

*Universidad de Matanzas  
sede "Camilo Cienfuegos"  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**UTILIZACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA GENERAR ENERGÍA  
ELÉCTRICA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS EN SECTORES  
ESTRATÉGICOS DE EMPERCAP.**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica.**

**Autor: Leosvany Arencibia Reyes.**

*Matanzas, 2022*

*Universidad de Matanzas  
sede “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**UTILIZACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA GENERAR ENERGÍA  
ELÉCTRICA MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS EN SECTORES  
ESTRATÉGICOS DE EMPERCAP.**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica.**

**Autor: Leosvany Arencibia Reyes**

**Tutor: MSc Gabriel Roque Villalonga**

*Matanzas, 2022*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar los cálculos correspondientes para la implementación de un sistema fotovoltaico autónomo que será capaz de generar toda la energía eléctrica que demanda las oficinas estratégicas de la empresa EMPERCAP. Para ello se seleccionaron correctamente cada uno de los elementos que componen el sistema (baterías, inversor, regulador de carga y los paneles), teniendo en cuenta la relación eficiencia-costos, guiándose por diversas bibliografías. Después de realizado el estudio de mercado y seleccionado los debidos componentes del sistema, se realizan los cálculos para la implementación de la cantidad de cada uno de ellos. Culminado el trabajo de diseño se logró concluir que el área destinada es la indicada para la instalación de la central fotovoltaica. Bajo estas circunstancias se llevó a un estudio ecológico, donde se puede ver que el resultado obtenido en esta esfera es muy positivo, dando una reducción de 3440,8 g/año de combustible, una reducción de emisión de CO<sub>2</sub> de 41,5 T/año. Este montaje según los cálculos económicos realizados nos proporciona una amortización de la tecnología en tan solo 5 años, lo cual es un significativo ahorro para la empresa. Este trabajo tiene gran importancia porque está encaminado hacia la política que sigue el gobierno cubano en la aplicación de las energías renovables, de ser cada vez más independientes desde el punto de vista energético.

**Palabras claves:** Fotovoltaico; autónomo; eficiencia; renovables; reducción; ahorro.

## ABSTRACT

The objective of this work is to develop the corresponding calculations for the implementation of an autonomous photovoltaic system that will be capable of generating all the electrical energy demanded by the strategic offices of the EMPERCAP company. For this, each of the elements that make up the system (batteries, inverter, charge regulator and panels) were correctly selected, taking into account the efficiency-cost relationship, guided by various bibliographies. After carrying out the market study and selecting the proper components of the system, the calculations are made for the implementation of the quantity of each one of them. Once the design work was completed, it was possible to conclude that the designated area is the one indicated for the installation of the photovoltaic plant. Under these circumstances, an ecological study was carried out, where it can be seen that the results obtained in this area are very positive, giving a reduction of 3440.8 g/year of fuel, a reduction in CO<sub>2</sub> emission of 41,5 T/ year. This assembly, according to the economic calculations carried out, provides us with an amortization of the technology in just 5 years, which is a significant saving for the company. This work is of great importance because it is directed towards the policy followed by the Cuban government in the application of renewable energies, to be increasingly independent from the energy point of view.

**Keywords:** Photovoltaic; autonomous; efficiency; renewable; reduction; saving.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	4
1.1 Desarrollo y alcance de las fuentes renovable de energía.....	4
1.2 Fuentes renovables de energías en Cuba .....	5
1.2.1 Energía solar.....	6
1.2.2 Energía eólica.....	7
1.2.3 Energía hídrica .....	8
1.2.4 Biomasa.....	8
1.3 Energía Solar Fotovoltaica.....	9
1.3.1 Energía solar fotovoltaica en Cuba .....	11
1.4 Política aplicada en Cuba para el desarrollo de las fuentes de energías renovables.....	12
1.5 Normas vigentes sobre FRE y eficiencia energética en Cuba.....	13
1.6 Sistemas fotovoltaicos .....	15
1.7 Componentes fotovoltaicos en sistemas autónomos .....	17
1.7.1 Baterías.....	17
1.7.2 Reguladores de carga .....	18
1.7.3 Inversores DC/AC .....	19
Conclusiones parciales del capítulo.....	20
Capítulo 2 Materiales y métodos .....	22
2.1 Descripción de la empresa. ....	22
2.2 Cargas instaladas en la empresa .....	23
2.3 Mejoras energéticas para disminuir el consumo .....	28
2.4 Estimación de crecimiento de la carga .....	31
2.5 Potencial solar de la región donde se encuentra ubicada la empresa .....	32
2.6 Subsistema de generación .....	34
2.6.1 Cálculo de la capacidad de tamaño del panel.....	34
2.6.2 Selección del panel.....	36
2.6.3 Cálculo de cantidad de paneles a utilizar.....	37
2.7 subsistema de almacenamiento.....	38
2.7.1 Selección de las baterías.....	38
2.7.2 Cálculo del número de baterías a utilizar.....	39
2.8 Subsistema de regulación.....	40
2.8.1 Selección del regulador.....	40
2.8.2 Cálculo del número de reguladores a utilizar. ....	41
2.9 Subsistema de acondicionamiento de potencia .....	42
2.9.1 Selección del inversor .....	42
2.9.2 Cálculos del número de inversores a utilizar.....	42
2.10 Análisis de los parámetros que inciden en la posición de los módulos fotovoltaicos. ....	43
2.11 Área a instalar.....	45
Conclusiones parciales del capítulo.....	46
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	48

3.1 Área brindada por la empresa para la instalación del sistema. ....	48
3.2 Calculo ecológico de la central fotovoltaica de la empresa EMPERCAP. .	50
3.3 Análisis Económico de los SFVCR en la Empresa EMPERCAP. ....	51
3.3.1 Costo de los equipos a utilizar en la estructura fotovoltaica. ....	52
3.3.2 Tarifa con que cuenta la empresa EMPERCAP. ....	53
3.3.3 Cálculo costo-beneficios .....	53
3.3.4 Comportamiento de la eficiencia de los módulos solares. ....	54
3.3.5 Análisis del costo del kWh generado por el SFVCR de la Empresa EMPERCAP. ....	56
3.4 Tiempo de retorno de la inversión. ....	57
3.5 Conclusiones parciales del capítulo. ....	58
Conclusiones .....	59
Recomendaciones .....	60
Referencias Bibliográficas .....	61
Anexos .....	63

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad es muy difícil imaginar cuantas de nuestras actividades diarias podríamos realizar de manera satisfactoria sin el empleo de la electricidad. Lamentablemente en la medida que una sociedad es más desarrollada consume más energía, el crecimiento de la demanda energética he sido exponencial desde los años de Nikola Tesla y Thomas Edison, mientras que la reserva de combustible fósil cada vez es menor, y aumentan los problemas que esta fuente provoca al medio ambiente. El ser humano, consiente de los daños y los problemas que representan, está tratando de utilizar fuentes de energías que no se agoten con el tiempo y que a su vez produzcan la menor contaminación posible a la capa de ozono.

Tras estudiar este comportamiento creciente de la demanda de electricidad, la *International Energy Agency* en el 2 014, presentó un informe que plantea que para el año 2 040 en probable que la demanda de energía se incremente en un 60%; se pronostica que debido a las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera al final del siglo se llegue a un aumento en el calentamiento global entre 1,4 y 5,8 °C, por los que los países dentro de los términos de nación y bienestar, así como los ecosistemas se verán grandemente afectados si no se toman serias medidas al respecto (Priddle, 2019).

Debido a estos problemas el mundo se ha volcado a buscar la manera más rápida y eficiente de emplear energías renovables para que poco a poco sea producciones líderes, la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) ha planteado que el 10,8% de la energía primaria del mundo fue producida a partir de energías renovables solo en el 2 018. Además, el estudio plantea que para el 2 030 la energía renovable será el 50% de la producción energía de primaria del mundo y entre el 80% y el 90% en el 2 050.

Cuba estudia la forma de incorporar a su sistema energético nacional cada vez más la utilización de fuentes renovables de energía (FRE). En este aspecto es donde entra a jugar parte el presupuesto de las empresas en la obtención de estas tecnologías, siguiendo la estrategia trazada en el último Congreso del Partido Comunista para lograr aumentar la independencia en el sector energético y contribuir a proteger el medio ambiente como siempre expresó nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz.

Hoy Cuba presenta un problema con el déficit de generación de energía eléctrica, lo cual es un gran problema que no solo afecta al sector productivo, los servicios y el sector residencial. Como parte de este proceso en la Empresa de Perforación y Reparación Capital de Pozos de Petróleo y Gas (EMPERCAP), se pretende realizar un proyecto para cubrir la demanda eléctrica de las áreas estratégicas de la misma, utilizando la energía solar fotovoltaica, ya que su posición geográfica le garantiza condiciones óptimas desde el punto de vista climatológico para la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Por lo que se plantea el siguiente **problema científico**:

Determinar la tecnología necesaria para la generación de energía renovable que permita garantizar la independencia energética de los sectores estratégicos de la empresa.

**Hipótesis:** Si se instala un sistema fotovoltaico con inyección a la red permitirá que los sectores estratégicos de EMPERCAP sean independientes energéticamente.

**Objetivo General:** Realizar el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo que garantice la generación de la energía demandada para garantizar la independencia energética de las secciones estratégicas de la empresa.

**Objetivos específicos:**

- Realizar el levantamiento de carga de los sectores estratégicos de la empresa que son el despacho, el nodo de la empresa, la sala de reuniones, la oficina de jefe de la empresa y la oficina de la secretaria.
- Obtener el número óptimo de paneles solares que garanticen la generación necesaria.
- Calcular el área necesaria para la ubicación del número óptimo de paneles solares, así como la distancia entre estos para evitar la sombra.
- Seleccionar cada uno de los equipos que componen el sistema fotovoltaico (paneles solares, baterías, reguladores de carga e inversores)

- Determinar la energía necesaria a almacenar para que el sistema garantice dos días de autonomía.
- Determinar los costos finales de los diferentes equipos del sistema de generación y el costo total aproximado de la inversión.
- Realizar un estudio ambiental sobre las ventajas del uso de este sistema sobre la quema de combustibles fósiles.

## **CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En el presente capítulo se realizará un profundo estudio y análisis de la bibliografía disponible relacionadas con el tema a tratar en el trabajo, esto será posible luego de una amplia búsqueda y selección de la misma para dar cumplimiento a las diversas tareas a desarrollar, dicho análisis conformará el desarrollo teórico del tema, donde se presentarán aspectos generales a tener en cuenta para poder desarrollar el objetivo trazado en la siguiente investigación con un alto nivel de calidad.

### **1.1 Desarrollo y alcance de las fuentes renovable de energía.**

Más del 20% de la energía primaria que se requiere en el mundo para producir electricidad proviene de fuentes de renovables energía. Si se incluye la biomasa, el 18% de la demanda energética mundial total se satisface con fuentes renovables. A escala mundial, el consumo final de biomasa es aproximadamente igual al consumo de carbón o gas. (Priddle, 2019)

En el último reporte global presentado en el 2 017 por IRENA, es planteado que el 19,3% de la energía primaria del mundo fue producida a partir de las FRE. El crecimiento de las mismas, se ha visto impulsado por el aumento en la relación costo-competitividad lo cual ha hecho que en muchos países los costos sean competitivos con las fuentes de energía convencional. Tal es el caso de las zonas rurales de difícil acceso, en las que las FRE están desempeñando un rol progresivo en el suministro de servicios energéticos esenciales y para el sector productivo; en gran parte debido al reconocimiento creciente de su rentabilidad.

No obstante, aumento del empleo de FRE sigue siendo moderado en virtud de los subsidios que aún reciben los combustibles fósiles y la energía nuclear, particularmente en los países en vía de desarrollo.

En la Unión Europea, las FRE representaron el 86% de la capacidad de generación de energía, con mayor participación de la energía eólica y la fotovoltaica. Alemania incrementó su participación del 10,5 % en 2 010 a 24% en 2 014; mientras que Escocia suministra cerca de la mitad de su electricidad a partir de FRE. En Estados Unidos las FRE representaron más del 15% del total de generación de electricidad. Se destaca un aumento

notable en la electricidad generada por la energía eólica y la fotovoltaica; mientras que se presentó disminución en la generación de bioenergía.

En Latinoamérica y el Caribe, Brasil fue el líder en nueva capacidad instalada de FRE, con un record de 2,5 GW de capacidad de generación con energía eólica para el 2 014; mientras que Uruguay es el país que añadió más capacidad de generación de energía eólica per cápita a nivel mundial en los últimos años. En este país, la energía eólica alcanzó a suministrar el 22,8% del consumo de electricidad en el 2 016.

En Asia se tiene la mayor capacidad de generación de FRE instalada. El líder es China, el cual es el país con mayor capacidad de producción de energía solar, eólica e hidroeléctrica. De igual forma, Tailandia incrementó su producción de energía solar en una proporción que supera a muchos países europeos; además de Filipinas y Pakistán que han incrementado notablemente su capacidad instalada en energía eólica.

En Australia, que es líder de la región de Oceanía en capacidad de electricidad renovable, el mayor porcentaje lo tienen las hidroeléctricas con el 59% y la energía eólica con el 32%.

En África también se ha presentado un aumento en las instalaciones FRE. Sudáfrica se convirtió en uno de los 10 mejores mercados de la energía solar, por delante de la India, además está realizando las primeras instalaciones en energía eólica. En Kenia, se tiene instalado más de la mitad de la capacidad geotérmica del mundo (Algarin & Álvarez, 2018).

## **1.2 Fuentes renovables de energías en Cuba**

Recientemente, como parte de los Programas de la Revolución Energética, el Gobierno cubano formuló una iniciativa para el uso de las FRE con el objetivo de asegurar un adecuado y sostenible suministro de energía, reducir las emisiones de gases del efecto invernadero y garantizar el continuo desarrollo económico del país.

Cuba tiene diversas fuentes renovables de energía que pueden ser utilizadas para satisfacer parte de la energía demandada por el país. Las principales fuentes renovables de energía en explotación se encuentran concentradas en la biomasa (bagazo, leñas combustibles y el

biogás) con alrededor del 96,42% del total de generación por FRE, seguido por la energía hidroeléctrica con 3,22% y en menores proporciones la energía solar 0,24% y la energía eólica con 0,12%, respectivamente, como se muestra en la figura 1.1.

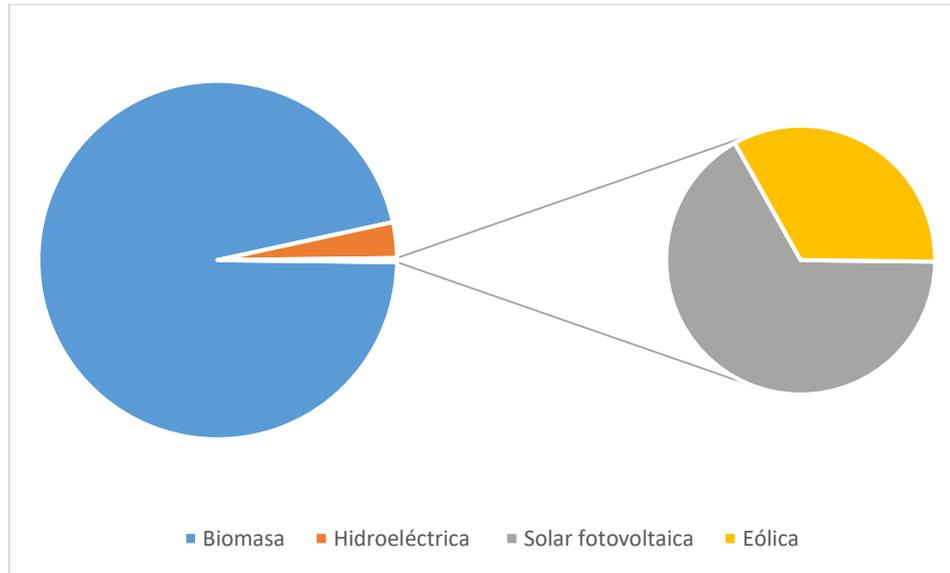


Figura 1.1 FRE en Cuba. (Fuente: elaboración propia).

