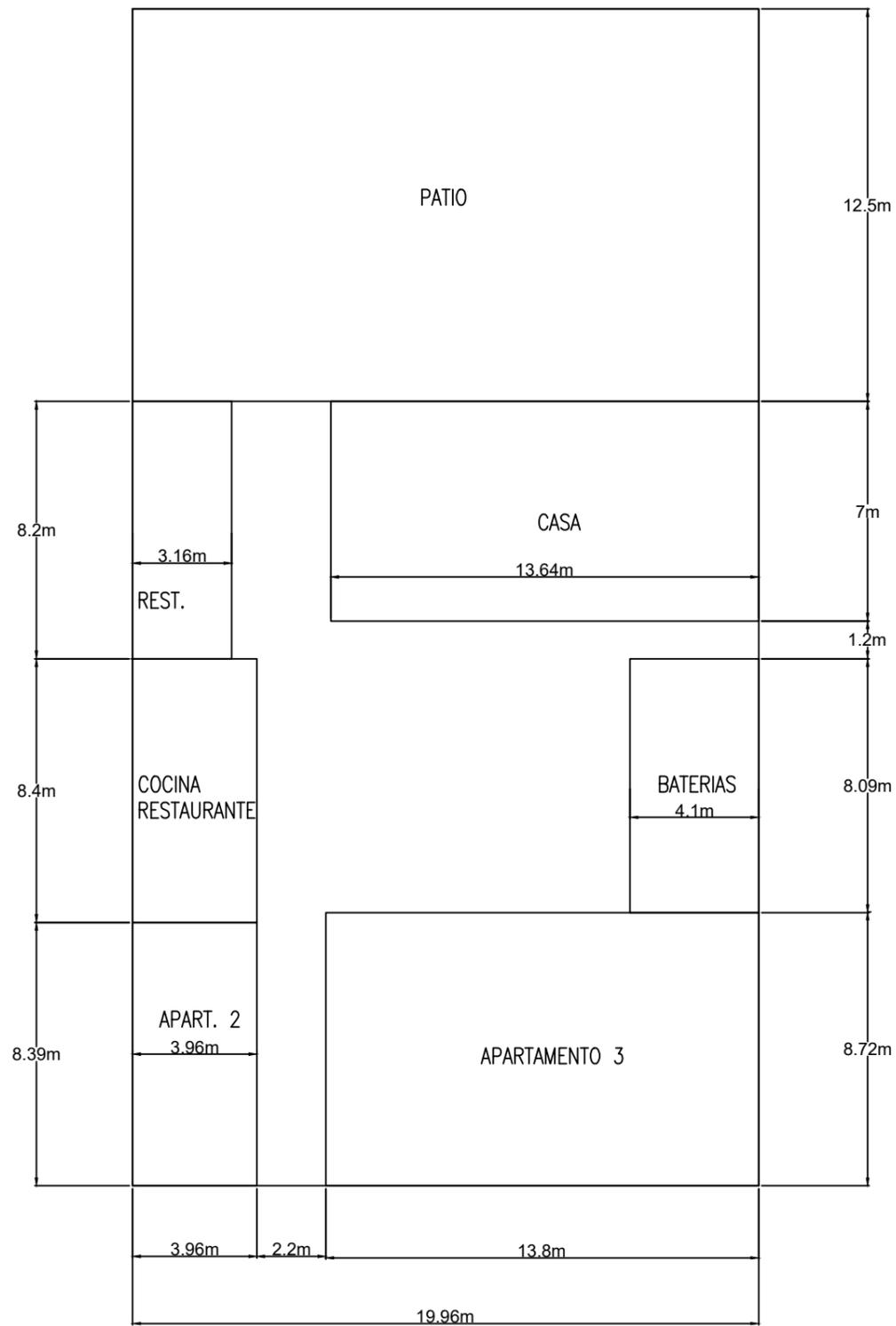
- NOTA:**
1. Nuestros paneles solares y baterias de ciclo profundo están exentos de IVA, según ley 532
  2. Oferta estimada, su valor definitivo se confirmará posterior a la respectiva Inspección Técnica
  3. Los servicios por Mano de Obra se deben cancelar de forma anticipada
  4. Estamos exentos del 2% de retencion de IR por ser grandes contribuyentes
  5. Estamos exentos del impuesto municipal del 1% solo por la alcaldia de Managua



Ilustración 19 Oferta de ECAMI S.A.

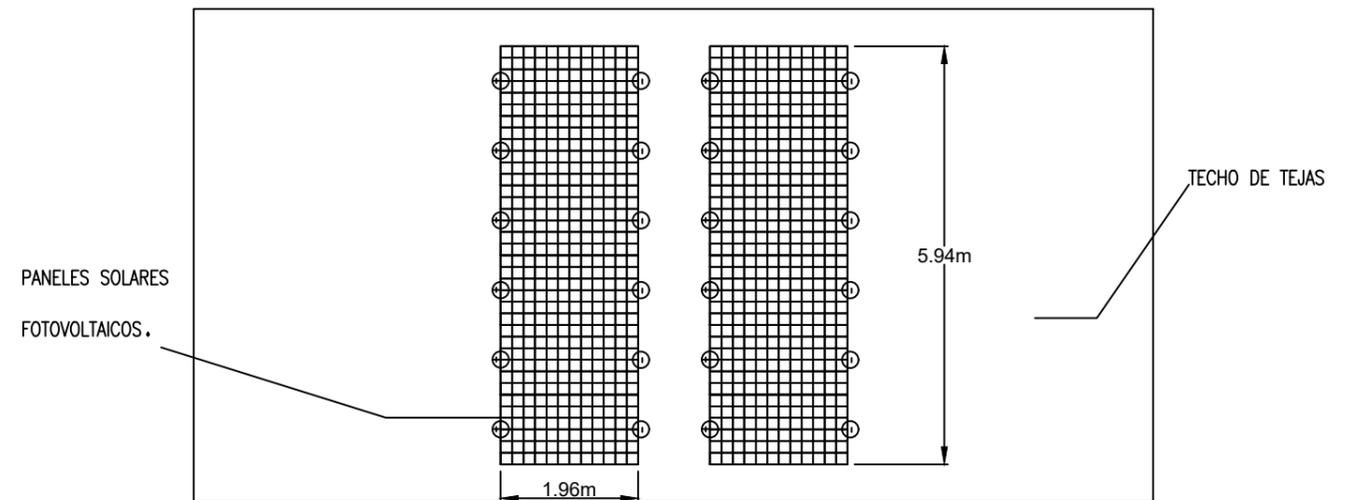
Anexo III

Plano de vista superior de la casa.



VISTA SUPERIOR  
ESC: 1:200

UBICACIÓN PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS



VISTA SUPERIOR CASA

ESC: 1:100

|                                 |                    |  |                 |
|---------------------------------|--------------------|--|-----------------|
| A-1<br>A-1                      | VISTA SUPERIOR     |  |                 |
| NOMBRE: JENIFFER OBREGON TORREZ | PROPUESTA PROYECTO |  | ESC: SEÑALADA   |
| REVISIA: JURADO                 | UBICACION: MANAGUA |  | FECHA: 03/04/20 |