

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“Carlos Rafael Rodríguez”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



Trabajo de Diploma.

Título:

Evaluación preliminar de un sistema solar fotovoltaico como servicio eléctrico.
Caso de estudio: Sucursal 4792 Banco Popular de Ahorro (BPA) de la Provincia de Cienfuegos.

Autor:

Elio Pedraza Fernández

Tutores:

MSc. Jorge Padrón Hernández. (Profesor Adjunto) UCF.
MSc. Francisco Manuel Pérez. (Profesor Adjunto) UCF.

“Año 64 de la Revolución” *Cienfuegos 2022.*

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico Nombre y Apellidos.

Firma.

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.



Frases.

“La energía disponible es el objeto principal en juego en la lucha por la existencia y la evolución del mundo”.

Ludwing Boltzmann.



Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, no ha sido un camino fácil, pero si se cuenta con el apoyo de las personas que amamos, cualquier sueño se puede volver realidad.

A mis hijos, pues ellos son el motor impulsor en cada amanecer.



Agradecimientos

A mis padres, a mi tía Saimary y a mi esposa Yailín, por estar alentándome y dándome fuerzas en cada momento.

A mi familia por apoyarme en todo momento y a mis hijos por inconscientemente no permitirme claudicar en el empeño de hacerme ingeniero.

A mis compañeros de estudio en estos más de 6 años, sin ellos este logro no hubiera sido posible.

A mis profesores, por su dedicación, paciencia y sabiduría, que nos supieron guiar por los caminos del saber.

A mis tutores, por su apoyo y por brindarme toda su sabiduría.

A todos los que de una forma u otra me han ayudado a realizarme como persona, muchas gracias de todo corazón...

Resumen.

El desarrollo económico y la protección ambiental pueden llevarse a cabo mediante la generación y uso de energía limpia y renovable, tanto a nivel industrial como doméstico. Nuestro país no está ajeno a esta visión por lo que se ha proyectado un plan hacia el año 2030 donde el 37 % de la energía generada provenga de las fuentes renovables, con la energía solar fotovoltaica a la vanguardia aportando 2 104 MW a la demanda nacional. El presente trabajo tiene como objetivo el estudio técnico, económico y medio ambiental de un SSFV en la cubierta de la Sucursal Bancaria 4792 de la provincia de Cienfuegos, de bajo consumo energético, ubicada en una provincia con un alto índice de radiación solar. El desarrollo de este estudio demostró que es posible instalar un SSFV con 35 paneles solares del modelo DSM-380 Wp, en un área de 134,32 m², con una capacidad de generación de 1,65 MWh/mes, dicha instalación es capaz de cubrir el 39 % de la demanda de energía eléctrica de la sucursal, lo que trae consigo un ahorro de 62 172 CUP/año. El análisis económico del estudio arrojó que la inversión se recupera en 11 años con una tasa interna de retorno de 2 % y el valor presente neto de 245 482 CUP en un período de 25 años. El análisis y aporte al medio ambiente refleja que se deja de consumir 4,7 t/año de combustible y de emitir 15 t/año de CO₂ al medio ambiente.

Palabras Claves:

Paneles solares, energía fotovoltaica, fuentes renovables, radiación solar.

Summary.

Economic development and environmental protection can be carried out through the generation and use of clean and renewable energy, both at an industrial and domestic level. Our country is not oblivious to this vision, which is why a plan has been projected towards the year 2030 where 37 % of the energy generated comes from renewable sources with photovoltaic solar energy at the forefront, contributing 2 104 MW to national demand. The objective of this work is the economic, technical and environmental study of a photovoltaic solar system on the roof of the 4792 branch the province of Cienfuegos with low energy consumption located in a province with a range rate of solar radiation, in the development of this study demonstrated that it is a possible to install 35 solar panels of the models DSM-380 Wp, in an area of 134,32 m², achieving a generation of 1,65 MWh/month, that must satisfy 39 % of the electrical energy demand of the branch and reduce the payment a 62 712 CUP/year. The economic analysis of the study showed that the investment is recovered in 11 years with an internal rate of return of 2 % and the net present value of 245 482 CUP in a period of 25 years. The analysis and contribution to the environment reflects that it stops consuming 4,7 t / year of fuel and emitting 15 t / year of CO₂ to the environment.

Keywords:

Solar panels, photovoltaic energy, renewable sources, solar radiation.

Índice

Introducción.....	1
Problema científico:	3
Hipótesis:	3
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:	3
Capítulo I. Energía Solar Fotovoltaica. Estado actual y tendencias en el mundo. Panorama energético cubano y perspectivas al 2030.....	5
1.1 Fuentes de energía y contaminación ambiental en nuestro planeta.	5
1.2 Panorama energético mundial de la energía solar fotovoltaica usado en techos de instalaciones públicas e industriales.	13
1.3 Panorama energético cubano en la generación solar fotovoltaica, en techos de instalaciones públicas e industriales operando de conjunto con el Sistema Electroenergético Nacional.	15
1.4 Marco regulatorio nacional para el uso de sistemas fotovoltaicos en techos públicos e instalaciones industriales y de servicio.	18
1.5 Energía Solar.	21
1.6 Energía Solar Fotovoltaica.....	25
1.6.1 Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV).	26
1.6.2 Clasificación de los Sistemas Solares Fotovoltaicos.	28
1.6.3 Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico.	29
1.6.4 Mantenimiento a los Sistemas Solares Fotovoltaicos.	33
1.6.5 Fallas y prácticas inadecuadas en la explotación de Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	35
1.7 Costos relacionados con los Sistemas Solares Fotovoltaicos.	39
1.8 Principales ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas.	41

1.9 Métodos y metodologías de cálculo para la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	43
1.10 Conclusiones parciales del capítulo I.....	44
Capítulo II: Caracterización constructiva y energética de la Sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro de la Provincia de Cienfuegos.....	45
2.1 Descripción de la sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro.	45
2.2 Caracterización constructiva.....	47
2.3 Localización y orientación de la instalación caso de estudio.	48
2.4 Caracterización energética, y portadores energéticos que posee la unidad.48	
2.4.1 Control energético.....	51
2.5 Conclusiones parciales del capítulo II.....	54
Capítulo III: Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en la Sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro de la Provincia de Cienfuegos.	56
3.1 Cálculos asociados al diseño del sistema solar fotovoltaico.....	56
3.1.1 Metodología para el cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red.	56
3.1.2 Selección del panel fotovoltaico.....	57
3.1.3 Inclinación y orientación de los paneles.....	58
3.1.4 Distancia mínima entre filas de módulos.....	59
3.1.5 Cálculo del número teórico máximo de paneles fotovoltaicos a montar. ..	61
3.1.6 Comprobación de la distancia real entre paneles.	64
3.1.7 Determinación de la energía generada.....	65
3.1.8 Potencia instalada.....	66
3.1.9 Selección del inversor.....	66



3.1.10 Cálculo del número de inversores.....	67
3.2 Cálculo de la resistencia de la edificación.	68
3.3 Evaluación económica.	71
3.4 Análisis y aporte medio ambiental.	73
3.5 Conclusiones parciales Capítulo III.....	74
CONCLUSIONES GENERALES.....	76
RECOMENDACIONES.	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.	82

Introducción.

Desde tiempos remotos de la civilización, el hombre ha sido consciente del poder de la energía solar, y ha hecho uso de ella de diversas formas. Ejemplos de esto son los mecanismos de concentración solar mediante espejos utilizados para calentar o provocar fuego que datan de muchos años antes de Cristo. Otro ejemplo menos evidente es la orientación intencionada de construcciones y edificios para aprovechar los rayos del sol. Sin embargo, no ha sido hasta los tiempos modernos, con la ayuda de la evolución exponencial del conocimiento científico, cuando el hombre ha podido pasar de la idea intuitiva del poder de la energía solar a una comprensión profunda de su naturaleza. Gracias a esto, han aumentado las formas de aprovechamiento de la energía solar. Mientras todos los métodos usados hasta este momento se basaban en la utilización de la energía solar en forma de calor, a partir de este punto se hace posible convertir la energía de la radiación en energía eléctrica.

El primer paso para entender las cualidades de la radiación electromagnética, y por tanto la energía procedente del sol fue cuando el físico francés Edmond Becquerel en 1839 construyó la primera célula fotovoltaica de la historia y demostró experimentalmente la existencia del efecto fotovoltaico,

Unos años más tarde, en 1873, Willoughby Smith contribuyó al desarrollo de esta ciencia con el descubrimiento de la fotoconductividad. El ingeniero inglés observó que la conductividad eléctrica del Selenio aumentaba cuando recibía radiación electromagnética. Poco después, en el año 1887, Heinrich Hertz descubrió el efecto fotoeléctrico, que consiste en la emisión de electrones por parte de los metales al incidir en ellos radiación electromagnética.

El paso definitivo en esta materia lo dio Albert Einstein, que durante los primeros años del siglo XX desarrolló y formuló la explicación teórica de los efectos anteriormente mencionados. Para este estudio Einstein partió de la hipótesis de Max Planck y su trabajo sobre los cuantos.

Diversos organismos internacionales se han proyectado acerca de la importancia del establecimiento de medidas que conduzcan por un lado al desarrollo sostenible de la economía y, por el otro a reducir el impacto negativo al ecosistema planetario en la visión

de lograr el bienestar general. Se considera necesario adoptar tecnologías amigables con el medio ambiente, se supone como un aspecto de primer orden, orientado a lograr la descarbonización de las fuentes de energía y a través de esto a profundizar aún más en el uso de recursos energéticos menos contaminantes.

La tecnología ambiental, tecnología verde o tecnología limpia es la que al ser aplicada no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales. Las tecnologías ambientales poseen el potencial para reducir las presiones sobre recursos naturales. En la actualidad se conceptualiza como “Producción más Limpia” un enfoque integral preventivo, el cual pone énfasis en una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales o materias primas y los recursos energéticos, de modo que se incrementen simultáneamente la productividad y la competitividad.

Lo anterior deja entrever que el desarrollo económico y la protección ambiental pueden llevarse a cabo, teniendo claro que la integración de estos ámbitos se hace posible mediante la generación y uso de energía limpia y renovable tanto a nivel industrial como doméstico. Para cumplir con estos objetivos, una de las tecnologías medioambientales más asequibles hoy en día son los sistemas fotovoltaicos, este tipo de tecnología ha crecido exponencialmente en los últimos años alrededor del mundo, esto debido a sus múltiples ventajas en diversas áreas, como el ambiental dada su baja producción de elementos contaminantes, en el sentido técnico debido a que es una tecnología de última generación y finalmente en el área económica por sus bajos costos de instalación y operación.