### 1.2.1 Energía solar

Cuba, al igual que otros países en vías de su desarrollo, como resultado del alza de los precios de los combustibles fósiles, se ha visto obligada a tomar medidas para el ahorro y uso eficiente de sus recursos energéticos, así como el estudio de posibles fuentes alternativas de energía, incluyendo la solar. Cuba se encuentra en un cinturón soleado entre los 20° 12' - 23° 17' de latitud norte, y está geográficamente bien situada con respecto al potencial de energía solar. El promedio anual cubano de sol es de 1 700 h y la radiación solar de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>. (Arrastía y Corp, 2013)

El mapa de la radiación solar global y las capas correspondientes a las zonas no viables según los criterios de protección elaborados y que en este caso se señalan los relativos a las carreteras, las pendientes, líneas férreas, así como ríos, arroyos y presas. Esta situación obedece a que este tipo de energía puede implementarse en los poblados, en las áreas protegidas de manera controlada y las redes eléctricas se tienen en cuenta para determinar el parámetro de compatibilidad en función de determinar la viabilidad de la energía

producida. A partir de la valoración de los perímetros de protección de las diferentes variables que influyen, así como los otros objetivos del espacio territorial donde es posible desarrollar inversiones de energía solar, el manejo y análisis de la información se ha calculado el área viable para estos sistemas, siendo de 85 586 Km<sup>2</sup> que representa el 77,89 % del espacio territorial, con una potencia disponible para instalar de aproximadamente de 998 GW (M. a. Rodríguez, Domínguez, Prados, & Vázquez, 2011)

### **1.2.2 Energía eólica**

En el análisis y estudio de la energía eólica se ha determinado la viabilidad para su implementación, teniéndose en cuenta como áreas no viables los núcleos poblacionales, áreas protegidas, pendientes, líneas férreas; así como arroyos, ríos y presas, utilizando como base la información contenida en el mapa de densidad de potencial de viento elaborado por el Solar and *Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), siendo necesario señalar que del área total del país, sólo en 82 776 Km<sup>2</sup> existe densidad de viento con valores aceptables para el estudio, es decir densidades de viento igual o superior a 16 W/m<sup>2</sup> y hasta 547 W/m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta la posibilidad de instalación desde pequeños sistemas hasta campos eólicos. A partir de la valoración de las diferentes variables que influyen en el territorio y teniendo en cuenta los valores que se poseen en la base de datos, se calculó el área viable para estos sistemas, siendo de 76 181 Km<sup>2</sup>, que representa el 69,32 % del espacio disponible. La densidad de viento que incide en estas áreas es equivalente a una potencia a instalar de 643 GW.

Hasta la fecha, dos parques eólicos han sido instalados en Cuba, con una capacidad total de 2,25 MW. El primer parque demostrativo está localizado en la Isla de Turiguanó, en la provincia de Ciego de Ávila, fue construido en 1 999, esta planta tiene dos turbinas de 225 kW cada una. El segundo parque está localizado en Los Canarreos, en el municipio Isla de la Juventud, y se encuentra operando desde febrero de 2 007, el campo eólico tiene seis turbinas de 275 kW cada una, con una capacidad instalada de 1,5 MW. Un tercer parque eólico está siendo construido en Gibara, provincia de Holguín, y tendrá seis turbinas de 850 kW, con una capacidad total de 5,1 MW. En la actualidad, se han montado cien estaciones para medir el viento en 32 zonas de prospección del territorio nacional a 50 m

de altura, donde se encuentran las mayores perspectivas de aprovechamiento de la energía eólica. El Gobierno cubano y el Grupo Nacional de Energía Eólica están planeando alcanzar unos 100 MW instalados en todo el país. (J. A. S. r. Rodríguez & Soler, 2007)

### **1.2.3 Energía hídrica**

La viabilidad del territorio para la implementación de los sistemas hídricos se determina por el nivel de eficiencia que se puede obtener de la tecnología implementada. Para la determinación de la viabilidad del territorio, en interés de realizar nuevas inversiones relacionadas con esta energía renovable, se hace un análisis a partir del mapa de potencial hídrico y la capa correspondiente al área de protección de las áreas protegidas. Esta información permite valorar las zonas viables para la inversión, el marco de viabilidad para la implementación de los sistemas hídricos. En este caso están representados puntualmente en lugares de vertimiento de presas y caídas pronunciadas de ríos.

Existen algunas particularidades relacionadas con este tipo de energía que, para la situación energética de Cuba, se convierte en una atractiva opción por el significado de su aporte energético al desarrollo del país. Como resultado del análisis de los datos que se poseen y el estudio realizado se considera que las 233 fuentes hídricas estudiadas son viables para la realización de inversiones consistentes de sistemas generadores de energía eléctrica, ocupando un espacio territorial equivalente a 11 750 Km<sup>2</sup>, con una potencia disponible para ser instalada de aproximadamente 97 MW.

### **1.2.4 Biomasa**

La biomasa constituye algo más del 96 % de la energía renovable total en Cuba, y continuará dominando en el futuro, debido a las grandes cantidades de residuos de las industrias de agroforestales como las del azúcar, la madera, el café, el arroz y otras fuentes como las leñas, el biogás y las plantaciones de oleaginosas no comestibles.

La viabilidad del territorio para la implementación de los sistemas de biomasa se determina a partir de la generación y cogeneración que puede producirse con diferentes tipos de

biomasa que se encuentran disponibles en el territorio. Conociendo que se pueden desarrollar tecnologías para su conexión a red o pequeñas redes que satisfagan la demanda de determinadas comunidades, intervienen los parámetros de compatibilidad con los fines de su instalación, así como los sistemas destinados a dotar de energía a comunidades aisladas, donde también se tendrán presentes los requisitos en función de garantizar la máxima eficiencia. Para la determinación de la viabilidad del territorio en interés de implementar inversiones relacionadas con la energía producida por la quema de biomasa, se ha realizado un análisis a partir del mapa de potencial de biomasa y la capa correspondiente al área de protección de las áreas protegidas y asentamientos poblacionales logrando con esta información valorar las zonas viables para la inversión en este tipo de energía. El estudio realizado y los datos que se poseen, ha permitido determinar que las zonas viables para la implementación de este tipo de energía ocupan una superficie de 48 052 km<sup>2</sup> y que pueden generar aproximadamente 3,6 millones de toneladas de biomasa al año, con un coeficiente de potencia eléctrica disponible a instalar de 320 MW (J. A. S. r. Rodríguez & Soler, 2007)

### **1.3 Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica consiste en aprovechar la radiación solar transformándola directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. La historia de la energía solar fotovoltaica comenzó cuando Alexandre Edmond Becquerel (1820 – 1891), físico francés, descubre el efecto fotovoltaico al experimentar con una pila electrolítica con electrodos de platino, en la que observó el incremento de corriente que causaba la exposición a la luz de uno de los electrodos. En 1920 Albert Einstein explica el efecto fotovoltaico, hablando de electrones que absorben cuantos de energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica. Por esta explicación del efecto fotovoltaico recibiría el Premio Nobel de Física en 1921. Posteriormente los Laboratorios Bell producen la primera célula de silicio con un 6% de rendimiento en 1954, el coste estimado era de 3 000 \$/W . En 1955 la administración norteamericana solicita a su industria la producción de elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales. Se lanza, en 1962, el primer satélite comercial de

telecomunicaciones, el Telstar, con una potencia fotovoltaica de 14 W. A lo largo de la siguiente década la energía solar fotovoltaica realiza uno de sus mayores avances cuando por primera vez las células fotovoltaicas sobrepasan los 100 kW en 1973, el satélite Skylab llevaba 20 kW de paneles. En 1985 la Universidad de New South Wales crea células con el 20% de rendimiento. La utilización de esta FRE en el mundo cada vez avanza con mayores pasos, para 1998 un total de 1 000 MWp de sistemas fotovoltaicos instalados se encontraban instalados en el mundo (Lamigueiro 2013).

En el año 2002 se producen más de 500 MW de módulos fotovoltaicos en un solo año, más de 1 000 MW en el año 2004 y 2 000 MW en el año 2007. En el año 2010 y posteriormente en estas dos décadas, la potencia mundial instalada es de 40 000 MW, aumentando exponencialmente cada año y la producción de células fotovoltaicas en ese año resultó en 27 200 MW (Rasero 2011)

Según la *International Energy Agency (2014)*, la eficiencia media de los módulos fotovoltaicos (FV) de silicio comerciales ha mejorado en los últimos diez años en alrededor de 0,3 % por año, llegando a un valor de 16% en 2013. Los módulos comerciales de mejor desempeño, con base en diferentes tecnologías de fabricación alcanzan eficiencias entre un 19% y 21%. Generalmente los módulos FV son garantizados para una vida útil de 25 años, como mínimo, trabajando en el 80% de su potencia nominal, a veces durante 30 años en el 70% de su potencia nominal. Las estadísticas y proyecciones a nivel mundial son dadas por: (*International Energy Agency, 2014; International Renewable Energy Agency, 2013; REN21, 2015; REN21, 2017; International Energy Agency, 2017*).

Desde el 2010, en el mundo se ha adicionado más capacidad en energía FV que en las cuatro décadas anteriores. Los nuevos sistemas fueron instalados en 2013 a un ritmo de 100 MW de capacidad por día. A inicios del año 2014 la capacidad global superó los 150 GW. Durante el 2016 se agregaron 75GW de capacidad solar fotovoltaica a nivel mundial, lo cual equivale a la instalación de más de 31 000 paneles solares por hora.

El patrón geográfico de despliegue está cambiando rápidamente. Mientras que algunos países europeos, encabezados por Alemania e Italia, iniciaron a gran escala el desarrollo de sistemas FV; desde el año 2013, la República Popular China ha liderado el mercado FV mundial, seguido por Japón y Estados Unidos. Las cifras más recientes presentadas en el

2017, muestran que el 85% de la capacidad instalada estuvo focalizada en 5 mercados: China, Estados Unidos, Japón, India y el Reino Unido. Los líderes en capacidad solar FV por habitante son Alemania, Japón, Italia, Bélgica y Australia.

En datos de la *European Photovoltaic Industry Association (2014)*, China fue el principal mercado en 2013 con 11,8 GW de los cuales 500 MW representan sistemas aislados. China fue seguido por Japón con 6,9 GW y los EE.UU con 4,8 GW (Algarin & Álvarez, 2018).

### **1.3.1 Energía solar fotovoltaica en Cuba**

En Cuba, hasta el año 2012, las instalaciones FV sumaban en total 3 MW en unos 9 000 sistema solar fotovoltaico (SFV) de baja potencia, casi todas remotas, no conectadas a red, en lugares aislados donde no llega la red eléctrica (escuelas, consultorios, casas y centros de cultura) con una gran repercusión social. Pero, el motor impulsor del desarrollo mundial FV descrito ha sido la energía FV conectada a red. En nuestro caso la red eléctrica llega a más del 95 % de la población, por lo que es la vertiente que puede significativamente dar su aporte para disminuir la quema de combustible fósil en función de la generación eléctrica y puede tributar, paulatinamente, a una independencia electroenergética, junto con las otras FRE. En 2013, se dio un salto al instalarse 11 MW en parques FV, conectados a red, tendencia que debe ir aumentando de acuerdo con la voluntad existente y con los planes aprobados por el país, relacionados con las FRE.

El estado cubano posee una estrategia de desarrollo, el cual depende del grado de penetración FV que seamos capaces de instrumentar en la red eléctrica nacional, por lo que además de aspectos tecnológicos que analizamos más profundamente en otros trabajos, la estrategia debe cumplir con ciertas premisas tales como: no tronchar en ningún momento la cultura productiva FV alcanzada, escalar la producción de módulos ensamblados en Pinar del Río hasta un máximo, hacer más importante el aporte eléctrico de la energía FV, hacer más atractivas las alianzas mixtas con países líderes, nunca recomenzar de nuevo en cero, lograr un desarrollo consolidado y ascendente, aprovechar al máximo la cultura FV que se vaya alcanzando, continuar el desarrollo de empresas FV creadas, aprovechar la disminución de los costos FV en el tiempo, aumentar el empleo por la vía de la rama FV,

descentralizar las instalaciones FV (cooperativas, otros), tributar a gran escala el desarrollo industrial del país, potenciar la presencia FV de Cuba en la CELAC y en otras organizaciones de América Latina (AL), contribuir a la exportación material y de servicios, continuar perfeccionando toda una estructura lograda, tender a una economía de escala en la energía FV, tender paulatinamente hacia el año 2 020 a disminuir el costo del kWh FV en menos de 0,05 USD. (Stolik Novygrad, 2014)

#### **1.4 Política aplicada en Cuba para el desarrollo de las FRE**

En cada país existen factores internos que, en conjunto, apoyan el despliegue de las tecnologías de las FRE lo cual es crucial para un desarrollo bajo en carbono; dicho ambiente incluye políticas, leyes y regulaciones que apoyen su promoción, pero deben cubrir, tanto políticas y estrategias económicas y energéticas, aspectos sociales, diseminación de información y aceptación social, factores técnicos y de infraestructura, así como condiciones financieras y de mercados. Estos factores promotores o facilitadores para apoyar el despliegue de las FRE y la Eficiencia Energética son, tanto regulatorios e institucionales, económicos y financieros, técnicos, de infraestructura y de innovación, sociales, como ambientales.

El XIII Taller Internacional Cubasolar 2 018 se celebró del 21 al 25 de mayo de 2 018 en Las Tunas. Contó con la participación de 214 delegados. Se enfatizó en el marco regulatorio para fortalecer la política para el desarrollo del uso de las fuentes renovables de energía en Cuba y sus resultados. Se explicó importancia de establecer estándares mínimos para ciertos equipos al entrar al país, así como el tema de la licencia energética para cualquier obra que se ejecute, explicando sobre su proceso de otorgamiento con aplicación de la Norma Cubana 220 en sus cinco partes. Agregó que en las empresas se aspira a que 5 % sea con FRE, y que hoy en el turismo es solo 0,2 %. También explicó que la aplicación del Sistema de Integración de la Energía es un proceso complejo pero necesario, y hay que identificar las oportunidades de mejoras. El contexto del XIII Taller consideró que lo más importante es trabajar por los requisitos para alcanzar el desarrollo sostenible y uno de ellos es la soberanía energética.

## 1.5 Normas vigentes sobre FRE y eficiencia energética en Cuba

Cuba se rige para el desarrollo de nuestras fuentes de energías tanto renovables como no renovables por la norma ISO 50001:2018, desarrollada y traducida para nuestro país, se alcanza especificar los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. Un SGEn permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política, tomar acciones, según sea necesario, para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta Norma Internacional. Esta Norma Internacional se aplica a las actividades bajo el control de la organización y la utilización de esta Norma Internacional puede adecuarse a los requisitos específicos de la organización, incluyendo la complejidad del sistema, el grado de documentación y los recursos.

Esta Norma Internacional se basa en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización tal como se ilustra en la figura 1.2



*Figura 1.2. Ciclo de mejora continua. (Fuente: norma ISO 50001:2018).*

El modelo de gestión está basado en la estructura de mejora continua ya utilizado en otras normas de gestión, este es el conocido modelo de Deming o PDCA.

Modelo de gestión:

El aspecto de mayor importancia de los requisitos de la norma ISO 50001:2011 sus derivadas, en relación a la gestión de Energía es, como en la mayoría de los sistemas de gestión, el de la responsabilidad de la dirección:

- Responsabilidad de la dirección: es vital que la alta dirección demuestre su compromiso en apoyar al sistema, y en mejorar continuamente su eficacia, que disponga de los recursos necesarios y que defina claramente los roles y responsabilidades de los actores del SGen.
- Política energética: para formalizar el compromiso de la dirección, la empresa debe establecer una política, en la cual se establezca el compromiso de la mejora continua, la disposición de recursos y el marco para establecer los objetivos, el cumplimiento de los requisitos legales y otros que la organización suscriba, y la revisión sistemática del sistema por parte de la dirección.
- Planificación: la organización debe llevar a cabo un proceso de planificación energética, coherente con la política. Deben conocer los consumos energéticos, los aspectos que influyen en estos consumos, y la necesidad de realizar un diagnóstico energético enfocado en la optimización del sistema, la identificación de los requisitos legales y el desarrollo.
- Implementación y operación: debe documentarse las operaciones claves, debe asegurarse la competencia del personal, su capacitación y concientización. Por otra parte, debe asegurarse la comunicación efectiva, el control operacional en el diseño de las instalaciones de la organización, y debe analizarse el desempeño energético de adquirir servicios de energía, productos y equipos que puedan tener impacto significativo en el uso de la energía.
- Verificación: deben verificarse las operaciones a través del monitoreo, el seguimiento, la medición y el análisis, la evaluación del cumplimiento de los requisitos legales u otros, auditoría interna, las no conformidades, las acciones correctivas y preventivas, y el control de los registros.
- Revisión por la Dirección: deben identificarse los avances y mejoras en el desempeño energético, de acuerdo con los objetivos y metas planteadas, además de establecer el plan para próximos ciclos y la necesidad de recursos para su logro.

El uso de un correcto SGEN poseen grandes ventajas tanto internas como externas, de las cuales pueden ser observadas en la tabla 1.1.

*Tabla 1.1 Ventajas que posee el SGEN. (Fuente: elaboración propia).*

<i>Ventajas que posee el SGEN</i>	
Interna	Externa
Reducción de los costos de energía.	Aumento de la rentabilidad a través de la reducción de los consumos y costos energéticos.
Reducción de gases de efecto invernadero.	Aumento de la competitividad de la empresa.
Sustentabilidad energética.	Mejora la imagen pública de la organización al presentarse ante la sociedad como una empresa comprometida con la sostenibilidad ambiental.

## **1.6 Sistemas fotovoltaicos**

La tecnología FV consiste en la conversión directa de la radiación del Sol en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico. La energía solar fotovoltaica está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos que no disponen de la red eléctrica (sistemas fotovoltaicos autónomos) o bien para generar energía a la red eléctrica (sistemas conectados a la red).

Se puede realizar una primera clasificación de los sistemas fotovoltaicos en función de si están o no conectados a la red eléctrica convencional:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos son aquellos que están aislados de la red eléctrica.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aquellos que están directamente conectados a la red eléctrica.

Una de las principales características de los generadores fotovoltaicos que la diferencia de otras fuentes de energía renovable es que únicamente producen electricidad cuando reciben

la luz del Sol y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre su superficie. Resulta evidente que en multitud de aplicaciones el consumo energético se produce independientemente de la radiación solar (claro ejemplo resulta un sistema de iluminación donde precisamente de lo que se trata es de tener energía durante la noche). En este tipo de aplicaciones es necesario incluir un sistema de almacenamiento energético o de acumulación, en los sistemas FV la energía producida por los módulos FV se almacena en baterías. En otras aplicaciones, como el bombeo de agua o los sistemas conectados a la red no se necesitan baterías, en el primer caso la energía se acumula en forma de energía hidráulica mientras que en el segundo la energía se acumula en la propia red eléctrica.

En general, un sistema fotovoltaico estará formado por:

- Un generador fotovoltaico.
- Una batería de acumulación.
- Un regulador de carga.
- Un inversor.
- El consumo.

La energía producida por el generador FV se acumula, en caso de ser necesario (ya se ha visto que los sistemas conectados a la red no necesitan baterías), en un sistema de baterías. De este modo la energía producida durante las horas de sol se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria. La batería es pues un elemento que va a estar cargándose y descargándose cíclicamente (en un sistema de iluminación FV la batería se carga durante el día y se descarga en las horas de la noche). Para controlar los procesos de carga y descarga de la batería se utiliza un regulador de carga. Este elemento es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobredescargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil. El modo de operación es sencillo: cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generador FV y cuando detecta que la batería está siendo sobredescargada, desconecta los consumos.

Los módulos FV producen corriente continua (DC), que se puede almacenar directamente en baterías. Cuando se extrae potencia eléctrica de las baterías, ésta también es en forma de corriente continua. En el caso de que se desee dar servicio a determinados consumos que pueden ser en corriente alterna (AC) (como ocurre con la mayoría de los consumos que habitualmente estamos acostumbrados a utilizar) es necesario disponer de un inversor que es un dispositivo electrónico encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible. (Abella, 2005)

## **1.7 Componentes fotovoltaicos en sistemas autónomos**

Los componentes básicos de una instalación fotovoltaica son:

- Generador fotovoltaico
- Regulador de carga
- Inversor
- Sistema de baterías de acumulación

### **1.7.1 Baterías**

En los sistemas fotovoltaicos las baterías o acumuladores fotovoltaicos se utilizan principalmente como sistema de almacenamiento energético, debido al desplazamiento temporal que puede existir entre los periodos de generación (durante el día) y los periodos de consumo (durante la noche), permitiendo la operación de las cargas cuando el generador FV por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecer el consumo. No obstante, también se pueden utilizar para otros cometidos tales como estabilizadores de voltaje o corriente y para suministrar picos de corriente (en el arranque de motores). Las baterías se utilizan habitualmente en la mayor parte de los sistemas FV autónomos (aunque hay excepciones, tales como los sistemas de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica) y en general no se utilizan en sistemas conectados a la red eléctrica.

La gran mayoría de las baterías del mercado son de Plomo-ácido (Pb-a), las cuales se adaptan bien a la operación en sistemas FV siempre y cuando se pueda realizar un mantenimiento adecuado. Se pueden encontrar baterías de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y Plomo-Antimonio (Pb-Sb). Las primeras necesitan menor mantenimiento y tienen menor autodescarga, mientras que las segundas se deterioran menos en el ciclado diario y presentan mejores prestaciones para niveles bajos de carga.

Las baterías suelen estar formadas por elementos de dos voltios que conectados en serie proporcionan tensiones de trabajo de 12 V, 24 V, 48 V. La capacidad (Ah) de un grupo de baterías conectadas en es igual a la capacidad de cada uno de los elementos que lo componen. Si se conectan baterías en paralelo se suma la capacidad de sus elementos. La capacidad necesaria de las baterías en un sistema FV se calcula en función a los consumos y al número de días de autonomía del sistema. Por otro lado, es importante que el dimensionado del acumulador con relación al generador FV esté bien realizado.

Un exceso de capacidad de almacenamiento respecto de la capacidad de generación del generador FV daría lugar a la batería tendría dificultades en poder cargarse completamente. Por el contrario, una baja capacidad de batería da lugar a poca autonomía y se corre el riesgo de quedarse sin suministro de energía en caso de ausencia de radiación solar.

### **1.7.2 Reguladores**

En la gran mayoría de los sistemas fotovoltaicos autónomos con baterías es necesario un sistema de regulación de carga.

La misión primordial de un regulador de carga en un sistema fotovoltaico autónomo con baterías es realizar un proceso óptimo de carga de la batería, permitiendo la carga completa, pero evitando la sobrecarga y la sobredescarga. La estrategia de control del regulador de carga determina el proceso de carga de una batería y es responsable en última instancia tanto de la capacidad del sistema de satisfacer los consumos como de la vida útil de la batería. Además de la vigilancia y control del estado de carga de la batería con el objeto de maximizar su vida útil, el regulador de carga puede disponer de funciones adicionales como compensación por temperatura de batería, alarmas, monitorización y visualizadores. A

pesar de que el regulador de carga puede suponer sólo 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% en función del coste de sustitución del sistema de baterías).

El regulador de carga permite aprovechar al máximo la energía suministrada por el generador FV, a la vez que garantizar la protección adecuada y buen servicio de las baterías. En caso de sobrecarga pone el generador FV en circuito abierto evitando el paso de corriente del generador hacia la batería. En caso de sobredescarga puede cortar el suministro a los consumos o bien avisar mediante una alarma indicando que la tensión de batería es inferior a los niveles mínimos de seguridad. Una sobrecarga de las baterías provoca procesos de gasificación (hidrólisis del agua en hidrógeno y oxígeno) que pueden disminuir considerablemente la vida de la batería. Una sobredescarga afecta a la futura aceptación de carga de la batería.

En términos generales, las características eléctricas que definen un regulador son la tensión nominal y la intensidad máxima de trabajo. La instalación del regulador se ha de realizar en un lugar fácilmente accesible de modo que resulte cómoda la utilización de los elementos que habitualmente dispone para control del estado de la instalación (visualizadores e indicadores).

### **1.7.3 Inversores DC/AC**

El funcionamiento general de un inversor está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia con un ciclo controlado de apertura y cierre generando ondas de pulsos variables (cuantos más pulsos menor distorsión armónica y mayor proximidad a la onda pura senoidal).

Los inversores empleados en las aplicaciones fotovoltaicas se pueden agrupar o dividir en dos grandes categorías: los autoconmutados y los conmutados por la red. Los inversores autoconmutados pueden funcionar como fuente de tensión o como fuente de corriente mientras que los conmutados por red sólo como fuente de corriente, por ello los autoconmutados se pueden utilizar tanto en aplicaciones autónomas como en aplicaciones

conectadas a la red eléctrica mientras que los conmutados por la red únicamente en aplicaciones conectadas a la red.

El inversor, utilizado para convertir la energía DC fotovoltaica en energía AC, es el elemento principal para la operación exitosa del sistema FV, y también es la parte más compleja. Durante casi 20 años de aplicaciones de sistemas fotovoltaicos para usos terrestres se ha realizado una investigación y desarrollo sistemático de estos componentes con el objetivo de reducir costes y mejorar el rendimiento.

Los inversores se pueden utilizar tanto en sistemas fotovoltaicos autónomos como en sistemas conectados a la red eléctrica, y algunas de las exigencias comunes son:

- Operar en un amplio rango de voltajes DC de entrada.
- Poseer autoprotecciones y seguridad hacia el usuario.
- Regular el voltaje y la frecuencia de salida.
- Proporcionar potencia AC a las cargas o a la red eléctrica con una determinada calidad de suministro.
- Realizar seguimiento del punto de máxima potencia si están directamente conectados al generador fotovoltaico.
- Operar en un amplio rango de condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa.
- Poseer interfases con otros controles del sistema, o controlar el sistema.
- Satisfacer las necesidades de seguridad exigidas en la conexión a red. (Abella, 2005)

### **Conclusiones parciales del capítulo**

- Las instalaciones fotovoltaicas, por su bajo costo ambiental y alta eficiencia, son una buena alternativa renovable a sustituir o complementar los sistemas energéticos actuales.
- Los sistemas fotovoltaicos se pueden distribuir en dos grandes grupos: sin conexión a la red eléctrica, autónomos, o con conexión a la red.

- En Cuba se implementan políticas que permitan la instalación de Fuentes de Energía Renovable, para así aumentar el desarrollo sostenible del país.
- El territorio nacional tiene una buena ubicación geográfica para explotar el desarrollo de la energía fotovoltaica debido a su alta radiación promedio de alrededor de  $5 \text{ W/m}^2$ .

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se realizaron los pasos correspondientes para determinar la implementación del parque fotovoltaico que tendrá como fin generar la energía que demandan las oficinas estratégicas de la empresa en cuestión, mejorando así la eficiencia energética y así disminuir los costos de la empresa. Para lograr lo antes explicado se diseñó un sistema fotovoltaico compuesto por las celdas o paneles fotovoltaicos, un banco de baterías para almacenar la energía, un regulador de carga para proteger las mismas y regular las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema, y un inversor que es el elemento encargado de convertir la corriente directa en corriente alterna para que esta pueda ser consumida por los equipos.

### 2.1 Descripción de la empresa.

La EMPERCAP está ubicada en la Finca La Cachurra, Cárdenas, Matanzas, Cuba. La figura 2.1 muestra una imagen aérea de la ubicación de la empresa.



*Figura 2. 1 Vista aérea de la empresa EMPERCAP. (Fuente: <https://earth.google.com/web/>)*

Esta empresa se encarga de prestar servicios de reparación y mantenimientos a obras y estructuras, así como a las máquinas que se encargan de la perforación y el cuidado de los pozos de petróleo y gas desde las provincias de Mayabeque hasta Ciego de Ávila.

A su vez cuenta con un plan para la autonomía energética correspondiente, se pretende que las empresas costeen una cantidad de presupuesto para la implementación de energía renovable, de esta forma se reduce el consumo de combustible fósil además de ayudar con la producción de esta energía limpia al plan energético nacional reduciendo lo más posible la capacidad de carga que se extrae del mismo.

## **2.2 Cargas instaladas en la empresa**

La empresa en su plan de trabajo 2 030 pretende fomentar la energía renovable dentro de sus planes de inversión. Para realizar esta tarea es necesario conocer la capacidad de cargas instaladas, así como el consumo de las mismas al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Los datos de los locales son diferentes para cada uno, pues cada uno posee diferentes tipos de alumbrado, así como de tecnología y climatización. La tabla 2.1 muestra el levantamiento de carga dentro de las oficinas de Nodos, la tabla 2.2 el levantamiento de carga dentro del despacho, la tabla 2.3 el levantamiento de carga dentro de la oficina de secretaria, la tabla 2.4 el levantamiento de carga dentro del salón de reuniones, la tabla 2.5 el levantamiento de carga dentro de la oficina del jefe.

*Tabla 2. 1. Levantamiento de carga dentro de las oficinas de Nodos. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia [W]</i>	<i>Voltaje [V]</i>	<i>Tiempo [horas x días de trabajo]</i>	<i>Consumo [kWh]</i>
Split 5T	1	7 900	220	24x30	5 688
Split 1T	1	1 000	220	24x30	720
Split 2T	2	1 980	220	24x30	2 851,2
Deshumidificador	2	530	110	24x30	763,2
Switch	60	4,5	110	24x30	194,4
Servidor	7	500	110	24x30	2 520
Computadora	3	185	110	24x30	399,6
Impresora	1	120	110	8x30	28,8
Lámpara 40x2	8	80	110	8x30	153,6
Lámpara 40	2	40	110	8x30	19,2
Subtotal		19 085			13 338

Tabla 2. 2 Levantamiento de carga dentro del despacho. (Fuente: elaboración propia)

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i> [W]	<i>Voltaje</i> [V]	<i>Tiempo</i> [horas x días de trabajo]	<i>Consumo</i> [kWh]
Hornilla	1	1 000	110	3x30	90
Microondas	1	800	110	2x30	48
Lámpara 40	1	40	110	8x30	9,6
Lámpara 40x2	3	80	110	8x30	57,6
Lámpara 18	2	18	110	8x30	8,6
Computadora	3	185	110	24x30	339,6
Split 1T	1	1 000	220	24x30	720
Alarma Seguridad	1	23	110	24x30	16,56
Impresora	1	120	110	8x30	28,8
Televisor	1	135	110	8x30	32,4
Planta de Radio	1	25	110	8x30	6
Equipo de Música	1	180	110	8x30	43,2
Linterna	1	5	110	8x30	1,2
Refrigerador	1	200	110	8x30	48
Subtotal		4 359			1 509,56

*Tabla 2. 3 Levantamiento de carga dentro de la oficina de secretaria. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i> <i>[W]</i>	<i>Voltaje</i> <i>[V]</i>	<i>Tiempo</i> <i>[horas x días de trabajo]</i>	<i>Consumo</i> <i>[kWh]</i>
Split 1T	1	1 000	220	8x22	176
Computadora	1	185	110	8x22	32,56
Lámpara 2x40	2	80	110	8x22	28,16
Impresora	2	120	110	8x22	42,24
Refrigerador	1	200	110	8x22	35,2
Cafetera	1	1 000	110	2x22	44
Microondas	1	800	110	2x22	35,2
Hornilla 2H	1	2000	110	2x22	88
Subtotal		5 585			481,36

*Tabla 2. 4 Levantamiento de carga del salón de reuniones. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i> <i>[W]</i>	<i>Voltaje</i> <i>[V]</i>	<i>Tiempo</i> <i>[horas x días de trabajo]</i>	<i>Consumo</i> <i>[kWh]</i>
Proyector	1	50	110	4x22	4,4
Televisor	1	330	110	4x22	29,04
Split 2T	2	1 980	220	4x22	384,48
Cámara	1	7	110	4x22	0,616
Lámpara 4x40	3	160	110	4x22	42,24
Truinking	1	25	110	4x22	2,2
Switch	1	4,5	110	4x22	0,396
Computadora	1	185	110	4x22	16,28
Subtotal		5 041,5			443,652

*Tabla 2. 5 Levantamiento de carga dentro de la oficina del jefe. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Potencia</i> [W]	<i>Voltaje</i> [V]	<i>Tiempo</i> [horas x días de trabajo]	<i>Consumo</i> [kWh]
Impresora	1	120	110	8x22	21,12
Lámpara 2x40	2	80	110	8x22	28,16
Televisor	1	135	110	8x22	23,76
Split 1T	1	1 000	220	8x22	176
Lámpara 18	1	18	110	8x22	3,168
Computadora	1	185	110	8x22	32,50
Subtotal		1 618			284,768

Como es planteado anteriormente, la oficina estratégica con una mayor carga instalada es la oficina de Nodos, esto sucede por presentar en dicha oficina una consola de climatización de 7,9 kW y un complejo de servidores de 0,5 kW, con un peso importante en la potencia instalada para todo el inmueble.