Nuestro país no está ajeno a esta visión de las energías renovables, donde la optimización del consumo energético ha sido y es una de las tareas principales de la Revolución Cubana, muestra de esto es la Revolución Energética puesta en marcha desde el 17 de Enero del año 2007, proyectando un proceso hacia el futuro con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la sociedad cubana, realizar un uso más racional de la energía, lograr un desarrollo económico sostenible y disminuir la contaminación ambiental.

Hoy, el 95% de la matriz energética nacional se compone de combustibles fósiles. Es por ello que se hace urgente impulsar proyectos para el cambio de la matriz energética en Cuba hacia el empleo de fuentes de energías renovables (FRE). Desde el año 2014 se cuenta con una política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y su uso eficiente,

a fin de garantizar una transición segura, amigable con el medio ambiente, y la racionalidad en el empleo de los recursos.

Durante el 2021 las FRE aportaron 994 000 MWh de energía limpia, con lo cual se dejó de consumir 273 000 t de combustible fósil y se dejó de emitir a la atmósfera 800 000 t de CO₂. El gobierno cubano se trazó alcanzar para 2030, que el 24 % de la generación eléctrica sea mediante las energías limpias, pero posteriormente se actualizó hasta ubicarla en un 37 %. El uso de sistemas solares fotovoltaicos se encuentra establecido dentro de los aportes previstos al plan de desarrollo de las fuentes renovables y su uso en las cubiertas de las edificaciones ha sido potenciado en los últimos años tanto internacional como nacionalmente.

La dirección del Banco Popular de Ahorro (BPA) en Cienfuegos, no está ajena a las necesidades de nuestros tiempos, y se suma al impulso de la utilización de las energías renovables, poniendo en práctica un análisis preliminar para desarrollar el montaje de un pequeño parque fotovoltaico en la cubierta de una de sus sucursales, aprovechando esta área no utilizable de alta resistencia.

Por lo que así se define:

Problema científico:

La estructura de consumo de portadores energéticos de la sucursal 4792 del BPA muestra que el consumo de energía eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) es el de mayor peso con la consiguiente emisión de CO₂ a la atmósfera.

Hipótesis:

Un Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV) garantiza la sustitución del consumo de energía eléctrica proveniente del SEN y la reducción del impacto ambiental correspondiente.

Objetivo general:

Elaborar el estudio técnico, económico y ambiental de un Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV) como apoyo al suministro de energía eléctrica a la Sucursal 4792 del BPA de la Provincia de Cienfuegos.

Objetivos específicos:

1. Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas solares fotovoltaicos para el suministro de apoyo de energía eléctrica a instalaciones industriales y de servicio.

2. Realizar la caracterización energética y constructiva de la Sucursal 4792 del BPA de la Provincia de Cienfuegos.
3. Elaborar la propuesta preliminar del sistema solar fotovoltaico a colocar sobre la cubierta de la instalación. Cuantificar capacidad de generación y resistencia estructural elemental del inmueble caso de estudio.
4. Evaluación preliminar, económica y ambiental de la propuesta.

La investigación presenta tres capítulos, que se estructuran en: resumen, introducción, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

El Capítulo I contiene aspectos relacionados con el estado actual y tendencias en el diseño y explotación de instalaciones fotovoltaicas en techos de edificaciones industriales y de servicios.

En el segundo capítulo se realiza una caracterización constructiva y energética de la sucursal del Banco Popular de Ahorro de la ciudad de Cienfuegos (BPA).

El tercer capítulo se basa en el desarrollo del anteproyecto técnico del SSFV para la generación y suministro de energía eléctrica a la sucursal objeto de estudio. Además, se muestran los resultados relacionados con la evaluación económica y ambiental del uso del sistema fotovoltaico en la cubierta de la sucursal del BPA Cienfuegos.

Finalmente son planteadas las principales Conclusiones Generales y recomendaciones que permiten resumir los resultados, luego se presentan las referencias utilizadas y los anexos correspondientes.

Capítulo I. Energía Solar Fotovoltaica. Estado actual y tendencias en el mundo. Panorama energético cubano y perspectivas al 2030.

El presente capítulo tiene como objetivo, abordar, en síntesis, el panorama energético mundial de la generación solar fotovoltaica, las principales experiencias y tendencias en el mundo, y, en el ámbito nacional, las perspectivas actuales y con vistas al año 2030.

1.1 Fuentes de energía y contaminación ambiental en nuestro planeta.

Los recursos energéticos son usados por el hombre para satisfacer algunas de sus necesidades básicas en forma de calor y trabajo.

La **energía** se define como la capacidad que tiene un cuerpo de producir trabajo, y la definición clásica de **trabajo** es fuerza por distancia:

$$W = F \cdot d$$

Donde: F = fuerza, medida en Newton (N)

D = distancia, medida en metros (m)

W = trabajo, medido en Joule ($J = N \cdot m$)

El calor es necesario para un sin número de aplicaciones, como la climatización del espacio, la cocción de alimentos, o la producción o transformación de algunos compuestos químicos.

El trabajo se utiliza para una variedad de procesos en los que hay que vencer fuerzas de oposición: para levantar una masa en un campo gravitacional; para deformar un cuerpo, estirar un resorte o hacer fluir un líquido o gas; para la mayoría de los procesos industriales, para el transporte de personas y de mercancías, etc.

Una de las formas de clasificar a las fuentes de energía es según su agotabilidad, o capacidad de reposición. De acuerdo a esto, las fuentes de energía se clasifican en renovables y no renovables.

Se considera no renovable la energía que está almacenada en cantidades inicialmente fijas, comúnmente en el subsuelo:

Combustibles fósiles: se obtienen de la oxidación de ciertas sustancias orgánicas.

- **Petróleo y sus Derivados.** El petróleo es una mezcla de una gran variedad de hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno) en fase líquida, mezclados con una variedad de impurezas. Por destilación y otros procesos, se obtienen

las diversas gasolinas, el diésel, el fuel oil, el querosene, el gas licuado de petróleo, etc.

- El gas natural está compuesto principalmente por metano y corresponde a la fracción más ligera de los hidrocarburos, por lo que se encuentra en los yacimientos en forma gaseosa.
- El carbón mineral es principalmente carbono, también de origen fósil, que se encuentra en grandes yacimientos en el subsuelo. Es el recurso fósil de mayor aprovechamiento a nivel mundial, pero con el problema de su alto grado de impacto ambiental, debido a la emisión de contaminantes como CO₂, CO y S.

A medida que se consume un recurso no renovable, se va agotando. Las reservas disponibles están sujetas a la factibilidad técnica y económica de su explotación, al descubrimiento de nuevos yacimientos y al ritmo de extracción y consumo.

Se llama energía renovable la que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible (en la Tierra) no disminuye a medida que se aprovecha.

Se las conoce también como energías alternativas pues ofrecen una solución diferente a las tecnologías tradicionales.

La principal fuente de energía renovable es el Sol, pues envía a la Tierra únicamente energía radiante, es decir, luz visible, radiación infrarroja y algo de ultravioleta, que en la atmósfera se convierte en una variedad de efectos, algunos de los cuales tienen importancia como recurso energético, tal es el caso de la energía eólica, la energía de la biomasa, la diferencia de temperaturas oceánicas y la energía de las olas.

Energía Solar: Está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra.

Energía Solar Térmica: Se denomina a la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio.

Energía Solar Fotovoltaica: Se llama a la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

Energía Eólica: Es la energía que se extrae del viento. Las aplicaciones más comunes son: transporte (veleros), generación eléctrica y bombeo de agua.

La energía eólica es derivada de la energía solar, porque una parte de los movimientos del aire atmosférico se debe al calentamiento causado por el Sol (también existe un efecto de la rotación de la Tierra y otro de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol).

Energía de la Biomasa (fotosíntesis): La fotosíntesis es la forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar, creada por la Naturaleza misma.

La madera y residuos vegetales son empleados como combustible, produciéndose además sustancias con alto contenido energético como el alcohol y el metano.

Energía Geotérmica: Consiste en el calor existente en el magma incandescente de la Tierra, en superficies con actividad volcánica.

Este calor se extrae, por medio de vapor o agua caliente, para diversos usos industriales o domésticos.

Mediante procesos térmicos, es posible generar electricidad, en las plantas llamadas geotermoeléctricas. En algunos casos es necesario inyectar agua en pozos y extraerla como vapor.

Energía Nuclear: Se obtiene de la modificación de los núcleos de algunos átomos, muy pesados o muy ligeros, a través de la cual, cierta fracción de su masa se transforma en energía.

La liberación de energía nuclear, por tanto, tampoco involucra combustiones, pero sí produce otros subproductos agresivos al ambiente.

La fisión nuclear consiste en la desintegración de átomos pesados, como ciertos isótopos del uranio y el plutonio, para obtener átomos más pequeños. Esta es la forma con que operan los reactores nucleares comerciales. La fusión nuclear consiste en obtener átomos de mayor tamaño, a partir de ciertos isótopos de átomos pequeños, como el tritio.

Teóricamente ésta sería una fuente de energía abundante, debido a que existe una cierta fracción de tritio en el agua de los océanos.

No se ha logrado desarrollar una técnica para aprovechar la fusión nuclear en la Tierra con fines pacíficos.

Diferencia de Temperatura Oceánica (OTEC): Utilizar la diferencia de temperatura que existe entre la superficie del océano (unos 20° C o más en zonas tropicales) y la correspondiente a unas decenas de metros abajo de la superficie (cercana a 4° C), para proporcionar los flujos de calor para impulsar un ciclo termodinámico y producir otras formas de energía.

Energía de las Olas: Aprovechar, en ciertos lugares privilegiados, el vaivén de las olas del mar para generar energía eléctrica.

Las olas son, a su vez, producidas por el efecto del viento sobre el agua, por tanto, también es una forma derivada de la energía solar.

Energía de las Mareas: En algunas regiones costeras se dan unas mareas especialmente altas y bajas. En estos lugares se ha propuesto construir grandes represas costeras que permitirían generar energía eléctrica con grandes volúmenes de agua, aunque con pequeñas diferencias de altura.