### **2.3 Mejoras energéticas para disminuir el consumo**

La empresa presenta un consumo energético muy elevado, como parte de este trabajo, se proponen como medida para disminuir el consumo cambiar todas las luminarias fluorescentes por iluminaciones tecnológicas LED de la siguiente manera:

- Sustituir las lámparas fluorescentes de 18 W por lámparas de tecnología LED de 9 W.
- Sustituir las lámparas fluorescentes de 40 W por lámparas de tecnología LED de 20 W.

De esta manera se contribuiría a satisfacer las necesidades energéticas de la empresa y con estas mejorar el nivel de eficiencia energética. Se considera que la instalación de los paneles solares constituye un gran paso de avance para mejorar los índices de consumo de energía eléctrica de la red; pero se hace necesario realizar cambios que permitan que la

empresa realice un servicio energético más eficiente, sin que se afecten los índices de producción de las distintas entidades a las que se les da servicio.

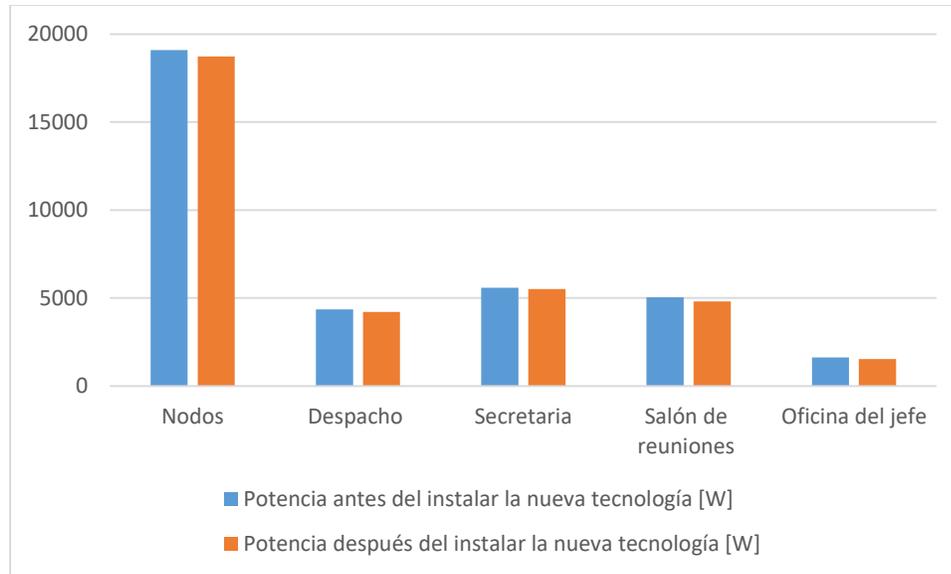
Este cambio disminuye la inversión inicial para la implementación de los paneles solares, pues, al disminuir la demanda energética de las oficinas requeridas, el número de módulos fotovoltaicos a instalar para suministrar la electricidad requerida, también será menor.

La tabla 2.6 muestra los resultados obtenidos después de realizar el cambio de tecnología en las diferentes oficinas.

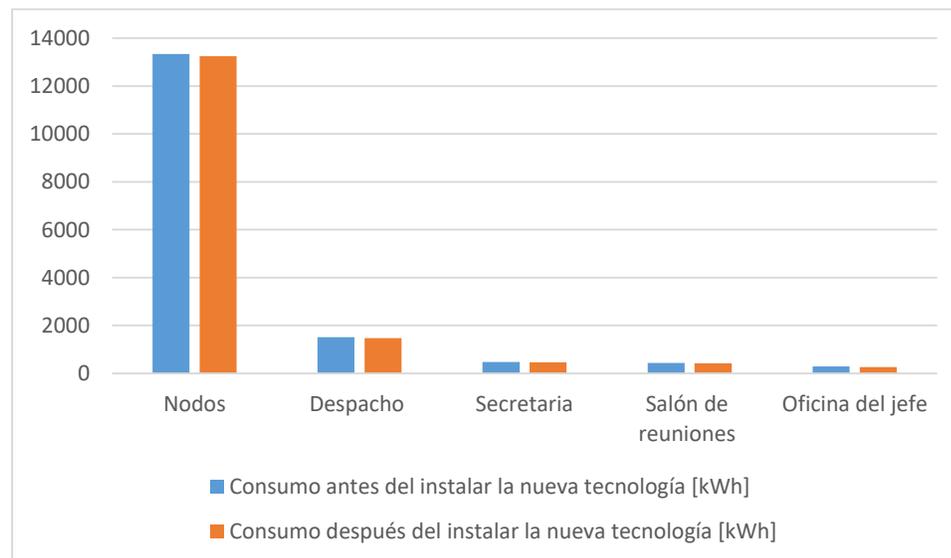
*Tabla 2. 6 Levantamiento de carga después de instalar la nueva tecnología. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipos</i>	<i>Oficinas donde se encuentran</i>	<i>No</i>	<i>Potencia [W]</i>	<i>Voltaje [V]</i>	<i>Tiempo [horas x días de trabajo]</i>	<i>Consumo [kWh]</i>
LámparaLED20x2	Nodo	8	40	110	8x30	76,8
LámparaLED 20	Nodo	2	20	110	8x30	9,6
LámparaLED 20	Despacho	1	20	110	8x30	4,8
LámparaLED20x2	Despacho	3	40	110	8x30	28,8
LámparaLED 9	Despacho	2	9	110	8x30	4,32
LámparaLED20x2	Secretaria	2	40	110	8x22	14,08
LámparaLED4x20	Salón de reuniones	3	80	110	4x22	21,12
LámparaLED2x20	Oficina del jefe	2	40	110	8x22	14,08
LámparaLED9	Oficina del jefe	1	9	110	8x22	1,584

La figura 2.2 muestra los resultados de la comparación de la cantidad de potencia que se encuentra instalada en las oficinas y la propuesta realizada. La figura 2.3 plasma los resultados de dicha comparación en relación al consumo antes y después de instalada dicha tecnología.



*Figura 2. 2 Comparación de la cantidad de potencia que se encontraba instalada en las oficinas antes y después del desarrollo de las variantes de tecnológicas. (Fuente: elaboración propia)*



*Figura 2. 3 Comparación de la cantidad de consumo que se encontraba instalada en las oficinas antes y después del desarrollo de las variantes de tecnológicas. (Fuente: elaboración propia)*

De igual manera es posible realizar el cálculo total real de la reducción de la potencia y el consumo que se tuvo en cuenta al proponer el estudio de cambio de tecnología, lográndose

una reducción de potencia de 927 W y una reducción de consumo de 175,114 kWh. La tabla 2.7 muestran estos resultados para una mejor comprensión.

*Tabla 2.7 Diferencia real antes y después del uso de la tecnología. (Fuente: elaboración propia)*

	<i>Potencia [W]</i>	<i>Consumo [kWh]</i>
Antes	35 688,5	16 057,31
Después	34 761,5	15 882,196
Diferencia	927	175,114

## **2.4 Estimación de crecimiento de la carga**

Después de realizar un levantamiento de carga, con la instalación de la nueva tecnología es necesario ubicar dentro del plan de consumo una estimación de crecimiento tecnológico el cual para la empresa nuestra está dado más menos al igual que el resto de las empresas cubanas, tomando en cuenta el plan de desarrollo pactado por la misma, el porcentaje es más menos de un 10%, distribuidos principalmente dentro de la implementación de nuevas tecnologías en todos los ambientes de la empresa, así como la extensión de la misma en parámetros eléctricos.

La tabla 2.8 plasma los consumos para los cuales se calculan todos los sistemas que comprenden la pequeña central fotovoltaica con la cual se pretende cumplir con las condiciones exigidas por la empresa para suplir la demanda eléctrica correspondiente.

*Tabla 2. 8 Distintos consumos de la empresa según se ha ido incorporando avances tecnológicos. (Fuente: elaboración propia)*

	<i>Levantamiento de carga inicial. [kWh]</i>	<i>Levantamiento de carga después de instalar la tecnología. [kWh]</i>	<i>Levantamiento de carga después de la estimación de crecimiento de carga. [kWh]</i>
Consumo de la empresa	16 057,31	15 882,196	17 470,416

## **2.5 Potencial solar de la región donde se encuentra ubicada la empresa**

Uno de los parámetros a tener en cuenta, a partir de la ubicación de la empresa, para la proyección del sistema fotovoltaico, es el potencial solar registrado en esta región. Se conoce, por estudios previos realizados, que Cuba recibe una radiación solar promedio de más de 5 kWh/ m<sup>2</sup>/día; por lo que, al año se tiene por cada m<sup>2</sup> de superficie 1 825 kWh/m<sup>2</sup>, con una variabilidad aproximada de  $\pm 8 \%$  a lo largo y ancho de la isla, aspecto muy positivo, a diferencia de latitudes mayores. La componente directa de la radiación está entre un 65 % y 80 %, siendo la componente difusa relativamente alta, lo que enriquece el espectro solar en las longitudes de onda del azul.

Además, en estos estudios se ha demostrado que en el territorio nacional con sólo 11 m<sup>2</sup> se puede generar aproximadamente 1 kWp de energía fotovoltaica y al no presentar variaciones significativas la radiación solar de un territorio a otro, se pueden emplear en todas las regiones de la isla los sistemas que aprovechan el potencial solar para la generación de energía eléctrica. Por tanto, con el estudio del potencial solar de la zona donde se encuentra la empresa; se garantiza un adecuado aprovechamiento energético desde la etapa de diseño hasta su puesta en servicio; favoreciendo de esta manera la recuperación económica del sistema en un breve plazo.

Según el Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de nuestro país en la base de recopilación de datos de varadero, se pueden exponer los siguientes datos de radiación solar en la zona determinada en un periodo de tiempo bastante cercano a las condiciones actuales, mostrándolos en la tabla 2.9 y en la figura 2.4 representa de manera

más clara que los meses de verano la radiación solar es mucho mayor que en los meses de invierno. <https://www.citma.gob.cu>

*Tabla 2.9. Radiación solar en la zona determinada. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Meses de año</i>	<i>Radiación solar [kWh/m<sup>2</sup>]</i>
Enero	4,01
Febrero	5,29
Marzo	5,87
Abril	7,08
Mayo	6,52
Junio	5,98
Julio	5,94
Agosto	5,66
Septiembre	5,00
Octubre	4,99
Noviembre	4,07
Diciembre	4,20
Promedio	5,38

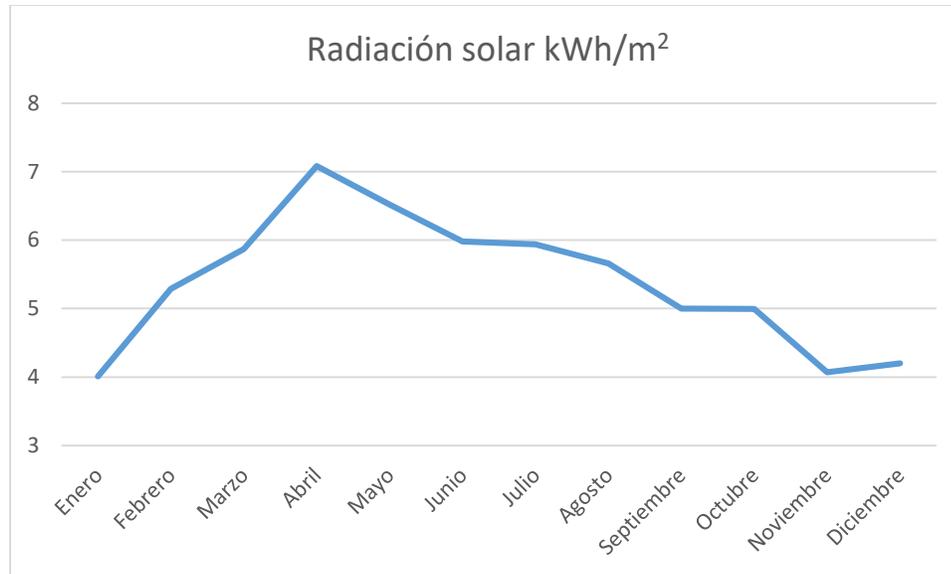


Figura 2. 4 Radiación solar en la zona determinada. (Fuente: elaboración propia)

Estos valores de radiación solar también se pueden estimar a través de métodos de interpolación, tomando los datos que ofrecen las imágenes de satélites meteorológicos y la que ofrece la red heliográfica. Varios trabajos realizados en Cuba, han estado enfocados a la estimación de la radiación mediante imágenes satelitales y otros mediante las cartas heliográficas; todas estas investigaciones han permitido caracterizar las regiones del país que están expuestas a valores máximos de radiación solar.

## 2.6 Subsistema de generación

### 2.6.1 Cálculo de la capacidad de tamaño del panel

Una vez que la demanda energética de la carga es conocida, se está en condiciones de dimensionar el generador fotovoltaico y tomando en cuenta la metodología propuesta por (Garrido Castillo & Morales Quispe, 2019; Marrero Valdivia, 2017).

El número total de módulos fotovoltaicos ( $A_r$ ) que se deben instalar, se puede calcular a partir de la ecuación 2.1.

$$A_r = \frac{P_p \cdot E_d}{e_{panel} \cdot e_{bateria} \cdot I_d} \quad (2.1)$$

Donde:

- $Ar$ : capacidad del módulo fotovoltaico (Wp)
- $Pp$ : potencia proporcionada por el panel [Wp/m<sup>2</sup>] = 0,345
- $Ed$ : Consumo de electricidad (kWh) = 17 470,416
- $e_{panel}$ : eficiencia del panel en condiciones críticas = 0,1
- $e_{batería}$ : eficiencia de la batería = 0,90
- $Id$ : Irradiación (kWh /m<sup>2</sup>/ día) = 4,01 (Se utiliza la irradiación del mes con menor valor puesto que si el sistema de generación trabaja bajo estos valores todo el año sea posible general la demanda dada)

$$Ar = 16\,700,73\,Wp$$

La capacidad del módulo fotovoltaico es de 16 700,73 Wp de generación.

El tamaño de un sistema FV está dado por el Watt Pico (Wp). Esta es la salida máxima de un panel FV bajo condiciones estándar, que son: temperatura ambiente de 25°C y 1000 W/m<sup>2</sup>/día de irradiación.

La fórmula supone una eficiencia del sistema de aproximadamente 9% que se basa en la eficiencia del panel (10%) y la eficiencia de la batería (90%). Otro dato que se asume es la potencia proporcional de los paneles por metro cuadrado de aproximadamente 100 Wp.

En la fórmula anterior, el factor para calcular el tamaño del sistema no es 1000 (que significaría una eficiencia del sistema de 10%) sino 1 200 porque la eficiencia del sistema es siempre un poco más baja que la eficiencia del panel.

Por lo que para los casos de estudio esta fórmula puede ser reducida a la ecuación 2.2

$$Ar = \frac{1\,200 \cdot Et}{Id} \quad (2.2)$$

Donde:

- $Ar$ : Capacidad del módulo fotovoltaico (Wp) = 16 700,73
- $Et$ : Energía real requerida por el sistema (consumo en Wh)
- $Id$ : Irradiación (kWh /m<sup>2</sup>) = 4,01 (Se utiliza la irradiación del mes con menor valor puesto que si el sistema de generación trabaja bajo estos valores todo el año sea posible general la demanda dada)

Mediante esta expresión podemos despejar la energía real requerida por el sistema:

$$Et = 55,81\,KWh$$

La energía real requerida  $ET$ , refleja la energía que el sistema demanda en su conjunto en un día. Para este sistema es de 55,81KWh

## 2.6.2 Selección del panel.

Para satisfacer la demanda eléctrica de la empresa con energía solar fotovoltaica, basado fundamentalmente en una vigilancia tecnológica elemental, el cual se refleja en la tabla 2.10 y guiándonos fundamentalmente por la necesidad de ahorrar presupuesto a la entidad, persiguiendo la mayor relación precio-potencia de generación, así como el dimensionado y el peso; se han seleccionado los módulos fotovoltaicos de silicio policristalino Trina Solar TSM-PE15H de 345W y 144 células que está diseñado para altas necesidades energéticas y ofrece una garantía de 25 años de funcionamiento, en plazo extendido, y de 10 años en plazo mínimo (10 años al 90% y 25 años al 80% de eficiencia del panel, para casos críticos dentro del periodo trabaja al 10%).

*Tabla 2. 10 Estudio de mercado para selección de los módulos fotovoltaicos. (Fuente: Elaboración propia)*

<i>Producto</i>	<i>Potencia de generación [W]</i>	<i>Dimensiones [mm]</i>	<i>Peso [Kg]</i>	<i>Precio [USD]</i>
Trina Solar TSM-PE15H	345	2 024x1 004x35	22,8	417,45
Canadian 330W	330	1 960x992x40	22,4	559,020
JA Solar 345W Mono PERC Half Cell-JAM60S10-345/MR	345	1 689x996x35	18,7	695,099

Estos módulos solares son compatibles con instalaciones de autoconsumo conectadas a la red eléctrica o completamente autónomas para residencias o instalaciones industriales gracias a su calidad y resistencia.

Características principales del panel:

- Alta eficiencia de conversión de módulos hasta el 17,5% mediante el uso de células solares partidas de alta eficiencia.
- Baja degradación y excelente rendimiento baja altas temperaturas y condiciones de poca luz.

- El marco de aluminio robusto garantiza que los módulos soporten cargas de vientos de hasta 2 400 Pa, lo que equivale a 223,1 Km/h. Lo que sostienen huracanes hasta categorías 3 con vientos que llegan a alcanzar 178 Km/h a 210 Km/h.
- Alta confiabilidad contra condiciones ambientales extremas (pasando nieblas de sal, pruebas de amoniaco y granizo).

### 2.6.3 Cálculo de cantidad de paneles a utilizar.

Mediante la ecuación 2.4, ecuación 2.5 y ecuación 2.6 se evaluará la cantidad de paneles que se necesitan para llegar a la potencia demandada.

$$N_{pp} = \frac{Ar}{Pm} \quad (2.4)$$

Donde:

- $Np$ : número de paneles en paralelo
- $Ar$ : Capacidad del módulo fotovoltaico (Wp) = 16 700,73
- $Pm$ : potencia del módulo fotovoltaico (Wp) = 345

$$N_{pp} = 48,4 \approx 49$$

La cantidad de paneles a instalar en conexiones paralelas es 49, pues siempre se deben tomar para la cantidad el número entero mayor al resultado calculado.

$$N_{ps} = \frac{Vns}{Vnp} \quad (2.5)$$

Donde:

- $Nps$ : numero paneles en serie
- $Vns$ : Voltaje nominal del sistema de generación (V) = 48
- $Vnp$ : voltaje nominal del panel solar (V) = 46,30

$$N_{ps} = 1,26 \approx 2$$

La cantidad de paneles a instalar en conexiones en serie son de 2, pues siempre se deben tomar para la cantidad el número entero mayor al resultado calculado.

$$N_{tp} = N_{pp} \cdot N_{ps} \quad (2.6)$$

Donde:

$N_{tp}$ : número total de paneles.

$N_{pp}$ : número de paneles en paralelo.

$N_{ps}$ : numero paneles en serie.

$$N_{tp} = 98$$

La cantidad de paneles fotovoltaicos total a instalar es el total de 98.

## **2.7 Subsistema de almacenamiento**

### **2.7.1 Selección de las baterías.**

Se ha optado por las baterías Tensite AGM DC 12-300. Dentro de las opciones que se muestran en la tabla 2.11. La capacidad nominal de la batería seleccionada es de 300Ah, voltaje nominal 12V CD y de descarga profunda.

Estas baterías no requieren de mantenimiento ni emiten gases, de hecho, es una batería resistente y con una larga vida útil. Por su tecnología interna esta batería está preparada para ser instalada en instalaciones solares fotovoltaicas aisladas de la red con unos consumos moderados.

No requiere mantenimiento pues se trata de una batería sellada monoblock por lo que puede instalarse en lugares de interior con poca ventilación. Se trata también de una batería que por estar fabricada con ABS cuenta con una gran resistencia a las condiciones externas más exigentes y es muy resistente al ácido sulfúrico que almacena en su interior. La cuenta con alta calidad y durabilidad, así como un excelente rendimiento y versatilidad de uso, se trata de una batería muy competitiva en el sector fotovoltaico y con unas características técnicas que resultan muy atractivas en comparación con otras baterías de reconocidos fabricantes. Es el modelo más grande que ofrece Tensite de 12V viene con sus asas para facilitar mover su elevado peso de 67 kilos, a pesar que se recomienda usar medios para evitar lesiones.

La batería tiene en su parte superior los bornes de conexión, siendo el borne rojo el positivo y el borne negro el negativo, ambos con terminales de tornillo F11 en los cuales deberá realizar las conexiones pertinentes a su batería.

*Tabla 2. 11 Estudio de mercado para selección de las baterías. (Fuente: Elaboración propia)*

<i>Producto</i>	<i>Capacidad [Ah]</i>	<i>Dimensiones [mm]</i>	<i>Peso [Kg]</i>	<i>Precio [USD]</i>
Tensite AGM DC 12-300	300	520x268x220	67	375,43
Tensite AGM 12 V 150 Ah	150	407x174x215	33,5	244,01
GEL DG12-160S Ritar 180Ah C100	180	532x207x219	51	227,32

### **2.7.2 Cálculo del número de baterías a utilizar.**

Una vez conocida la demanda de energía eléctrica diaria media es posible calcular la capacidad que requerirá el banco de baterías a diseñar. Uno de los criterios más utilizados es el de Amperios-hora (Ah), ya que es necesario que la batería entregue el voltaje en corriente directa para los inversores.

Por fines prácticos se asumirá lo mínimo recomendable, sin embargo, estará condicionado al conocimiento de los días sin brillo solar de la zona y de acuerdo a lo solicitado por el cliente.

Por lo tanto, la capacidad de la batería se calculará de la manera de la ecuación 2.7.

$$T = \frac{Aut \cdot Et}{Rend \cdot Desc} \quad 2.7$$

Donde:

- *T*: capacidad de la batería.
- *Aut* : (Autonomía-días sin brillo solar) = 2
- *Et* : Energía real requerida por el sistema (consumo en kWh) = 55,81
- *Rend* : (eficiencia de la batería) = 90%
- *Desc* : (eficiencia de la batería) = 80%

$$T = 155,028 \text{ kWh}$$

La capacidad de las baterías es de 155,028 kWh.

El cálculo del número de baterías se hará mediante la ecuación 2.8.

$$N_{bat} = \frac{T}{AH \cdot V} \quad 2.8$$

Donde:

- $N_{bat}$ : cantidad de baterías.
- $T$ : capacidad de la batería = 155 028 Wh.
- $AH$ : amperios-hora = 300 Ah.
- $V$ : voltaje nominal = 12 V.

$$N_{bat} = 43$$

## 2.8 Subsistema de regulación

### 2.8.1 Selección del regulador.

Se ha seleccionado el regulador BlueSolar Victron MPPT 150/100 TR 12-24-48V entre las posibles opciones que se muestran en la tabla 2.12. Estos reguladores permiten una entrada fotovoltaica de hasta 150V.

Tabla 2. 12 Estudio de mercado para selección de los reguladores. (Fuente: Elaboración propia)

<i>Producto</i>	<i>Conexiones</i>	<i>Precio [USD]</i>
BlueSolar Victron MPPT 150/100 TR 12-24-48V	MPPT	980,00
BlueSolar Victron MPPT 100/15 TR 12-24V	MPPT	403,26
BlueSolar Victron MPPT 75/15 TR 12-24V	MPPT	112,87

Los puertos CAN bus permiten conectar y sincronizar hasta múltiples reguladores (hasta 25) en una misma instalación. Dotado de un seguimiento de MPPT de máxima velocidad y rendimiento máximo que supera el 98%. Posee conexión bluetooth de serie que permite supervisar, configurar y actualizar el regulador desde un teléfono inteligente o desde una tableta de una forma sencilla e intuitiva.

Tiene además la opción de poder programar todos los parámetros de carga según su necesidad. Lo que permite configurarlos para baterías de diferentes tipos.

Tiene incorporado una salida relé que se puede utilizar para programar una alarma u otros eventos.

### 2.8.2 Cálculo del número de reguladores a utilizar.

Para el cálculo del regulador de carga se consideró la corriente máxima que entrega el generador fotovoltaico, de forma que se escoja un regulador de carga capaz de asumir esa corriente para asegurar que la pérdida de eficiencia que el regulador sufre con el tiempo no afecte el sistema, puede aplicarse un factor de seguridad por capacidad y temperatura.

Para el dimensionado de los reguladores se debe tener en cuenta un margen de seguridad tal que entre la potencia máxima producida por el campo fotovoltaico y la potencia máxima del regulador haya un margen aproximado de 10 %. El número de reguladores se puede obtener mediante la ecuación 2.9

$$N_{reg} = \frac{N_{pp} \cdot I_p + (N_{pp} \cdot I_p \cdot F_{ms})}{I_{reg}} \quad 2.9$$

Donde:

- $N_{reg}$ : número de reguladores
- $N_{pp}$ : número de paneles fotovoltaicos en paralelo = 54 módulos
- $I_p$ : la corriente máxima del panel fotovoltaico = 9,62 A
- $F_{ms}$ : factor de margen de seguridad = 10% = 0,01
- $I_{reg}$ : corriente máxima del regulador = 250 A.

$$N_{reg} = 1,9 \approx 2$$

La cantidad de reguladores a instalar en el sistema de la pequeña central fotovoltaica es dos, lo cual es permitido pues este tipo de reguladores, admite que sean conectados más de uno en el mismo circuito.

## 2.9 Subsistema de acondicionamiento de potencia

### 2.9.1 Selección del inversor

El inversor String Multi-MPPT SG33/40/50CX (48/50 000) de 48 V CD/ 250V CA, 50 000 W, 50-60 HZ, y una eficacia de 98,7 %, sería el más adecuado para el sistema. Pues ha sido seleccionado entre una gama de inversores que se presentan en la tabla 2.13.

*Tabla 2.13 Estudio de mercado para selección de los inversores. (Fuente: Elaboración propia)*

<i>Producto</i>	<i>Gama de potencia [W]</i>	<i>Precio [USD]</i>
String Multi-MPPT SG33/40/50CX	50 000	4 531,8
Three Phase Grid-connected SI-4-12K-T2	4 400	416,83
SUN-3.6/5/677.6/8K-SG05LP1-EU	3 600	883,17

### 2.9.2 Cálculos del número de inversores a utilizar.

En inversores autónomos los parámetros utilizados para el dimensionamiento son la tensión nominal de entrada, y la potencia nominal. Para la potencia nominal del inversor se aplica el criterio de que las sumas de todas las potencias de los receptores puedan funcionar de forma simultánea no sobre o pase dicha potencia nominal. La tensión de entrada en el inversor de una instalación fotovoltaica no siempre será constante, el inversor debe ser capaz de convertir distintas tensiones continuas dentro de un determinado rango.

Para dimensionar el inversor se tiene en cuenta la potencia que demanda la carga en corriente alterna (CA), de forma que se seleccione un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demanda eléctrica de la carga. Se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para tratar de hacerlo trabajar en la zona donde presenta mejores eficiencias. Es muy poco probable que todas las cargas eléctricas funcionen al mismo tiempo, asumiendo el caso crítico, es recomendable considerar un factor de simultaneidad 100 %. La potencia del inversor se determinó con la ecuación (2.10).

$$P_{inv} = P_{ca} \cdot F_s \quad 2.10$$

Donde:

- $P_{inv}$ : potencia del inversor
- $P_{ca}$ : potencia de las cargas en corriente alterna=38 237,65
- $F_s$ : factor de simultaneidad=100%=1

$$P_{inv} = 38\,237,65\text{ W}$$

Los cálculos se realizaron con la ecuación (2.11) para conocer la cantidad de inversores.

$$N_{inv} = \frac{P_{inv}}{P_{ninv}} \quad 2.11$$

Donde:

- $N_{inv}$ : número de inversores
- $P_{inv}$ : potencia del inversor = 38 237,65 W
- $P_{ninv}$ : potencia nominal del inversor = 50 000 W

$$N_{inv} = 0,76 \approx 1$$

La cantidad de inversores a instalar en el sistema de la pequeña central fotovoltaica es solamente de uno. Porque la gama de potencia que soporta este inversor soporta la carga que generan los módulos de la central fotovoltaicas.

## **2.10 Análisis de los parámetros que inciden en la posición de los módulos fotovoltaicos.**

Un parámetro fundamental a tener en cuenta en el diseño de los sistemas fotovoltaicos es el ángulo de inclinación de los módulos. Cuando este se modifica, cambia a su vez la proyección de la sombra en las filas de módulos; una inclinación mayor trae consigo una proyección de sombra mayor de una fila sobre otra y por ende una inclinación angular menor proyecta una sombra de menor magnitud. La probabilidad de que exista sombra entre las filas en verano es mucho menor, ya que el recorrido del Sol es más alto, y, por tanto, la sombra proyectada del obstáculo que haya delante es más pequeña.

Para el diseño de los SFVCR, en algunas ocasiones por falta de espacio hay que disponer de varias filas de paneles, o debido a algún obstáculo, hay que dejar una distancia mínima para evitar la pérdida de producción por el efecto del sombreado.

El ángulo de inclinación para el diseño del sistema solar fotovoltaico coincide con la latitud del lugar. Este es un parámetro fundamental en el proyecto de la pequeña central fotovoltaica, pues a partir del mismo se determina la distancia óptima entre las filas de módulos fotovoltaicos con el fin de garantizar la menor afectación a la generación de energía originada por el sombreado de los módulos.