Es como la energía hidráulica, pero su origen es la atracción gravitacional del Sol y principalmente de la Luna, en vez del ciclo hidrológico.

Energía Hidráulica: La energía hidráulica es la que se obtiene a partir de caídas de agua, artificiales o naturales.

Típicamente se construyen presas en los lugares con una combinación de caudal de agua y condiciones orográficas adecuadas.

Estrictamente, también esta es una forma derivada de la energía solar, porque el Sol provee la fuerza impulsora del ciclo hidrológico.

Como puede verificarse, en realidad no existe un problema de falta de recursos energéticos.

Una parte del problema energético actual consiste en que nuestra sociedad se ha hecho muy dependiente de un sólo recurso: los hidrocarburos.

Se ha rezagado el desarrollo tecnológico y, por tanto, la viabilidad económica de algunas otras alternativas energéticas. (IRENA, 2020).

Contaminación Ambiental

La contaminación ambiental es la presencia de componentes nocivos, bien sean de naturaleza biológica, química o de otra clase, en el medioambiente, de modo que supongan un perjuicio para los seres vivos que habitan un espacio, incluyendo, por supuesto, a los

seres humanos. Generalmente la contaminación ambiental tiene su origen en alguna actividad humana. (IRENA, 2020).

Tradicionalmente, como afirma la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2022) en su más reciente informe medioambiental, la tala indiscriminada de árboles y de bosques, en general, era la principal causa de deterioro de los ecosistemas.

Sin embargo, desde la irrupción de la Revolución Industrial, hace algo más de dos siglos, la emisión a la atmósfera de gases invernadero se ha convertido en el principal acto de contaminación ambiental. Además, cabe destacar otros, como los vertidos industriales a la hidrosfera, la producción de energía a través de combustibles fósiles como el petróleo o el carbón (junto a, por supuesto, su extracción, procesamiento y refinamiento), y el uso indiscriminado de plásticos y de otros materiales derivados del oro negro.

En cualquier caso, es preciso señalar que la propia naturaleza genera situaciones de contaminación grave, aunque, también es cierto, que cuenta con sus propios mecanismos de depuración y de reciclaje. En este sentido, son ejemplos las erupciones volcánicas, los huracanes o los incendios (sin intervención humana), si bien son inevitables, algo que en el caso de muchas de las actividades del hombre que generan contaminación ambiental sí que podrían, al menos, reducirse, como es el caso de transformar un ecosistema para desarrollar un cultivo de plantas destinadas a la producción de biocombustibles.

El deterioro del agua:

La contaminación ambiental crece de manera vertiginosa, en paralelo, al desarrollo industrial y al aumento de la población, en especial, a lo largo del último siglo y medio. Ambos factores contribuyen a establecer un desequilibrio en el medioambiente y en los ecosistemas ante la presencia de contaminantes de distinta clave, como los agentes químicos (abonos sintéticos, derivados del plástico, disolventes, ácidos, pesticidas), biológicos (los desperdicios de numerosas fábricas, desagües que vierten líquidos tóxicos a la hidrosfera, serrín de la industria forestal), o físicos (radioactividad, energía electromagnética, ruido...).

La acción combinada a lo largo del tiempo de todos estos elementos provoca la contaminación del agua, y en consecuencia la contaminación del mar y los ríos, del aire y del suelo. En el caso del agua, el principal efecto palpable es que su composición se altera

y deja de poseer las condiciones óptimas para, por ejemplo, su consumo. Los vertidos de aguas negras (consecuencia de los desechos líquidos de ciudades y de plantas de producción que no la tratan de la manera adecuada), los derrames de petróleo (en perforaciones petroleras en los que ocurre algún accidente o en el transporte del 'oro negro' por vías marítimas) o el uso indiscriminado y abusivo de productos fitosanitarios (en los campos, por cuestiones agrícolas, pero que la tierra, posteriormente, filtra y alcanzan las aguas subterráneas) son algunos de los procesos y acciones que explican por qué el agua se contamina. La contaminación por los plásticos que se vierten al mar está también repercutiendo muy negativamente en la calidad del agua y de los ecosistemas marinos.

A estos hay que sumar, además, dos factores más que, de manera indirecta, influyen de un modo decisivo en la calidad del agua: por un lado, el aumento de la temperatura como consecuencia del cambio climático, que altera su composición ya que, entre otros efectos, provoca que disminuya la presencia de oxígeno; por el otro, la tala indiscriminada de árboles y la deforestación ocasiona que se desarrollen colonias de bacterias en la tierra que, a largo plazo, se filtran y contaminan el agua subterránea.

La degradación del aire y del suelo:

En cuanto a la contaminación del aire, también, el principal problema es que se altera su composición, de modo que lo que respiramos deja de ser, en esencia, lo más saludable para mantener el óptimo estado de nuestro cuerpo. Los principales detonantes son la extracción de hidrocarburos fósiles (sobre todo, petróleo, gas natural y carbón), la posterior combustión de estos combustibles en los medios de transporte y en las industrias, la quema de los bosques (en especial, los tropicales) y el auge del sector ganadero, que provoca una cría indiscriminada de ganado bovino cuyo proceso digestivo provoca la degradación del aire.

En general, la alteración del aire significa que sus partículas sólidas y los gases varían su peso como consecuencia del denominado efecto invernadero (que es el proceso por el que determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar).

Al romperse el equilibrio natural de gases y de elementos químicos en la atmósfera, la temperatura aumenta, provocando un calentamiento global que tiene una incidencia directa para la supervivencia de muchas especies animales y vegetales.

La emisión de sustancias químicas a la atmósfera como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los CFCs (clorofluorocarbonos) y ciertos óxidos de nitrógeno es la principal causa del empeoramiento general del aire que respiramos. Una exposición prolongada a las partículas contaminantes del aire es factor determinante de infartos de miocardio, ictus isquémicos, insuficiencias cardíacas, problemas dermatológicos, alergias cutáneas y oculares, y, también, del aumento de linfomas.

Por su parte, la contaminación del suelo crece como consecuencia del aumento de compuestos químicos y de basuras derivadas de las actividades del ser humano. El uso abusivo de pesticidas (con sus correspondientes agentes químicos) o el almacenamiento subterráneo (que contiene líquidos y gases derivados del petróleo que terminan por filtrarse al suelo) son sus principales detonantes desde el punto de vista industrial. Pero el propio desarrollo de las ciudades, a través de la generación de basura que no es tratada de la manera adecuada se ha convertido en el primer catalizador de la degradación del suelo, a lo que se suma que algunos vertidos, de carácter tóxico, tardan muchos años en descomponerse, con lo que su efecto nocivo se deja sentir durante bastante tiempo.

Contaminación acústica, lumínica y visual:

Aunque el efecto del calentamiento global se comprueba principalmente midiendo su impacto en océanos, en los ecosistemas o en la atmósfera, sus consecuencias, también son notorias dentro de otros ámbitos en el día a día de las personas. Por ejemplo, el crecimiento de las ciudades provoca que sus habitantes tengan que lidiar habitualmente con ruidos. Más allá de que resulte más o menos molesto, la ciencia ya ha demostrado que, de manera continuada, puede provocar estrés, trastornos del sueño, pérdida de audición e, incluso, es posible que llegue a generar enfermedades cardiovasculares.

Por otro lado, una iluminación artificial excesiva tiene en paralelo efectos muy relevantes. En el caso de diversas especies de animales puede ocasionar problemas de orientación y alteraciones en sus ciclos biológicos, ya que les modifica su percepción del día y de la noche. En cuanto a las personas, de nuevo, además de provocar alteraciones del sueño,

tiene un notable efecto negativo en la salud de la visión y, a largo plazo, puede ocasionar migrañas que requerirán de tratamiento médico.

También cabe hablar de la contaminación visual, dado que un nulo cuidado por el ecosistema a la hora, por ejemplo, de construir un parque energético o una industria, puede alterar gravemente el paisaje natural. En paralelo, el impacto de la publicidad nos genera estímulos visuales que rompen la relación entre ser humano y naturaleza. Y es que las personas estamos constantemente absorbiendo datos e información, y un exceso de mensajes evita que el cerebro sea capaz de procesarlos adecuadamente. Con el paso del tiempo, todo esto conduce al estrés y a la propia tensión del organismo.

Consecuencias e impacto:

Las principales consecuencias de todas estas actividades conducen al calentamiento global del planeta. De este modo, la temperatura en la Tierra aumenta cada año, levemente, pero de manera progresiva, tanto en la atmósfera como en los océanos. Los principales detonantes son el carbono negro, el ozono troposférico y el metano, cuya acción combinada es responsable de cerca del 40 % del calentamiento global. Algo que se nota, por ejemplo, en que los veranos son más largos y calurosos, mientras que las temperaturas medias duran menos tiempo, produciendo picos de frío y de calor que son incompatibles con la sostenibilidad de la vida de muchas especies animales y vegetales pertenecientes a distintos hábitats. Todo esto ocasiona, en el largo plazo, la destrucción de ecosistemas, lo que pone en peligro, entre otras cosas, la propia supervivencia de muchas especies animales y vegetales, debido a que los hábitats naturales se van reduciendo. En el caso de los seres humanos, tal y como afirma la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), el aumento de la contaminación provoca serios riesgos en su salud que, por ejemplo, es causa directa de la cronificación y el aumento de enfermedades respiratorias (neumonía), así como del crecimiento de otras como las patologías cardiovasculares o distintos tipos de cáncer.

Desde el lado del optimismo, cabe reseñar que dentro de los (ONU, Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, 2021) existen algunos que se refieren de manera específica a la contaminación ambiental. Por ejemplo, el número 14 cita de modo expreso la necesidad de cuidar de mares y océanos, mientras que el 7 apuesta por las energías

sostenibles y no contaminantes. Además, la (OMS, 2021) ha recogido como uno de sus compromisos para los próximos años atajar el problema de la contaminación atmosférica urbana, porque aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

1.2 Panorama energético mundial de la energía solar fotovoltaica usado en techos de instalaciones públicas e industriales.