La distancia, medida sobre la horizontal, que se debe dejar; viene marcada por la latitud del lugar de instalación, ya que en función de este parámetro varía el ángulo de incidencia solar. Esta distancia deberá garantizar un mínimo de cuatro horas de Sol en torno al mediodía del solsticio de invierno.

Para esto es necesario conocer la ubicación, lo más precisa posible, del lugar donde se pondrán las instalaciones. La cual para nuestra empresa son las coordenadas siguientes:

Ubicación de la empresa:

- 23°06'18" latitud Norte
- 81°16'48" longitud Oeste

Para lograr lo antes mencionado se utilizan las expresiones matemáticas (2.12), (2.13) y (2.14) para calcular la separación óptima entre filas para un ángulo de inclinación determinado.

$$L = \cos(\alpha) \cdot \beta \quad 2.12$$

Donde:

$L$ : proyección normal del panel sobre la horizontal en metros.

$\alpha$ : ángulo de inclinación (23°).

$\beta$ : longitud del módulo FV (1,004 m).

$$L = 0,9241$$

$$h = \sin(\alpha) \cdot \beta \quad 2.13$$

Donde:

$h$ : altura del módulo FV

$\alpha$ : ángulo de inclinación (23°).

$\beta$ : longitud del módulo FV (1,004 m).

$$h = 0,392$$

$$d = k \cdot h \tag{2.14}$$

Donde:

$d$ : distancia mínima entre los módulos FV en metros.

$k$ : es un factor que depende de la latitud del lugar y se determina por la ecuación 2.15.

$h$ : altura del módulo FV

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \tag{2.15}$$

$$k = 1,281$$

$$d = k \cdot h$$

$$d = 0,502 \approx 0,51$$

De esta manera la distancia mínima entre los que se deben instalar los módulos de la central fotovoltaica es de 0,51m.

## 2.11 Área a instalar

A partir de esta distancia mínima entre filas, se determinó la cantidad de módulos a instalar en las áreas destinadas en la entidad para la creación de la central fotovoltaica. Para esto se tiene en cuenta una serie de aspectos a tener en cuenta los cuales se muestran en la tabla 2.14

*Tabla 2. 14 Aspectos a tener en cuenta para el cálculo del área a instalar. (Fuente: elaboración propia)*

Dimensiones del panel	2 024x1 004x35mm
Espacio perimetral	0,50m
Distancia mínima entre paneles de una misma fila	0,05m
Filas	2u
Paneles en paralelo	49u
Distancia mínima entre filas	0,51m

El dimensionado crítico a instalar de la estructura fotovoltaica consta de aproximadamente 102m de longitud, 3m de ancho y un área de 306m<sup>2</sup>. estos datos sumados con el espacio perimetral de 0,5m a todo lo largo y ancho de la instalación nos proporciona unos valores nuevos los cuales podemos ver reflejados en la tabla 2.15.

*Tabla 2. 15 Valores reales del dimensionado de la instalación. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Longitud (m)</i>	103
<i>Ancho (m)</i>	4
<i>Área (m<sup>2</sup>)</i>	412

### **Conclusiones parciales del capítulo.**

Al conocer el potencial solar de la ubicación de la Empresa EMPERCAP, el posicionamiento e inclinación de los módulos, las particularidades de las cargas y realizar el estudio de eficiencia energética de la instalación, podemos plantear que:

- El consumo de la entidad era de unos 16 057,31KWh mensuales, con cambios en la tecnología se puede reducir a 15 882,196 KWh, resultando en un ahorro de 175,114 KWh.
- El potencial solar sobre el plano inclinado de la ubicación de la empresa EMPERCAP es de 5,38 kWh/m<sup>2</sup>, pero es mayor que el de los meses más desfavorables por lo que se debe trabajar con la radiación del mes de enero que en los últimos años ha demostrado ser el mes con menor radiación la cual es de 4,01 kWh/m<sup>2</sup>.
- Los equipos a utilizar son en total 98 paneles fotovoltaicos de silicio policristalino Trina Solar TSM-PE15H de 345W y 144 células. Las baterías a utilizar son 43 baterías AGM DC 12-300. La capacidad nominal de la batería seleccionada es de 300Ah, voltaje nominal 12V CD y de descarga profunda. Los reguladores que se seleccionaron son 2 reguladores MPPT Victron 150/100 TR 12-24-48V. El

inversor tomado para el caso de estudio es un inversor String Multi-MPPT SG33/40/50CX (48/50 000).

- El área total de la instalación de los paneles solares fotovoltaicos es de 452 m<sup>2</sup> .

### CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este capítulo tiene como objetivo realizar un resumen de las características generales del sistema de generación. Además, se dispondrá de la conclusión si es posible o no instalar dentro del área de techo de la empresa el sistema de generación fotovoltaico completo. Se realizarán los análisis ambientales y económicos para el sistema de generación.

#### 3.1 Área brindada por la empresa para la instalación del sistema.

Las zonas destinadas para la colocación de los paneles fotovoltaicos es el techo de la azotea del edificio principal donde se encuentran las oficinas a las cuales se les prestará servicio. Esta área es mostrada en la figura 3.1.



*Figura 3.1 Muestra del área destinada por la empresa para la instalación del sistema.*

*(Fuente: elaboración propia)*

Esta zona determinada posee características las cuales se pueden ver en la siguiente tabla 3.1.

*Tabla 3. 1 Características estructurales de la azotea. (Fuente: elaboración propia)*

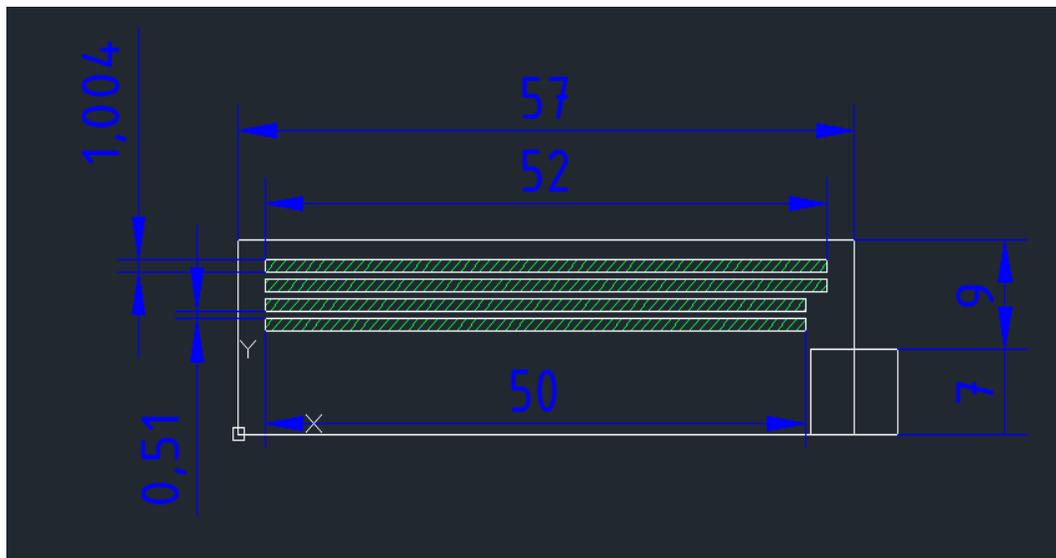
<i>Perímetro [m]</i>	153
<i>Área [m<sup>2</sup>]</i>	852

Comparando los datos de área que la empresa brindó para la implementación de la infraestructura de los paneles fotovoltaicos, y la antes calculada que es el espacio que ocupa de forma real la estructura, la instalación de los módulos es viable esta comparación podemos verla en la tabla 3.2.

*Tabla 3. 2 Comparación de los resultados de área. (Fuente: elaboración propia)*

	Área [m <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	Ancho [m]
Área destinada por la empresa para la instalación de la estructura fotovoltaica.	852	57	16
Área real para la instalación de la estructura fotovoltaica.	412	103	4

La longitud de la instalación real no concuerda con la longitud de la central instalando solamente dos filas. El área necesaria es extensa, por lo que hay que solamente ajustar la distribución recortando la longitud en la mitad y montando cuatros filas, quedando distribuidos sobre la azotea como se muestra en la figura 3.2.



*Figura 3.2 Distribución sobre la azotea de la central fotovoltaica. (Fuente: elaboración propia)*

### 3.2 Cálculo ecológico de la central fotovoltaica de la empresa EMPERCAP.

El auge de las tecnologías alternativas para la generación de energía eléctrica ha contribuido en la reducción del uso de los combustibles fósiles para producir la misma. Estos usos de los combustibles fósiles tienen marcadas altas tendencias negativas en la contaminación ambiental.

La quema de los mismos produce una elevada contaminación pues inyecta al medio ambiente una fuente alta de gases que provocan el efecto invernadero, ver figura 3.3, dañando la capa de ozono y contaminando fuertemente la atmósfera, además de provocar lluvias ácidas y daños directos a los ecosistemas en los cuales se encuentran instaladas las estructuras que por una razón u otra queman combustibles. Aunque el CO<sub>2</sub> es el mayor contaminante de todos y es el que más preocupa para nuestro planeta, por tanto, el estudio de la penetración de esta tecnología en la matriz energética nacional resulta de interés dada la reducción de CO<sub>2</sub> que la misma representa en la gestión energética.

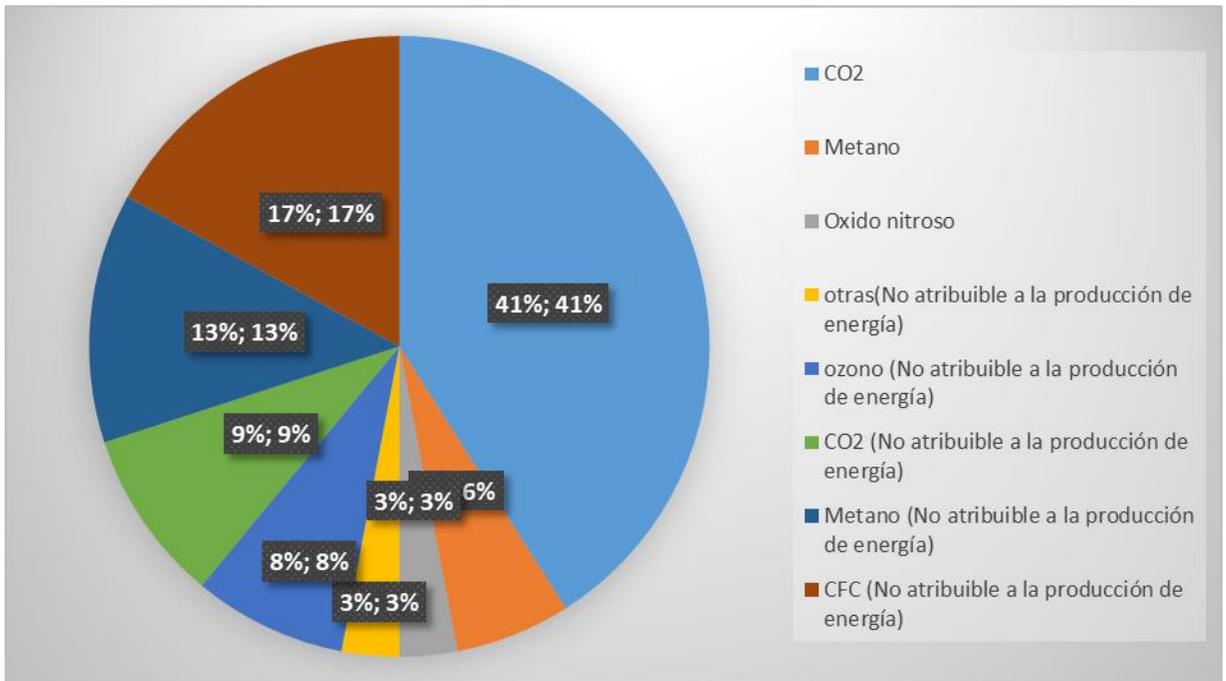


Figura 3.3 Porcentaje actual de gases que provocan el efecto invernadero. (Fuente: elaboración propia)

Para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> que se dejan de emitir a la atmósfera se debe partir del combustible que se ahorra en la generación de energía con paneles solares. Este ahorro se calcula mediante la ecuación 3.1.

$$\text{combustible ahorrado} = \frac{E \cdot g}{1\ 000} \quad (3.1)$$

Donde:

- *E*: energía generada en kWh/año.
- *g*: consumo específico ponderado de combustible para la generación en el país 253 g/kWh.

$$\text{combustible ahorrado} = 18\ 733,1\ \text{g/año}$$

Esto lo podemos traducir además a:

$$\text{combustible ahorrado} = 70\ 904,78\ \text{l/año}$$

$$\text{combustible ahorrado} = 70,9\ \text{T/año}$$

Una vez calculadas las toneladas de petróleo ahorradas, entonces se puede hallar la cantidad de CO<sub>2</sub> dejado de emitir a la atmósfera mediante la ecuación 3.2.

$$CO_2 = \frac{\text{Combustible ahorrado} \cdot k}{\rho} \quad (3.2)$$

Donde:

- *k*: coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas a la atmósfera, que es igual a 3,119 kg/l.
- *ρ*: densidad del combustible, que es igual a 0,9781 kg/l.

$$CO_2 = 226\ 103,68\ \text{l/año}$$

Esto se puede traducir además en:

$$CO_2 = 226,1\ \text{T/año}$$

Se dejarán de emitir a la atmósfera 226,1 T/año CO<sub>2</sub>, este valor evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del SFVCR.

### 3.3 Análisis Económico de los SFVCR en la Empresa EMPERCAP.

Para la realización de cualquier tipo de proyecto es de vital importancia la ejecución de un análisis técnico-económico que ponga en evidencia la viabilidad del mismo en un futuro a

corto, mediano o largo plazo. Por tanto, se procede a calcular los costos y beneficios de la instalación con el propósito de determinar cuán viable será la ejecución de dicho proyecto, desde el punto de vista económico.

### 3.3.1 Costo de los equipos a utilizar en la estructura fotovoltaica.

Para seleccionar los costos se hizo una profunda búsqueda en varias plataformas que se dedican a la venta de estos equipos la tabla 3.3 brinda una perspectiva de los precios que tienen hoy en día los diferentes equipos a instalar.

*Tabla 3. 3 Precios de los equipos. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Equipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo [USD]</i>	<i>Costo [€]</i>	<i>Total [USD]</i>	<i>Total [€]</i>	<i>Total [MN]</i>
Paneles: Trina Solar TSM-PE15H	98	413,32	417,45	40 505,36	40 910,1	972 128,64
Baterías AGM DC 12-300	43	371,71	375,43	15 983,53	16 143,49	383 604,72
Regulador MPPT Victron 150/100 TR 12-24-48V	2	970,30	980,00	1 940	1 960	46 560
Inversor String Multi-MPPT SG33/40/50CX (48/50000)	1	4 486,93	4 531,8	4 486,93	4 531,8	107 686,32
Coste Mínimo de la instalación	-	55,9	56,5	55,9	56,5	1 341,6
Total	-	-	-	62 971,72	63 601,89	1 511 321,28

### 3.3.2 Tarifa eléctrica aplicada a la empresa EMPERCAP.

La empresa en cuestión se rige por un plan de pago de tarifa eléctrica que es la M1-C, la cual según la gaceta oficial de la república de Cuba plantea que:

M1-C. TARIFA DE MEDIA TENSIÓN CON MEDICIÓN DE UN REGISTRO.

APLICACIÓN: Se aplica a todos los servicios de consumidores clasificados como de Media Tensión con equipo de medición de un registro.

\$ 94.00 mensual por kW de máxima demanda contratada en cualquier período del día.

Por cada kWh consumido en cualquier momento del día:

$(1.6725 \text{ \$/kWh} * K + 0.8595 \text{ \$/ kWh}) * \text{Consumo en cualquier momento kWh}$

Para el cálculo de la facturación del cargo fijo mensual, se considera:

- El valor de demanda máxima contratada es en cualquier período del día.
- De no contarse con la medición de la demanda máxima, esta se considera como el noventa por ciento (90 %) de la capacidad en kVA del banco de transformadores que alimenta el servicio, por lo que no habrá penalizaciones por exceso de la demanda máxima.
- Si la demanda máxima registrada es mayor que la demanda máxima contratada, se factura la contratada al precio de la tarifa y el exceso al triple de su valor, \$ 282,00 por cada kW.
- Solo se permite contratar dos valores de demanda al año por períodos no menores de tres meses a los consumidores cíclicos.
- Se aplican el Factor de potencia y el Factor K.

Mediante esta tarifa eléctrica podemos realizar los cálculos pertinentes a costos beneficios de la instalación de la estructura fotovoltaica. <https://www.gacetaoficial.gob.cu>

### 3.3.3 Cálculo costo-beneficios

Un parámetro a evaluar es el monto total en dinero que se ahorrará, una vez que el sistema se ponga en marcha. Este indicador se puede calcular de dos maneras básicamente, a partir del ahorro de combustible, para lo cual se necesita conocer el precio del combustible que se utiliza en la generación durante el tiempo en el que el SFVCR se encuentra en

funcionamiento. Este parámetro en el caso de Cuba dada a la gran diversidad de generadores y tipos de combustibles utilizados para la generación de electricidad en el tiempo que los sistemas fotovoltaicos trabajan hacen que el precio se convierta en un valor ponderado, que depende de los diferentes tipos de combustibles y su porcentaje de utilización.

La segunda variante para calcular el ahorro en dinero es a partir del precio del MWh servido, que no es más que el valor que tiene llevar 1 MWh hasta la subestación de entrada de los clientes. Este valor multiplicado por la energía que generarán los sistemas fotovoltaicos daría el ahorro que se tendrá en el concepto de Costo Evitado, al no consumir energía del SEN. Teniendo en cuenta que el dato más accesible ha sido el costo del MWh servido, que se encuentra entre 0,22 y 0,26 \$/kWh, se utilizará este segundo método para obtener el ya mencionado ahorro de combustible. Para la realización de esta investigación se toma el valor que representa el mayor costo de la energía, 0,26 \$/kWh, ya que en el último año ha sido difícil conseguir el combustible para el país y la tendencia futura es que se vuelva más complicado obtenerlo. A partir de este valor se puede llegar a expresar matemáticamente mediante la ecuación 3.3 el total de capital ahorrado en moneda total (\$).

$$ACA = ET(SFVCR) \cdot CMWhs \quad 3.3$$

Donde:

- *ACA*: ahorro de capital anual: USD
- *ET(SFVCR)*: Es la energía total generada por el SFVCR en kWh/año o MWh/año.
- *CMWhs*: Es el costo del MWh servido o kWh servido en \$/MWh o ctvs. /kWh respectivamente.

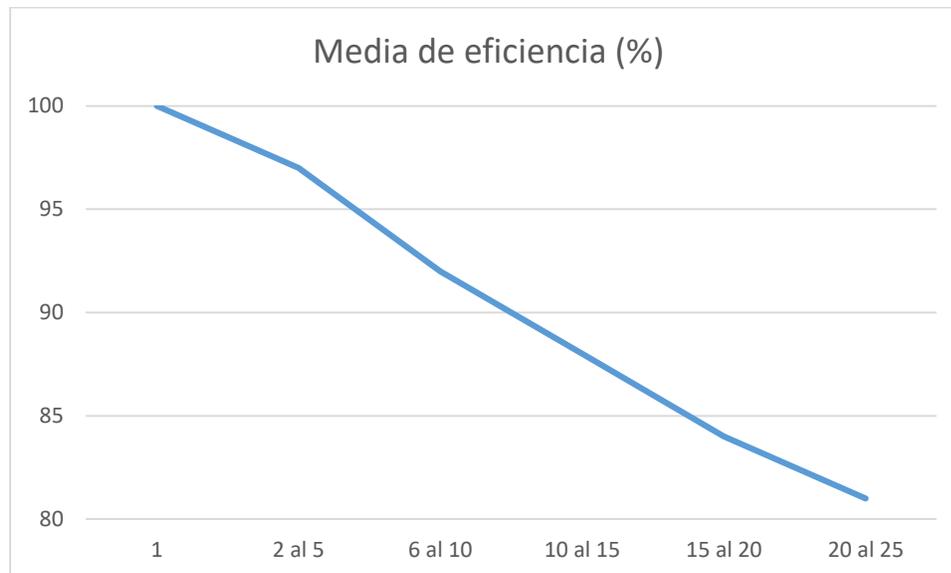
$$ACA = 19\,251,414$$

La instalación de la pequeña central fotovoltaica da un ahorro capital anual de 19 251,414 USD.

### 3.3.4 Comportamiento de la eficiencia de los módulos solares.

El módulo fotovoltaico seleccionado presenta una vida útil de 25 años, disminuyendo con el paso de tiempo la eficiencia de generación, pero su fabricante garantiza una pérdida de

la eficiencia más demorada que otras industrias. Por lo tanto, en concepto de energía generada se verá una pequeña afectación con el paso de los tiempos. Como se puede apreciar en la figura 3.4.



*Figura 3.4. Afectación con el paso del tiempo de la generación del módulo fotovoltaico.  
(Fuente: elaboración propia)*

*Tabla 3. 4 Comportamiento de la eficiencia de los paneles. (Fuente: elaboración propia)*

<i>Período [años]</i>	<i>Media de eficiencia [%]</i>	<i>Beneficios por período [USD]</i>
1	100	19 251,41
2-5	97	74 695,47
6-10	92	88 556,49
11-15	88	84 706,20
15-20	84	80 855,92
20-25	81	77 968,21
Total		426 033,7

Los beneficios por períodos, que se muestran tabla 3.4, son calculados previamente multiplicando el ahorro del capital anual por los períodos de años, y por la eficiencia de los módulos durante esos años. A su vez, sumados todos esos valores se obtiene un beneficio total por concepto de ahorro de capital de unos 426 033,7 USD para 25 años de vida útil.

Con este resultado y el costo total se puede determinar la relación Costo-Beneficio del sistema fotovoltaico mediante la ecuación 3.4.

$$C - B = \frac{CI}{B} \quad 3.4$$

Donde:

- C-B: Relación costo-beneficio.
- CI: costo de la inversión
- B: beneficios

$$C - B = 0,14$$

Este resultado de la relación costo-beneficio ( $RCB < 1$ ) demuestra la rentabilidad y viabilidad de la aplicación de un sistema de este tipo, utilizando como concepto de beneficio solo la energía dejada de consumir del Sistema Electroenergético Nacional, por lo cual se demuestra la oportunidad que tienen las empresas del país para ahorrar energía, y así, disminuir considerablemente el consumo de combustibles fósiles para la obtención de electricidad.

### **3.3.5 Análisis del costo del kWh generado por el SFVCR de la Empresa EMPERCAP.**

Determinar el costo del kWh generado por el parque solar resulta útil a la hora de comparar con la generación de energía por medio de la quema de combustibles fósiles, que en Cuba es de 0,26 USD/kWh. Para calcular dicho costo se usa la siguiente ecuación 3.5.

$$CV_{\text{útil}} = \frac{CT}{P_{\text{evu}}} \quad 3.5$$

Donde:

- $CV_{\text{útil}}$ : costo del kWh generado durante el tiempo de vida útil (\$/kWh o \$/MWh).
- $CT$ : costo total del SFV (\$).
- $P_{\text{evu}}$ : productividad energética durante el tiempo de vida útil del sistema (kWh), o sea, energía generada en el tiempo de vida útil.

Con el resultado del costo total de \$62 971,72; y la productividad energética durante el tiempo de vida útil del sistema, se puede obtener que, la productividad energética del parque solar en el período de vida útil de 25 años será de 1 851,098 MWh.

$$CV_{\text{útil}} = 0,034$$

El costo del kWh generado por el sistema fotovoltaico es de 0,034 \$/kWh, muy inferior a los 0,26 \$/kWh que se gasta en Cuba como resultado de la generación obtenida por la quema de combustibles fósiles. Con una diferencia de 0,226 \$/kWh, lo que significa un ahorro sustancial para el país en materia de costos de generación.

### 3.4 Tiempo de retorno de la inversión.

El tiempo de retorno de la inversión, es otro factor importante a tener en cuenta, el mismo se calcula partiendo del costo total menos los beneficios monetarios del primer año, y luego el resto menos los beneficios del segundo año, y así sucesivamente. Los resultados se pueden apreciar en la figura 3.5.

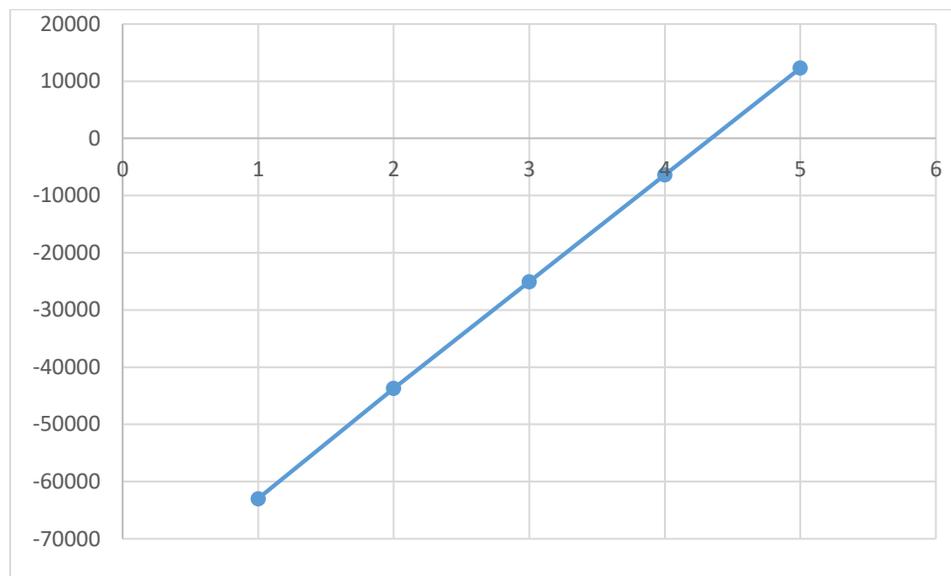


Figura 3.2. Recuperación de la inversión inicial. (Fuente: elaboración propia)

Como se observa en la anterior figura, ya en el año 5 de la inversión se comienzan a obtener los primeros beneficios en materia de dinero, o sea, lo que se dejaría de pagar a la empresa eléctrica por concepto de consumo de electricidad si la instalación fuera capaz de asumir

el 100% de este. En cualquier otro caso, la disminución del consumo de electricidad procedente del Sistema Electroenergético Nacional sería considerable.

### **3.5 Conclusiones parciales del capítulo.**

Se consideraron los requisitos mínimos de diseño para la central fotovoltaica del capítulo anterior y al ejecutar el análisis de viabilidad económica y medio ambiental, se llega a las siguientes conclusiones:

- El área permitida por la empresa es viable para la instalación de la central fotovoltaica que se da como variante.
- Si se procede a la instalación de esta central se dejarán de quemar como mínimo 13,023 toneladas de combustible fósil al año
- No se emitirán a la atmósfera en un año 41,5 toneladas de dióxido de carbono .Por lo tanto, desde el punto de vista ambiental también es viable este proyecto.
- La diferencia en el costo de producción del kWh generado por medio de estas centrales solares es de \$ 0,226, en moneda total, con respecto al costo del kWh generado con el empleo de combustibles fósiles que es de 0,26 \$/kWh.
- El análisis costo-beneficio da un valor de 0,14, inferior a 1 demostrándose la factibilidad de la inversión.
- La inversión correspondiente se comienza a recuperar a partir del 5 año después que se instalen.

## CONCLUSIONES

Para realizar este trabajo se llevó a cabo un levantamiento de cargas en EMPERCAP, lo que permitió desarrollar un estudio de eficiencia energética, con el fin de establecer medidas en los equipos de iluminación de la empresa que pueden reducir el consumo anual de la entidad. Después de realizado el estudio se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Los diferentes equipos a utilizar en la central fotovoltaica propuesta son: los paneles fotovoltaicos a utilizar son en total 98, del tipo silicio policristalino Trina Solar TSM-PE15H de 345W y 144 células. Las baterías a utilizar son 43 baterías AGM DC 12-300. La capacidad nominal de la batería seleccionada es de 300Ah, voltaje nominal 12V CD y de descarga profunda. Los reguladores que se seleccionaron son 3 reguladores MPPT Victron 150/100 TR 12-24-48V. El inversor tomado para el caso de estudio es un inversor String Multi-MPPT SG33/40/50CX (48/50 000).
2. El área total de la instalación de los paneles solares fotovoltaicos es de 412 m<sup>2</sup>, con una longitud final de 52m y un ancho de aproximadamente 8m después de la reestructuración que se realizó para que se acoplaran a la estructura del techo de la empresa.
3. Si se procede a la instalación de esta central se dejarán de quemar como mínimo 13,023 toneladas de combustible fósil al año. No se emitirán a la atmósfera en un año CO<sub>2</sub>=41,5 toneladas de dióxido de carbono al año. Por lo tanto, desde el punto de vista ambiental también es viable este proyecto.
4. La diferencia en el costo de producción del kWh generado por medio de estas centrales solares es de \$ 0,226, en moneda total, con respecto al costo del kWh generado con el empleo de combustibles fósiles que es de 0,26 \$/kWh. El análisis costo-beneficio da un valor de 0,14, inferior a 1 demostrándose la factibilidad de la inversión. La inversión correspondiente se comienza a recuperar a partir del 5 año después que se instalen.

## **RECOMENDACIONES**

A partir de los estudios realizados en este trabajo de diploma se pueden ofrecer las siguientes recomendaciones;

1. Realizar el estudio del sistema de protección contra descargas atmosféricas, vientos en tiempos normales, así como vientos en temporada ciclónica, de la instalación, igualmente el análisis del diseño del sistema de puesta de tierra.
2. En caso de encontrarse en perfecto estado el sistema de puesta de tierra realizar la conexión de las centrales diseñadas en el trabajo de diploma para la protección de las mismas.
3. Realizar el estudio de aportación al sistema eléctrico nacional del excedente en caso de que exista.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*. SAPT Publicaciones Técnicas, SL.
- Algarin, C. R., & Álvarez, O. R. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(10).
- Arrastía, M. A., Corp S. (2013) *Energía, el invencible Dios Sol*.
- Batista Silva, J. L. (2016) *Evaluación de los recursos hídricos de Cuba*.
- Díaz-Rodríguez, J., Pabón-Fernández, L., & Pardo-García, A. (2012). Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. *Lámpsakos* (7), 69-77.
- Chakraborty, S., Sadhu, P. K., y Pal, N. (2015). Technical mapping of solar PV for ISM—an approach toward green campus. *Energy Science and Engineering*.  
<https://doi.org/10.1002/ese3.65>
- Garrido Castillo, J. E., & Morales Quispe, M. Y. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la demanda eléctrica del centro de salud magllanal, Jaén–Cajamarca*.
- ISO (2018) *Energy management Systems-Requirements with guidance for use*, Norma ISO 50001:2018, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)
- ISO (2012) *Energy Audits*, norma ISO 50002:2012, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)
- ISO (2012) *Conformity assessment — Requirements for bodies providing certification audits of energy management systems audits and auditor competency*, norma ISO 50003:2012, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)  
<http://isotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc242>
- ISO (2012) *Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system*, norma ISO 50004:2012, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)  
<http://isotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc242>
- ISO (2012) *Measurement and Verification of Organizational Energy Performance — General Principles and Guidelines*, norma ISO 50005:2012, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)

ISO (2012) Measuring Energy Performance using Energy Baselines and Energy Performance Indicators — General Principles and Guidance, norma ISO 50006:2012, Organización Internacional de Normalización (ISO), Ginebra (Suiza)

<http://isotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc242>

Lamigueiro, O. P. (2013). Energía solar fotovoltaica. Creative Commons ebook. España. 192pp.