Promover el desarrollo y crecimiento económico de las naciones a través del uso de energías renovables para el beneficio de toda la población y del medio ambiente, requiere la indispensable sinergia de diversos sectores público y privados. Tomando en cuenta esta premisa, la adopción de cambios tendientes a la transformación de las formas como se hacen las cosas, sustentado en conocimientos generados como producto de la investigación, el desarrollo tecnológico y la actividad productiva misma, ha conllevado a considerar a la energía fotovoltaica como una alternativa viable para la consecución de esta meta, la cual ha tenido una gran demanda por las facilidades y ventajas que ofrece.

El uso de Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV) ha ido en crecimiento acelerado a nivel mundial. Según datos obtenidos (Europe, 2020), se estima una capacidad instalada acumulada en SSFV de 1 678 GW para el 2024 en el escenario más próspero, mientras que para un escenario bajo se estiman valores de 1 177 GW y el escenario medio probable de 1 427 GW. Dicho crecimiento se muestra en la figura 1.1 a continuación:



Figura 1.1: Escenarios totales del mercado fotovoltaico 2020-2024. Nota: Tomado de (Europe, 2020).

La potencia de energía solar fotovoltaica instalada en el mundo ha aumentado en un 23% desde 2018 hasta la fecha y se espera aumente hasta 1 678 GW en el 2024. (Europe, 2020).

Como ejemplos de SSFV instalados sobre techos de instalaciones públicas e industriales en el mundo, tenemos el parque solar de Bhadla en Rajasthan en La India, con una potencia instalada de 2 245 kWp lo que lo convierte en uno de los más grandes del mundo. (Roca, 2020).



Figura 1.2: Parque fotovoltaico en India, Bhadla Solar Park. 2 245 MW Fuente: (Roca, 2020).

Además, tenemos un edificio con una arquitectura fotovoltaica en Japón de 315 m de largo, 37 m de alto, con formas curvas, elegantes y rotundas a la vez, muy al estilo japonés, un edificio puente, un cuadrado curvo y gigante forrado de 5 000 paneles fotovoltaicos.

Se construyó en 2005 para la exposición universal de Aichi, como un icono de lo que puede conseguir la arquitectura integrada con las tecnologías productoras de energías renovables. (Marrero J. B., 2018).



Figura 1.3: Arquitectura fotovoltaica en Japón, Sanyo Solar Ark. Fuente. (Marrero J. B., 2018).

1.3 Panorama energético cubano en la generación solar fotovoltaica, en techos de instalaciones públicas e industriales operando de conjunto con el Sistema Electroenergético Nacional.

En Cuba, los SSFV conectados a la red electroenergética nacional, tuvieron su punto de inflexión en el año 2013 con la instalación de la primera planta fotovoltaica de 1 MWp en Cantarrana, en las afueras de la ciudad de Cienfuegos, posteriormente se realizó una expansión de la potencia total hasta los 2,6 MWp, comenzando así, el programa fotovoltaico financiado por el estado, cuyo objetivo es el de la instalación de una capacidad de 900 MWp para el año 2030. (Rimada, 2018).

Durante el 2021 las FRE aportaron 994 000 MWh de energía limpia, con lo cual se dejó consumir 273 000 toneladas de combustible fósil y se dejó de emitir a la atmósfera 800 000 toneladas de CO₂. (Fig. 1.4). (Tomado de (Cubadebate, 2022)).



Figura 1.4: Aporte de las Fuentes Renovables de Energía en Cuba. Tomado de (Cubadebate, 2022).

Los SSFV instalados en nuestro país cuentan con una potencia instalada de 238 MW, que son capaces de satisfacer el consumo de energía eléctrica de unas 200 000 familias cubanas.

Durante el año 2021 se produjeron 12 MW de energía solar fotovoltaica en las cubiertas de industrias y edificios estatales, un dato que se plantea elevar hasta los 900 MW; (Cubadebate, 2022), la figura 1.5 nos muestra el desarrollo de la potencia instalada en MW en Cuba entre los años 2012 y 2021.



Figura.1.5: Potencia instalada en MW de energía solar fotovoltaica en Cuba (2012-2021). Tomado de (Cubadebate, 2022).

Como se puede observar en la figura 1.6, en la mayor parte de las provincias del país se han construido parques fotovoltaicos, destacando Pinar del Río, Sancti Spíritus, Cienfuegos y Granma, quienes aportan así al SEN y la economía del país. (Yilén, 2019).



Figura 1.6: Potencia fotovoltaica instalada por provincias en MW. Nota: (Yilén, 2019).

En el país se han llevado a cabo varios proyectos con resultados positivos en la implementación de paneles solares en techos, a continuación, se muestran los principales ejemplos obtenidos de la bibliografía consultada. (Digital, 2019), (Cubadebate, 2022).

- El Hospital General Doctor Juan Bruno Zayas, de la ciudad santiaguera, tiene instalado uno de los mayores SSFV sobre cubierta en el país, el cual contribuye al ahorro de combustible. Está formada por 384 paneles con una potencia de 96 kWp, ocupa una extensión de 600 m² sobre los techos de la cisterna y la lavandería del centro asistencial. Al captar la energía solar durante aproximadamente cinco horas al día, el parque fotovoltaico garantiza el consumo total de 14 salas y la lavandería, que favorece a cerca de 700 pacientes.
- El Clínico Quirúrgico Juan Bruno Zayas, como también se le conoce, es un alto consumidor de energía, al igual que todos los hospitales de Cuba, y esta energía alternativa es utilizada en función de brindar un buen servicio al paciente en la

cocción de los alimentos, el agua caliente para el baño de los enfermos, así como la iluminación de las salas. (Digital, 2019)

Como otras experiencias se tiene:

- Etecsa (1 230 kW).
- Empresa Antena, Villa Clara (45 kW).
- Fondo Cubano de Bienes Culturales, Villa Clara (30 kW).
- Empresa Ember, Villa Clara (250 kW).
- Empresa INPUD, Villa Clara (411 kW).
- Grupo de la Electrónica en La Habana (4 kW). Se empleó el silicio amorfo.
- Reloj Club (Empresa Desarrolladora de Inversiones en Fuentes Renovables de Energía) (4 kW). También de silicio amorfo.
- Maqueta de La Habana, (Municipio Playa, La Habana).
- CUBARON, en la localidad de Santo Domingo, Villa Clara.

Tomado de: (Cubadebate, 2022).

1.4 Marco regulatorio nacional para el uso de sistemas fotovoltaicos en techos públicos e instalaciones industriales y de servicio.

El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) se desarrolla en función de las energías fósiles, estas son obtenidas fundamentalmente en inversiones en el mercado internacional para la compra de petróleo crudo, destinado generalmente a la refinación en Cuba, de la cual se obtienen diferentes subproductos tales como: gasolina, querosén, nafta, entre otros. Nuestro país invierte cada año grandes sumas de dinero para la adquisición de este portador energético, las que son pagadas fundamentalmente mediante la prestación de servicios técnicos de personal calificado en sectores como la medicina, la ingeniería de diversas ramas, el deporte y el sector turístico nacional.

Para contrarrestar lo antes expuesto la máxima dirección del país ha tomado diferentes medidas que tienen el objetivo de implementar tecnologías que utilicen las fuentes renovables de energía en sus más diversas ramas, tanto en el sector estatal como el sector privado, para ello han sido dictadas regulaciones que norman beneficios económicos a las instituciones con posibilidades para explotar e implementar dichas fuentes de energías.

Ejemplos de estas son:

Resolución No. 123 del Ministerio de Energía y Minas, del primer día del mes de noviembre de 2019, Establece los requisitos a cumplir, en el desarrollo de las fuentes renovables, por organizaciones superiores de dirección empresarial, sistemas empresariales de administraciones provinciales y municipales, y entidades presupuestadas.

Resolución No. 124 del Ministerio de Energía y Minas, del primer día del mes de noviembre de 2019 Regulaciones para elevar la gestión, eficiencia y conservación energética, así como el control de los sistemas de gestión de la energía en entidades grandes consumidoras de energía. Es de aplicación a personas jurídicas estatales y no estatales, sociedades mercantiles de capital 100 % cubano y las modalidades de inversión extranjera.

Resolución No. 141 del MINCIN, del primer día del mes de noviembre de 2019 “Procedimiento para la comercialización de equipos que utilicen fuentes renovables y para el uso eficiente de la energía”

Instrucción No. 6/2019 del Banco Central de Cuba, del primer día del mes de noviembre de dos mil diecinueve, instruye a los bancos comerciales el otorgamiento de créditos a personas naturales para adquirir equipos que utilizan fuentes renovables de energía (calentadores solares y sistemas solares fotovoltaicos). Los créditos se otorgan en pesos cubanos hasta el 100% del valor de los equipos. El importe y el plazo de amortización del crédito responden al análisis de riesgo que realice el banco a partir de la capacidad de pago del solicitante.

Se establece la disposición de la UNE, como entidad principal generadora en el país, para trabajar en la eficiencia de sus plantas y en la preparación del Sistema Eléctrico Nacional en función de asimilar las tecnologías de fuentes renovables de energía y eficiencia energética que forman parte del programa de desarrollo de ese grupo empresarial.

En ello se incluye el aprovechamiento óptimo de las ventajas de la generación distribuida hoy en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN); el incremento de la cogeneración, considerando la generación simultánea de energía eléctrica y calor; la adecuación del SEN con las condiciones para la introducción de las fuentes renovables de energía, y la elevación de la eficiencia energética en la quema de combustibles fósiles, ya sea crudo cubano u otro.

El Decreto Ley No. 345 “Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía “, de 23 de marzo de 2017 declara como un objetivo de la industria nacional la producción de equipos, medios y piezas para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y los destinados a elevar la eficiencia energética. Además, dispone que la Unión Eléctrica (UNE) es el ente encargado de comprar toda la energía generada por productores independientes, tanto del sector residencial como del estatal y no pertenecientes al sistema de la UNE.

Para la formación de los precios de compra, se tiene en cuenta fundamentalmente el costo evitado en la generación. Se definen de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Finanzas y Precios, se explicó en la conferencia de prensa en la cual se informó sobre la nueva norma jurídica.

En el caso de las empresas estatales que instalen estas tecnologías y se conviertan en generadoras a partir de sus excedentes, podrían pagar con esos beneficios y los costos evitados el financiamiento recibido.

Si es el caso de un gran consumidor, y le resulta rentable, una vez hecha la instalación por entidades del Grupo de la Electrónica, y que se haga el contrato para el mantenimiento del sistema y este comience a generar, existen normas del Ministerio de Finanzas y Precios vigentes para que el excedente de esa producción de electricidad pueda ser vendido a la Unión Eléctrica.

Resolución No. 435 de fecha 29 de junio de 2017, del Ministerio de Finanzas y Precios. POR CUANTO: El Decreto No. 300 “Facilidades para la aprobación de precios y tarifas”, del 11 de octubre de 2012, establece en su Disposición Especial Segunda que, los precios y tarifas de los productos y servicios que no están relacionados en su Anexo Único, se aprueban por el Ministro de Finanzas y Precios o por quien este delegue; y mediante la Resolución No, 38, del 31 de enero de 2013, dictada por quien suscribe, sé aprobaron, los productos y servicios, cuyos precios y tarifas corresponden fijar centralmente por este Ministerio.

POR CUANTO: El Ministro de Energía y Minas, como Presidente del Grupo Gubernamental de Implementación del Decreto-Ley No. 345 “Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía”, del 23 de marzo de 2017, ha solicitado la aprobación de los

precios de compra de la energía eléctrica que generen los productores independientes del sector no partir de la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV) producido con residuales orgánicos.

La Unión Eléctrica, como parte de los incentivos previstos en esta política, está en la obligación de comprar toda la energía que se produzca con fuentes renovables sin importar el productor (un consumidor del sector residencial, un inversionista extranjero, una empresa, una cooperativa, un productor independiente) en un precio definido por el Ministerio de Finanzas y Precios.

La UNE sería la encargada de colocar un metro contador que permita discriminar qué consume el productor y qué excedente produjo para entregar a esa red.

El Decreto No.327, “Reglamento del Proceso Inversionista”, de 7 octubre de 2014, en la disposición final tercera, encarga a los jefes de los organismos de la Administración Central del Estado con funciones rectoras, de regular la forma para otorgar los permisos requeridos, que, de conformidad con la condición de órgano de consulta permanente, se define en el artículo 77.2 del propio texto legal, siendo necesario establecer el procedimiento que garantice el cumplimiento de esos fines.

A tenor del antes mencionado Decreto No.327, se hace necesario actualizar la Resolución 126, de 13 de julio de 2007, de la Ministra de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente que establece el procedimiento para la evaluación de los estudios de factibilidad de las inversiones vinculadas a las esferas de la ciencia, la tecnología y el medio ambiente, que originó la no aplicación de la Resolución No. 13, de 2 de marzo de 1998, de la propia Ministra, mediante la cual se establecieron los requisitos básicos para la fundamentación, evaluación y dictamen de la transferencia de tecnología, asociada con los proyectos de inversión nominales propuestos en los estudios de factibilidad. (República, 2019).

1.5 Energía Solar.

Esta tipología de energía, clave para la sostenibilidad del planeta, nace de la fusión nuclear de helio e hidrógeno. Por suerte para la Tierra, la energía solar llega en forma de radiación electromagnética mediante luz, calor y rayos ultravioleta. El sol es la central infinita de tres energías renovables (solar fotovoltaica, solar termoeléctrica y solar térmica) que mitigan los efectos del cambio climático.

Esa estrella tan cercana y lejana a la vez se originó hace más de 4.500 millones de años y dista de la Tierra aproximadamente 150 000 000 de km, una distancia que su luz recorre en algo más de ocho minutos.

El hidrógeno acapara casi las tres cuartas partes de su masa (1 390 000 de km de diámetro, 109 veces mayor que el de la Tierra) y el resto se compone sobre todo de helio. Precisamente la energía que genera se produce mediante la fusión nuclear de ambos elementos. También están presentes, aunque en cantidades mucho más pequeñas, oxígeno, carbono, neón y hierro.

La superficie del sol alcanza unos 5 500 C⁰ y se calcula que su núcleo ronda unos 15 000 000 de grados.

Se trata de una estrella de tamaño medio (se han localizado algunas hasta 100 veces mayores) y hace posible la vida en el planeta, junto con la abundancia de agua, gracias al proceso químico de la fotosíntesis.

La energía solar emitida a la Tierra, que corresponde a 900 W/m², lo que equivale a 2 000 veces el consumo energético mundial. El aprovechamiento de la misma trae grandes beneficios para el hombre ya que supera el consumo energético mundial siendo una fuente de energía renovable en continuo crecimiento y reduce las emisiones de CO₂ al medio ambiente, adquiriendo un papel importante frente al cambio climático (Escobar, 2013)

Se plantea que la radiación emitida por el sol es inconsistente, pues existen importantes variaciones de radiación en la superficie terrestre, debido a la órbita de la tierra y el albedo de ciertas áreas. (Stapleton G., 2012).

La radiación electromagnética de los rayos del sol recibida en todo el planeta presenta un valor mínimo promedio cercano a 800 kWh/m²/año, correspondiente a zonas cercanas a los polos. En la medida que las zonas se acercan al ecuador, la radiación solar se va incrementando hasta encontrarse distribuida en una banda de color amarillo de 1 700 kWh/m²/año. Las radiaciones más altas del planeta que se encuentran en zonas desérticas y prácticamente toda América Latina y el Caribe, África y Medio Oriente se presentan altas intensidades de radiación solar (Stolik, 2019).

En el mapa de radiación solar promedio en Cuba (Ver figura 1.7) se puede observar la radiación solar que incide sobre la superficie de nuestro país. En este mapa se corrobora

que las instalaciones fotovoltaicas son válidas en la inmensa mayoría del territorio cubano, ejemplo de ello es la radiación solar anual en Cienfuegos que se caracteriza por una buena presencia de esta; donde la radiación solar se encuentra en el orden de más de 5,5 kWh/m² en la provincia.

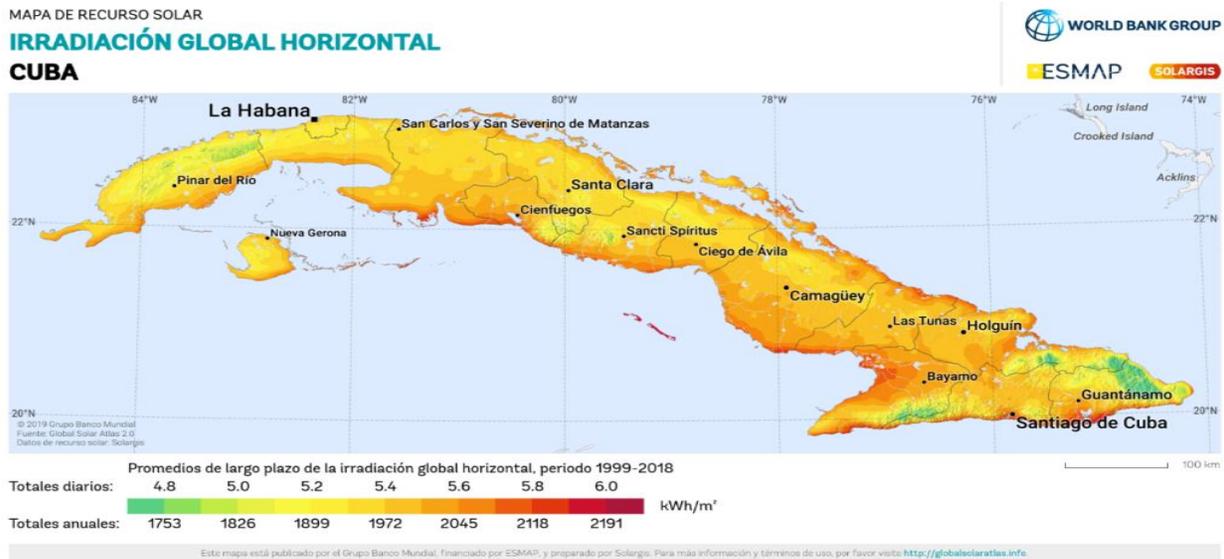


Figura 1.7: Mapa de Irradiación global horizontal en Cuba. Nota: Tomado de (Solargis., 2018).

La radiación solar debe ser cuantificada para estimar el potencial de energía a producir en una instalación. (Benavides, 2013). La cantidad de energía solar recibida por un área durante un día se le denomina insolación y se mide en kWh/m² día, la que depende de la hora, la inclinación de la Tierra respecto del Sol, grado de contaminación y condiciones meteorológicas. La radiación solar puede ser clasificada en: (Ruiz, 2018).

Radiación difusa: es la parte de la radiación solar procedente de la dispersión de la radiación a su paso por la atmósfera. Es el único tipo de radiación que existe en un día nublado.

Radiación solar directa: es la parte de la radiación solar que llega en la dirección del sol y proyecta sombras sobre los objetos. Puede observarse únicamente en los días soleados. A continuación en la figura 1.8 se muestra las horas pico de sol o HSP, área bajo la curva, se puede llevar a un área aproximadamente cuadrada conformada por la sumatoria del

área bajo la curva sobre la unidad de $1\ 000\ \text{W/m}^2$.(Stapleton G., 2012)

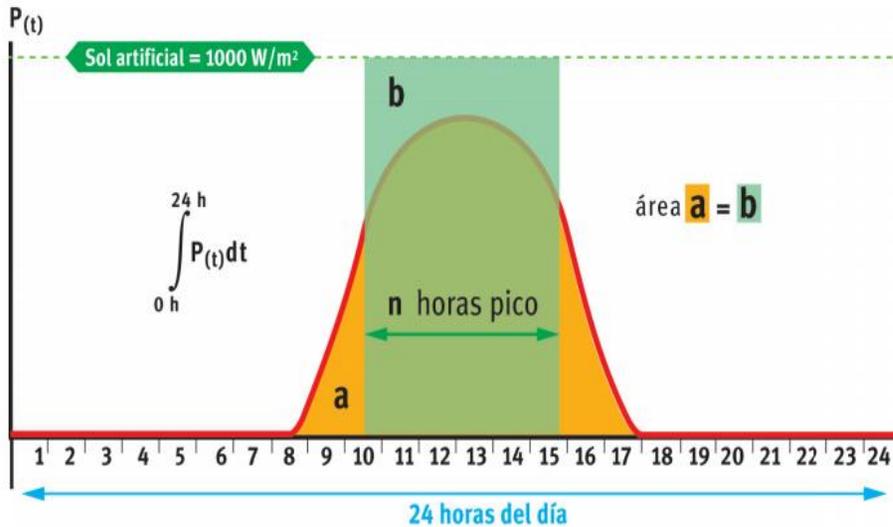


Figura 1.8: Potencia en watt y horas pico. Tomado de (Solargis., 2018).