Mesa, L. A., Sanabria, C. A., y Perez, W. J. (2016). Diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para una institución educativa rural en el municipio de Páez-Boyacá, 10.

Mewes, D., Monsalve, P., Gustafsson, I., Hasan, B., Palén, J., Nakakido, R., ... Österlund, B. (2017). Evaluation Methods for Photovoltaic Installations on Existing Buildings at the KTH Campus in Stockholm, Sweden. Energy Procedia, 115, 409-422.

Marrero Valdivia, A. (2017). *Control de paneles solares fotovoltaicos*. Universidad "Central" Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería ...,

Priddle, R. (2019). Energía y desarrollo sostenible. IAEA Bulletin, 41(1), 2-6.

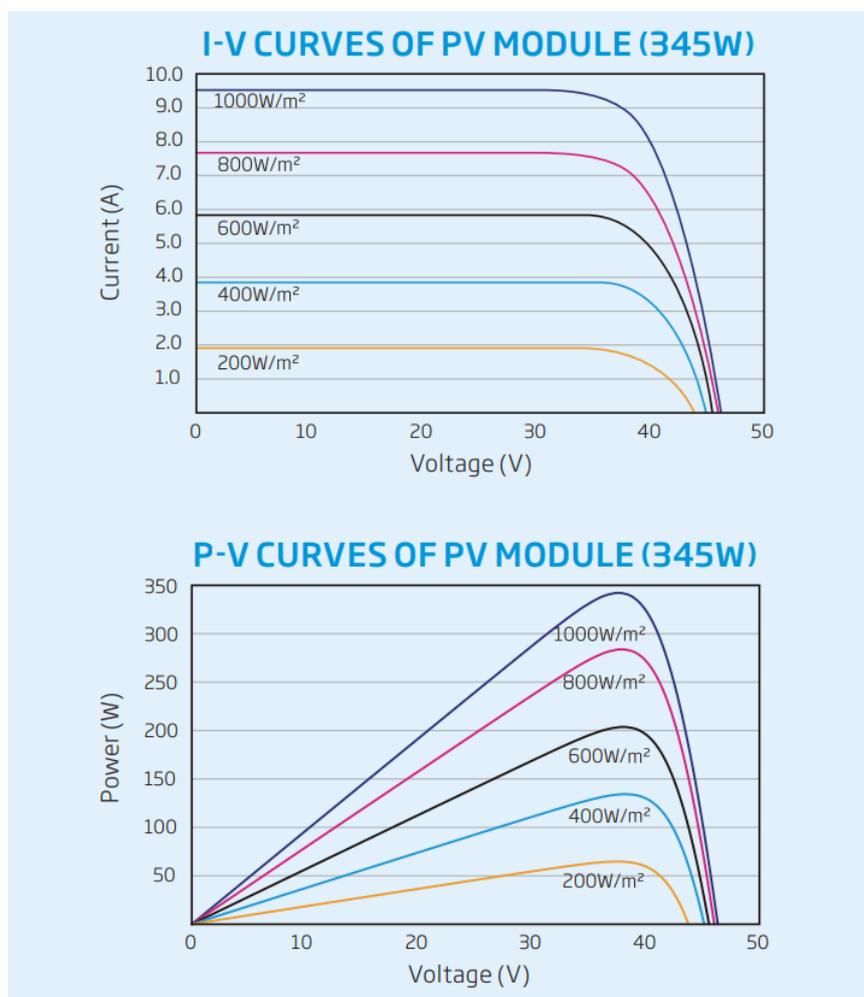
Puig, P., & Jofra, M. (2009). Energías renovables para todas “Solar fotovoltaica. Energías Renovables (revista).

Rasero, C. M. (2011) Energía solar fotovoltaica. Energía solar fotovoltaica, situación actual, 4.

Rodríguez, J. A. S., & Soler, P. A. B. (2007). Estado y perspectivas de las energías renovables en Cuba. Tecnología Química, 27(3), 75-82.

Rodríguez, M. a., Domínguez, J., Prados, M. a. J., & Vázquez, A. (2011) Estudio de potencial energético renovable en la isla de Cuba.

## ANEXOS



**Anexo 1:** Gráficas de las características técnicas del panel fotovoltaico modelo Trina Solar TSM-PE15H.

ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-340 PE15H	TSM-345 PE15H	TSM-350 PE15H	TSM-355 PE15H
Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	340	345	350	355
Power Output Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Maximum Power Voltage- $U_{MPP}$ (V)	37.5	37.7	37.9	38.1
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.06	9.15	9.23	9.32
Open Circuit Voltage- $U_{OC}$ (V)	46.2	46.4	46.7	47.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.53	9.62	9.71	9.81
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	16.7	17.0	17.2	17.5

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5  
\* Measuring tolerance: ±3%

ELECTRICAL DATA @ NMOT	TSM-340 PE15H	TSM-345 PE15H	TSM-350 PE15H	TSM-355 PE15H
Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	257	261	265	269
Maximum Power Voltage- $U_{MPP}$ (V)	35.5	35.7	35.9	36.1
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	7.24	7.31	7.37	7.45
Open Circuit Voltage- $U_{OC}$ (V)	43.5	43.7	44.0	44.2
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	7.69	7.76	7.83	7.91

NMOT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

#### MECHANICAL DATA

Solar Cells	Multicrystalline
Cell Orientation	144 cells (6 x 24)
Module Dimensions	2024 × 1004 × 35 mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Cable 4.0mm <sup>2</sup> , Portrait: N 140mm/P 285mm, Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm
Connector	TS4

#### TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C (±3K)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	- 0.38%/K
Temperature Coefficient of $U_{OC}$	- 0.31%/K
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.05%/K

#### PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box:	30 pieces
Modules per 40' container:	660 pieces

#### WARRANTY

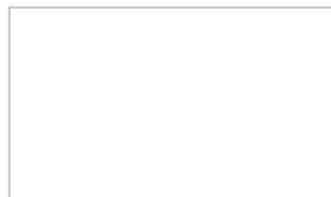
10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Performance Warranty

(Please refer to product warranty for details)

#### MAXIMUM RATINGS

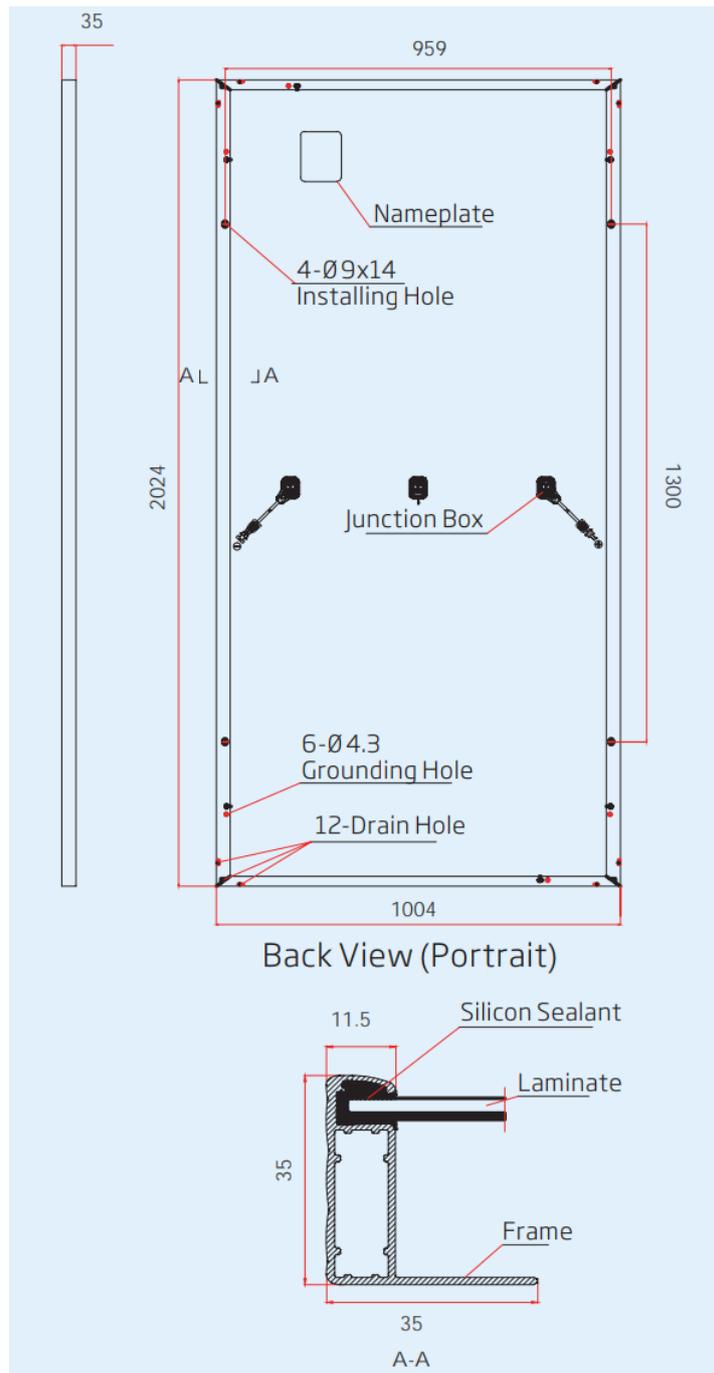
Operational Temperature	-40 to +85°C
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC) 1500VDC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A
Snow Load	5400 Pa (3600 Pa*)
Wind Load	2400 Pa (1600 Pa*)

\*design load with safety factor 1.5  
(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

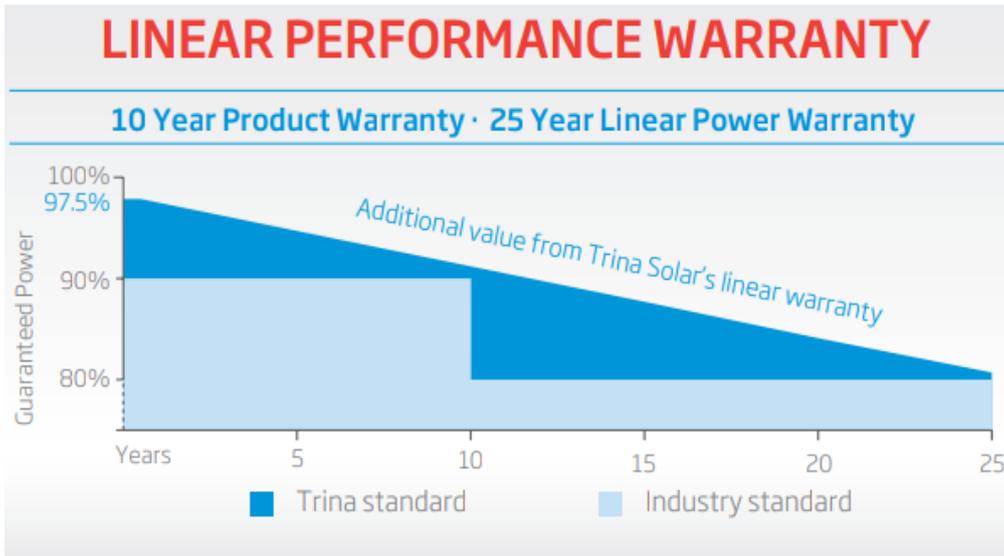


TSM\_EN\_2019\_A

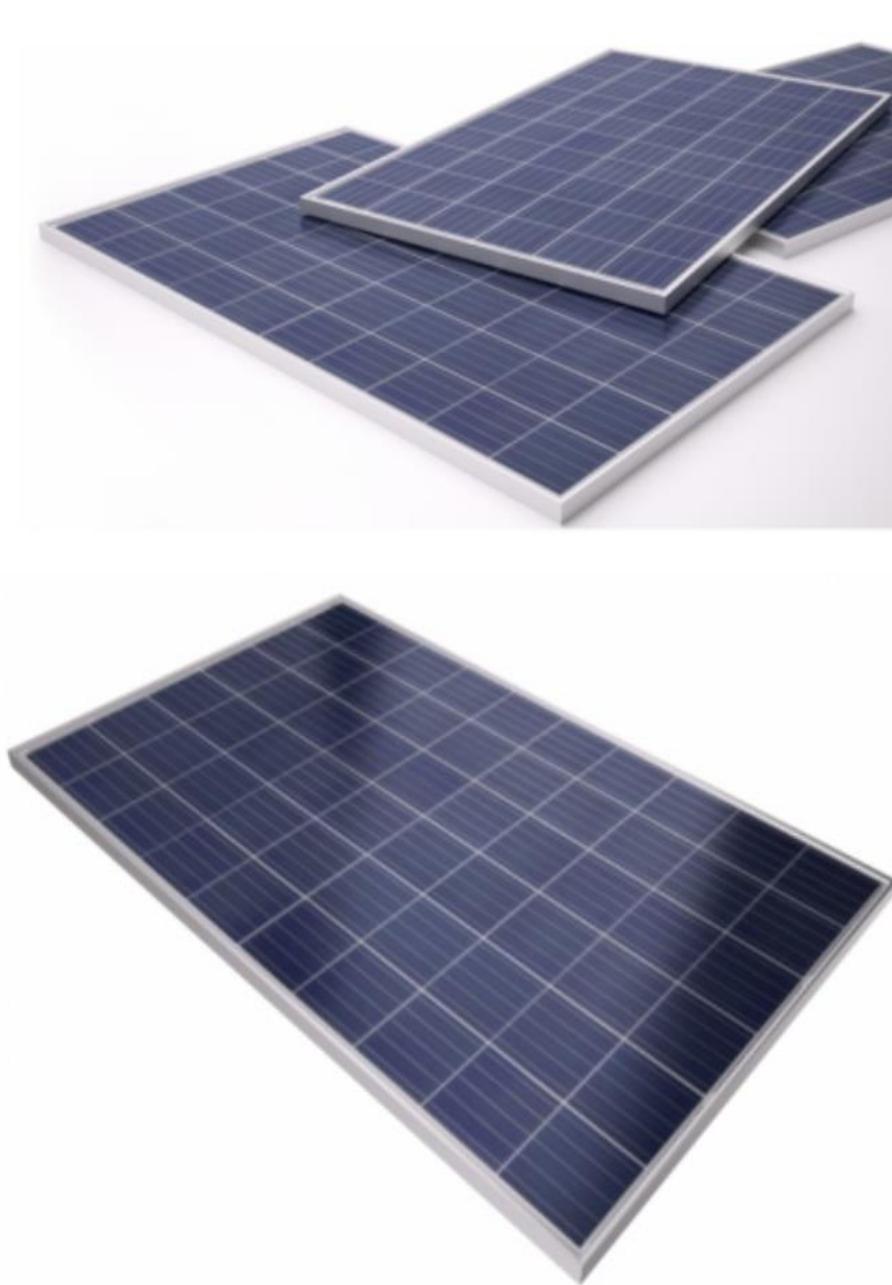
## Anexo 2: Características técnicas del panel fotovoltaico modelo Trina Solar TSM-PE15H.



**Anexo 3:** Dimensiones del panel fotovoltaico modelo Trina Solar TSM-PE15H.



**Anexo 4:** Comparación del rendimiento de funcionamiento de los módulos solares.



**Anexo 5:** Paneles fotovoltaico modelo Trina Solar TSM-PE15H.



**Anexo 6:** Baterías AGM DC 12-300.



**Anexo 7:** Regulador MPPT Victron 150/100 TR 12-24-48V.



**Anexo 8:** Inversor String Multi-MPPT SG33/40/50CX (48/50000).