Desde el punto de vista energético, es una de las fuentes renovables cuya instalación, gestión y uso es más accesible para las personas, o las empresas. De hecho, la energía solar fotovoltaica está viendo incrementado su uso en las zonas climáticas más favorables, e incluso con los recientes planes de subvenciones han aumentado las facilidades para usarla como autoconsumo.

Dependiendo de su procedencia y cómo es procesada, existen diferentes tipos:

Energía solar térmica

Este sistema aprovecha el aporte calorífico que brinda el Sol. La radiación solar se convierte en energía térmica para calentar un fluido que se puede utilizar para diversos usos como puede ser la calefacción o el agua caliente sanitaria. En cuanto a las centrales solares hay que destacar dos tipos: las termoeléctricas, que calientan un fluido para obtener vapor de agua y mover la turbina que genera electricidad; y los parques fotovoltaicos, que dominan la reacción del silicio que convierte la luz en electrones.

Energía solar fotovoltaica.

Este tipo de energía permite la obtención directa de electricidad a partir de la radiación solar. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones con paneles solares fotovoltaicos. Una de las grandes ventajas

de esta tecnología es que es modular: los paneles pueden usarse para el autoconsumo (brindar electricidad en hogares o edificios) o también para abastecer a la red eléctrica a través de grandes centrales.

Energía solar pasiva.

La energía solar pasiva aprovecha directamente la energía directa procedente del sol sin realizar ninguna transformación. Por tanto, no es necesario utilizar ningún dispositivo eléctrico para transformar una corriente a otra y para acumular la energía, como sí sucede con la energía activa de los otros dos tipos anteriormente explicados.

Tecnologías de energía solar a través de la historia.

La energía fotovoltaica es la más extendida en grandes instalaciones o huertos solares, y sus paneles transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Fue el físico francés Edmond Becquerel quien lo descubrió en 1839 al percatarse de que una celda de electrodos metálicos producía más electricidad a través de una solución conductora cuando quedaba expuesta a la luz.

En 1883, el científico norteamericano Charles Fritts creó la primera célula fotoeléctrica utilizando el selenio por material semiconductor. Hoy, la industria emplea masivamente el silicio como ingrediente fundamental en el proceso.

Existen ensayos operativos con materiales derivados del carbono en paneles orgánicos, que aportan ventajas como la posibilidad de adaptarlos a superficies irregulares. Esto podría facilitar y abaratar su instalación por ejemplo en entornos urbanos y para usos domésticos.

El primer módulo fotovoltaico lo desarrollaron en 1954 ingenieros de la NASA para alimentar con luz solar los equipos de comunicación de los satélites. A mediados de los años setenta, los avances fotovoltaicos llegaron al ámbito civil, aunque la capacidad de aquellos módulos era bastante inferior a la de los actuales.

1.6 Energía Solar Fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es uno de los recursos energéticos más abundantes de la Tierra. A la postre, es un recurso energético renovable que puede proporcionar la energía adecuada para las necesidades de una casa, una nave industrial, etc.

El rendimiento de la inversión en energía solar es muy valioso, y no sólo desde el punto de vista económico, sino también por el bien de la salud pública y la sostenibilidad medioambiental.

Cada año que pasa, la energía solar se hace más popular entre los propietarios de viviendas y empresas, a medida que la gente conoce sus numerosas ventajas y los costes de instalación disminuyen.

La palabra Fotovoltaico significa electricidad a partir de la energía del sol y deriva de las palabras «foto», que en griego significa luz, y «voltaico», que significa tensión. El término «fotovoltaico» se utiliza para describir un proceso conocido como «efecto fotovoltaico», el proceso por el cual un material como el silicio convierte la luz solar en electricidad. El objetivo de la tecnología fotovoltaica es convertir la luz solar directamente en electricidad sin necesidad de una interfaz para la conversión. Este equipo tiene un diseño sencillo y es fácil de manejar.

La luz solar en forma de fotones incide en las células fotovoltaicas, excitando los electrones del silicio. En definitiva, la corriente eléctrica se genera cuando los electrones son recogidos por el cableado incorporado a las células fotovoltaicas.

En conclusión, un panel solar está formado por múltiples células fotovoltaicas, cuya cantidad dependerá de la tensión y la corriente de salida que requiera el panel solar. El tamaño de los paneles solares oscila entre los 5 y los 400 vatios de potencia máxima y producen corriente continua. Ver Anexo 1.

1.6.1 Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV).

En pocas palabras, la energía solar fotovoltaica es una tecnología avanzada que produce electricidad a partir de la luz solar sin necesidad de piezas móviles. En una célula fotovoltaica, la luz solar separa los electrones de sus átomos de silicio. Los electrones capturan pequeños paquetes de energía lumínica, llamados fotones, y transmiten la energía suficiente para liberar el electrón de su átomo anfitrión.

La célula solar fotovoltaica es la unidad básica de un sistema fotovoltaico y consiste en la asociación de dos finas capas de diferentes materiales semiconductores, que son los únicos que absorben la energía de los fotones de la luz solar. Uno es el semiconductor

positivo (tipo P) y el otro el negativo (tipo N). El silicio es el más utilizado para fabricar células solares fotovoltaicas, debido a su idoneidad y eficiencia.

Por un lado, los semiconductores de tipo P están hechos de silicio cristalino dopado con una cantidad muy pequeña de una impureza (por ejemplo, boro), lo que hace que el material sea deficiente en electrones.

Por otro lado, los semiconductores de tipo N también están formados por silicio cristalino, pero dopado con pequeñas cantidades de otra impureza (por ejemplo, fósforo), por lo que estos materiales tienen un exceso de electrones libres.

El principio del sistema fotovoltaico se produce cuando al añadir energía, los electrones se activan en un semiconductor. Es decir, con la adición de energía de la luz solar, los electrones del sistema fotovoltaico se activan y pasan de un estado energético inferior a otro superior. Esto conduce a la generación de electricidad, en un semiconductor. En esencia, un sistema fotovoltaico se compone

de varias partes, como las células fotovoltaicas, los conjuntos eléctricos y mecánicos, así como los medios para cambiar y/o regular la energía eléctrica.

En lo que respecta a las superficies delantera y trasera pueden conectarse entre sí mediante un circuito externo para extraer corriente, tensión y energía de la célula solar. Además, las células solares se empaquetan detrás de un vidrio para formar paneles fotovoltaicos, cuya vida útil suele ser de 20 a 40 años. Por lo general, las placas fotovoltaicas montadas en los tejados de los edificios pueden producir tanta electricidad como la que consume el edificio.

En definitiva, se conectan varios paneles solares en cadenas para construir un conjunto solar. El tamaño de la matriz dependerá de la cantidad de energía que se necesite generar. Por ejemplo, un módulo típico genera unos 200 kW/h (AC) por $m^2/año$, por lo que se necesita una superficie de colectores de 25-50 m^2 para alimentar una casa razonablemente eficiente desde el punto de vista energético. Una casa así exporta más electricidad a la red durante el día que la que importa por la noche.

Por otro lado, la energía de corriente continua de la instalación solar puede almacenarse en baterías solares y convertirse en corriente alterna mediante un inversor cuando sea necesario, o bien se puede convertir la energía solar directamente en corriente alterna con

un inversor conectado a la red y verter el exceso de energía en la red nacional para obtener la compensación estipulada.

Además, las instalaciones fotovoltaicas consiguen un aumento de la eficiencia energética gracias a la posibilidad de ajustar el desplazamiento del panel fotovoltaico en función del movimiento del sol.

1.6.2 Clasificación de los Sistemas Solares Fotovoltaicos.

Según el criterio de diversos autores, (Perpiñán, 2018), (Stolik, 2019), (Benito G. y Ruiz, 2018), (Obrero, 2011)), expuestos en la bibliografía consultada, los sistemas SSFV pueden ser clasificados en aislados y conectados a la red, dependiendo del objetivo de la instalación y sus características principales. A continuación, se explica dicha clasificación:

- **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.**

Un Sistema Fotovoltaico conectado a la red es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional. Como se muestra en la figura 1.9, está compuesto por el generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La energía producida por este sistema es consumida parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo. (Perpiñán, 2018).

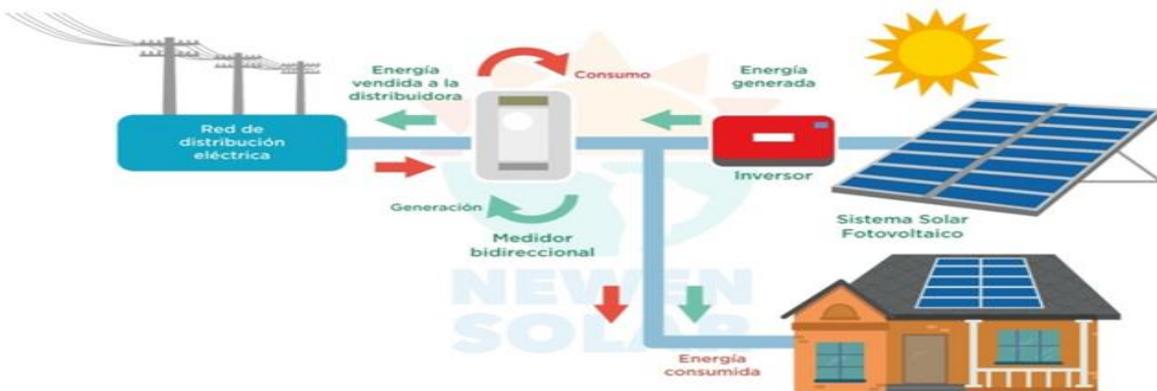


Figura 1.9: Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red. Nota: Tomado de (Newsolar., 2018).

- **Sistemas Fotovoltaicos Aislados.**

Los sistemas fotovoltaicos de los sistemas remotos aislados, generalmente, incorporan baterías eléctricas para utilizar la electricidad fotovoltaica en forma diferida en ausencia de

luz solar y en múltiples aplicaciones importantes (Ver figura 1.10). Por lo general son sistemas de poca potencia (Stolik, 2019).

Un sistema solar fotovoltaico aislado produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo (Benito G. y Ruiz, 2018).

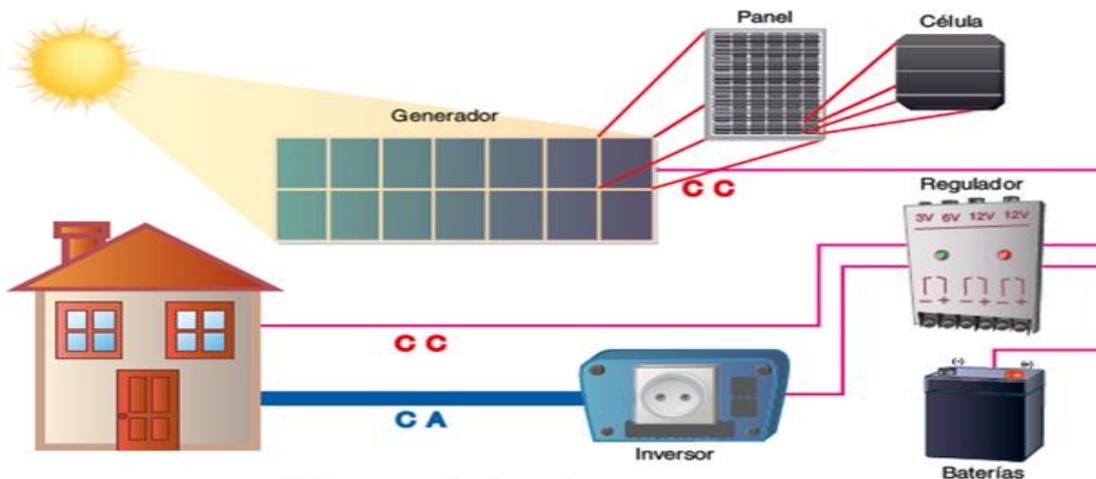


Figura 1.10: Sistema Solar Fotovoltaico Aislado. Nota: (Obrero, 2011)

En un SSFV aislado los inversores suelen incorporar un mecanismo de regulación de descarga que permite esta conexión. El funcionamiento de estos inversores es, en muchos aspectos, similar al de los inversores de conexión a red, pero con varias peculiaridades. La principal diferencia está en su salida: dado que estos inversores no están conectados a una red con la que sincronizar, deben funcionar como fuentes de tensión y no como fuentes de corriente (Perpiñán, 2018).

1.6.3 Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico.

Los paneles fotovoltaicos se componen de células individuales conocidas como células solares. Cada célula solar genera una pequeña cantidad de electricidad. Cuando se conectan muchas células solares juntas, se crea un panel solar que crea una cantidad sustancial de electricidad.

En el fondo, los sistemas fotovoltaicos varían en tamaño, dependiendo de la aplicación: pueden ir desde sistemas pequeños, montados en tejados o integrados en edificios, con capacidades de decenas de kilovatios, hasta grandes estaciones de servicios públicos que generan cientos de megavatios de energía eléctrica. Hay sistemas fotovoltaicos que se conectan a la red eléctrica (sistemas directos o híbridos) y otros que permiten al usuario desconectarse de la red (sistemas aislados). Por tanto, el proceso de convertir la luz (fotones) en electrones genera electricidad de corriente continua en las células solares.

La electricidad de corriente continua (CC) puede utilizarse para cargar baterías y hacer funcionar diversos aparatos electrónicos, pero para suministrar energía a un hogar o una empresa, la CC ha de convertirse en AC (corriente alterna).

La red eléctrica transmite la energía a largas distancias utilizando la corriente alterna. En nuestros hogares, algunos aparatos electrónicos pueden funcionar con corriente alterna y otros con corriente continua. Una vez que la corriente alterna llega al usuario final, se puede volver a convertir en corriente continua si es necesario.

La mayoría de los kits de energía solar fotovoltaica actuales son modulares, lo que significa que permiten al usuario añadir o quitar capacidad de energía al sistema en cualquier momento. Después de todo, estos sistemas ofrecen a los clientes la flexibilidad necesaria para ajustar su capacidad de energía a medida que cambia la demanda.

En los sistemas de energía fotovoltaica hay muchos otros componentes además de las células solares. Estos componentes incluyen el cableado, los protectores de sobretensión, los interruptores, los componentes de montaje mecánico, los inversores, las baterías y los cargadores de baterías. Estos componentes son los que distribuyen y almacenan la electricidad de forma segura y eficiente. Además, pueden suponer hasta la mitad del coste total de un sistema fotovoltaico.

Un SSFV cuenta con varios componentes, a continuación, se describen los mismos según la bibliografía consultada:

- **Módulos fotovoltaicos**

El módulo fotovoltaico es el panel que reúne cierta cantidad ordenada de celdas fotovoltaicas más otros materiales. El módulo toma el nombre de los tipos de celdas que la integran; la celda fotovoltaica es el elemento más característico e importante del módulo

fotovoltaico (Stolik, 2019)(Ver Anexo 1). Los módulos pueden ser calificados en función de su tecnología de fabricación según (García, 2016) en:

- Silicio monocristalino: Fabricados en base a lingotes de silicio puro. Posee un rendimiento en laboratorio de 25 % y un rendimiento comercial entre 14-16 %.
 - Silicio policristalino: Fabricados en base a la refundición de piezas de silicio puro produciendo rendimientos menores al monocristalino. Los rendimientos de laboratorio se encuentran alrededor del 20,4 % y su rendimiento comercial entre los 12-14 %.
 - Silicio amorfo: Fabricados también en base a la refundición de silicio puro y, además, combinado con múltiples capas u otras tecnologías, entregando rendimientos que supera el 18 %.
- **Inversores.**

Son utilizados para convertir la corriente directa (CD) en alterna (AC), reducen automáticamente la potencia en caso de sobre frecuencias, para estabilizar la frecuencia de la red, cuando se genera más energía de la necesaria. Poseen la capacidad de suministrar potencia reactiva que ayuda a mantener la estabilidad en la tensión de la red. Se pueden emplear para compensar desfasajes no deseados y poseen protecciones de apoyo dinámico que protegen la red en caso de fallo y ayudan a evitar la propagación de un fallo o al menos limitarla (Stolik, 2019)), (Obrero, 2011)).

- **Dispositivos de almacenamiento o baterías.**

Las dos aplicaciones más importantes del almacenamiento eléctrico en baterías son para el transporte y para la generación diferida de electricidad en ausencia o disminución de la radiación solar (Perpiñán, 2018)

En sistemas solares fotovoltaicos aislados se requiere un equilibrio relativo en importancia entre las celdas solares, que son el corazón del sistema, y el sistema de almacenamiento de energía, debido a que no es frecuente que la radiación solar coincida perfectamente con los requerimientos de energía ni que el sol esté disponible todo el tiempo (Stolik, 2019)En cuanto al tipo de baterías que pueden utilizarse deben mencionarse básicamente tres: baterías de plomo, baterías de níquel cadmio (Ni-Cd) y baterías Li-ion (García, 2016).

- **Estructuras y soportes.**

Los soportes físicos son los que sostienen los módulos en una determinada posición por toda la vida útil del sistema fotovoltaico (Stolik, 2019). Su función principal es optimizar la resistencia y la fijación de la estructura del módulo y la instalación del SSFV. Los paneles fotovoltaicos deben montarse en una estructura estable y duradera que además de soportar la matriz o el campo fotovoltaico resista los embates del viento, la lluvia, el granizo y otras condiciones adversas. (Ortiz, 2013).

Características de las estructuras de soporte: Los módulos fotovoltaicos se colocan sobre la denominada estructura soporte, la cual deberá cumplir las especificaciones de diseño de la instalación (orientación y ángulo de inclinación).

Existen dos tipos de estructura soporte: la fija y la móvil. Las estructuras fijas tienen una orientación e inclinación precisa que se calcula a la hora de diseñar la instalación. Este tipo de montaje tiene la ventaja de ser más sencillo que los demás. Por otro lado, las estructuras móviles son aquellas utilizadas en las llamadas “huertas solares” donde los paneles pueden orientarse en torno a la posición del Sol. (Raboso López, 2013)

La estructura soporte deberá resistir el peso de los módulos fotovoltaicos y las sobrecargas del viento o inclemencias del tiempo, así como las posibles dilataciones térmicas provocadas por aumentos de temperatura en diferentes estaciones del año.

- **Cables de conexión.**

Los cables y conectores deben ser resistentes a los rayos UV, al ozono, a las exigencias mecánicas y a las variaciones extremas de temperatura. Por otro lado, no debe descuidarse la regulación (caída de voltaje) entre la matriz fotovoltaica y el inversor. Los conductores para corriente continua deben tener doble aislamiento y ser alambres de cobre (Ortiz, 2013). El cableado es el encargado de transportar la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos hasta el inversor, donde se transforma en corriente alterna para su posterior utilización (Stolik, 2019).

- **Regulador.**

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil. (Obrero, 2011).

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. (Obrero, 2011).

1.6.4 Mantenimiento a los Sistemas Solares Fotovoltaicos.

El control de las fallas se debe realizar mediante un plan de mantenimiento, esto nos permite una mayor seguridad y vida útil, se plantea como principales componentes los siguientes:

- **Preventivo:** Se debe disponer de un plan de mantenimiento preventivo, que incluya:
 - Operaciones de inspección visual.
 - Otras operaciones de funcionamiento dentro de los límites aceptables.
 - Medición de la resistencia de aislamiento en caso de haber humedad o ruptura del vidrio.
 - Realizar un análisis de datos en el inversor.
 - Monitoreo en tiempo real que muestre datos eléctricos, ambientales, configuración de mensaje de alarmas.
 - Mapa de la planta fotovoltaica para la supervisión visual de distintos equipos para controlar los parámetros de producción (tensión, intensidad, potencia).
 - Revisar conexiones de los sensores que se encuentren en buen estado y no presenten deterioros o rupturas. (Stolik, 2019).
- **Correctivo:** Realizar todas las operaciones de sustitución necesarias, para asegurar que el sistema funciona correctamente durante su vida útil; lo cual incluye:
 - Visita a la instalación en los plazos indicados y cada vez que el usuario lo requiera por avería grave.
 - Análisis y definición de presupuestos de los trabajos y reposiciones necesarias.
 - Revisar que los costos económicos formen parte del precio anual del contrato de mantenimiento.

El mantenimiento se debe realizar por personal técnico calificado, bajo la responsabilidad de la empresa instaladora, pues se busca maximizar la generación de energía, evitar los tiempos de inactividad, minimizar las fallas, evitar las fallas más costosas y aumentar la

vida útil de la planta fotovoltaica. Aunque un sistema fotovoltaico funciona automáticamente, un mantenimiento regular es una tarea indispensable y necesaria y deber ser realizada con determinada frecuencia. Ver tabla 1.1. Fuente (Aguilera, 2020).

Tabla 1.1: Resumen de la frecuencia de mantenimiento. Nota: Tomado de (Aguilera y. G., 2020).

Equipo	Frecuencia	Mantenimiento
Transformador de voltaje medio.	1 año	Nivel de aceite, temperaturas, fugas, sistemas de ventilación, entre otros.
	2 año	Comprobar la existencia de corrosión en la parte superior de la estructura del armario del transformador. Funcionamiento, deterioro, decoloración de fusibles, entre otros.
	6 años	Tomar muestras y pruebas de aceite y tratarlo de ser necesario.
Equipo de conexión de medio voltaje.	1 año	Inspección visual, limpiar la celda, comprobación de cada accesorio, comprobar el etiquetado de seguridad y comprobar las conexiones con los relés de protección.
	6 años	Comprobar las uniones, comprobar el estado de los fusibles, interruptores y accesorios.
Sistema de medición de energía.	1 año	Revisión, limpieza y comprobación de accesorios y conexiones eléctricas.
Sistema de comunicación	De ser necesario	Revisión de las instalaciones, verificación de los indicadores de funcionamiento, limpieza y comprobación de todas las conexiones.
Sistema de monitoreo	1 año	Verificación de indicadores de funcionamientos, alarmas, conexiones y uniones, limpieza externa de los accesorios, entre otros.
Sistema de medición meteorológico.	Seis meses	Verificación de alarmas, inspección visual y limpieza de los accesorios, comprobación de las conexiones, entre otros.

Estructura del soporte	Seis meses	Inspección visual de partes fijas y uniones, limpieza y tratamientos en la zona afectada.
Módulos	1 año	Análisis de varianza, inspección visual de los cables, inspección termografía.

1.6.5 Fallas y prácticas inadecuadas en la explotación de Sistemas Solares Fotovoltaicos.

Existe un número significativo de errores que pueden darse debido a una formación insuficiente de los instaladores sobre la disponibilidad y parámetros técnicos de los diferentes componentes fotovoltaicos (EPIA., 2011).

Los fallos más comunes son una combinación o acumulación de acciones no óptimas en las diferentes etapas o simplemente debido a la comunicación incorrecta o inadecuada entre los diseñadores e instaladores. Para evitar este tipo de fallos, el sector fotovoltaico necesita personal diversificado y cualificado. Una mano de obra cualificada exige una formación y sistema de certificación adecuados (Marín, 2018)

Partiendo del criterio de varios autores se construye la tabla 1.2 que resume las posibles fallas en SSFV (EPIA., 2011), (Gómez, 2020).

Tabla 1.2: Resumen de las principales fallas en SSFV. Nota: Tomado de (Álvarez, 2021).

Selección de ubicación	
Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Orientación	Instalaciones orientadas norte / oeste
Inclinación	Diferentes azimuts o inclinaciones en la misma rama o string. Sistema no inclinado conforme al ángulo apropiado para su latitud (para el mejor rendimiento a lo largo de todo el año).
Sombreado	Colocar el sistema en una zona rodeada de árboles y / o edificios. No se tiene en cuenta el sombreado estacional.

Corrosión	Los módulos están ubicados en las zonas expuestas al agua salada.
Biodiversidad (para grandes sistemas sobre el suelo)	Se descuida el potencial impacto para la vida salvaje debido a un estudio de impacto ambiental inadecuado.
Diseño y planificación del sistema	
Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Carga estructural	No se considera la antigüedad y las condiciones del tejado. Uso inadecuado de estructuras que eviten problemas de estabilidad. No respetar el código técnico de la edificación.
Resistencia al viento	Montaje inadecuado. Sistema no montado sobre bases de hormigón.
Ubicación	No respetar el código técnico de la edificación y las normas de seguridad (por ejemplo, sobrecarga de la cubierta, falta de acceso a los bomberos). El BOS no está situado en recintos protegidos de las inclemencias del tiempo.
Equipos	Cables de tamaño insuficiente e inversor, optimizador de potencia (MPPT), protecciones, caja de conexiones y transformadores inadecuados.
Rayos / puesta a tierra	Sin protección contra rayos, puesta a tierra y protección contra sobretensiones. Sistema fotovoltaico instalado en un lugar expuesto. Permitir que el cobre (puesta a tierra de los equipos) entre en contacto con el soporte de aluminio y marcos de los módulos.
Conexiones eléctricas	Polaridad incorrecta. Protección del circuito incorrecta. Desadaptación: desadaptación del inversor o medida incorrecta de la generación de salida del inversor. Los recorridos de los cables eléctricos no están optimizados. No se tienen en cuenta los códigos eléctricos o reglamentos técnicos para la conexión a la red.
Los componentes del sistema, exceptuando los módulos fotovoltaicos, se conocen con el término en inglés BOS (Balance of system).	
Instalación física de los componentes	

Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Sombreado	No se mantienen las distancias entre las filas de los módulos.
Daño en el tejado	Perforación sin métodos de sellado adecuados
Corrosión	Materiales utilizados en el exterior que no sean resistentes a la luz del sol / rayos UVA
Configuración del campo fotovoltaico	Los módulos son sometidos a sobreesfuerzos debido a la expansión térmica de la estructura del soporte. Poner muy pocos módulos en serie para el correcto funcionamiento del inversor durante las altas temperaturas del verano. Ventilación insuficiente del módulo. Se utilizan módulos de diferentes configuraciones y diferentes valores de potencia nominal en el mismo campo fotovoltaico.
Inversor	Colocado en un lugar directamente expuesto a la luz del sol. Ventilación insuficiente. Colocado a larga distancia de la caja de conexiones del campo fotovoltaico. Instalado sobre o cerca de una zona inflamable.
Cableado	Cables tirantes o flojos. Soporte del cable inadecuado con una exposición a daños físicos. Múltiples cables entrando en un collarín para un solo cable.
Conductores	Conductores no sujetos a menos de 30 cm de las cajas de conexión. Curvado del cable demasiado cerca de las cajas de conexión.
Baterías	No instaladas en un recinto aislado del control u otros componentes fotovoltaicos. Instaladas cerca de materiales inflamables o radioactivos. Expuestas a la luz directa del sol.

	Expuestas a altas temperaturas.
Etiquetado y las señales de peligro	Ausencia o localización incorrecta.
Sensores	Mal colocados.
Cajas o elementos de paso	Cubrir las haciéndolas casi inaccesible para el servicio.
Seguridad	
Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Seguridad de los técnicos	No se utiliza el equipo de protección de caídas aun cuando es necesario. Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes. Trabajar en condiciones adversas: condiciones de humedad, vientos fuertes o superficies heladas en los tejados. El instalador anda sobre paneles. El inversor se instala después del cableado.
En caso de incendios	
Medidas de organización	No etiquetar el sistema fotovoltaico en cajas de conexiones y distribuidor principal del edificio con un signo indicador. Falta de planes de emergencia para los trabajadores.
Medidas estructurales	Cableado no resistente al fuego. Falta de trazado de los cables de CC fuera del edificio. El inversor se instala en el interior del edificio.
Medidas técnicas	Falta del interruptor de desconexión de CC en el área de caja de fusibles principal del edificio.
Mantenimiento / Inspección	
Técnico	No hacer anualmente el mantenimiento de conexiones mecánicas y eléctricas (corrientes y voltajes de circuito, electrolito de la batería, entre otros)

	<p>Superficie frontal de los módulos fotovoltaicos no cubierta durante el mantenimiento.</p> <p>No reemplazar componentes de montaje doblados, corroídos o dañados.</p> <p>No asegurar componentes sueltos o cierres.</p> <p>Los extintores de incendios no se encuentran en las proximidades de la batería.</p> <p>El propietario no sido informado / instruido para controlar con frecuencia el rendimiento del sistema.</p>
<p>Propietario (El instalador fotovoltaico deberá asesorar a los propietarios de las medidas de mantenimiento a seguir.)</p>	<p>No se registran los kWh producidos periódicamente (la desviación de los valores esperados puede ser un motivo para la comprobación del sistema).</p> <p>Los paneles no son debidamente lavados, cuando son necesarios.</p> <p>Los paneles se rayan durante el procedimiento de limpieza (al utilizar cepillos y detergentes fuertes).</p> <p>Los arboles cerca del sistema no son adecuadamente podados o recortados.</p> <p>Las superficies de las baterías no se mantienen limpias.</p> <p>No se comprueba el nivel de electrolito en las baterías.</p>

1.7 Costos relacionados con los Sistemas Solares Fotovoltaicos.

La capacidad de generación de energía renovable recién instalada cuesta cada vez menos que las opciones de generación de energía más baratas basadas en combustibles fósiles. De hecho, la tendencia no es solo que las energías renovables compitan con los combustibles fósiles, sino que los socaven significativamente, cuando se requiere nueva capacidad de generación de electricidad. (IRENA., 2020).

Entre 2000 y 2020, la capacidad de generación de energía renovable en todo el mundo aumentó 3,7 veces, de 754 GW a 2 799 GW, ya que sus costos se han reducido drásticamente, impulsados por tecnologías en constante mejora, economías de escala,

cadena de suministro competitivas y la mejora de la experiencia de los desarrolladores. (IRENA., 2020).

Las continuas disminuciones de costos confirman la necesidad de energía renovable como una solución climática y de descarbonización de bajo costo, alineando las necesidades económicas a corto plazo con los objetivos de desarrollo sostenible a mediano y largo plazo. Las instalaciones de energía renovable podrían constituir un componente clave de los paquetes de estímulo económico tras la pandemia de COVID-19 (IRENA., 2020).

El costo de la electricidad generada a partir de energía solar fotovoltaica registró un descenso del 82% entre 2010 y 2019 (Ver figura 1.11). Las mejoras de los costos experimentadas desde 2010 se han debido principalmente a la reducción del 90% en los precios de los módulos, junto con la disminución de los costos del balance del sistema.

Todo ello ha provocado una reducción de los costos totales de instalación de energía solar FV de casi el 85 % en la última década (IRENA., 2020).

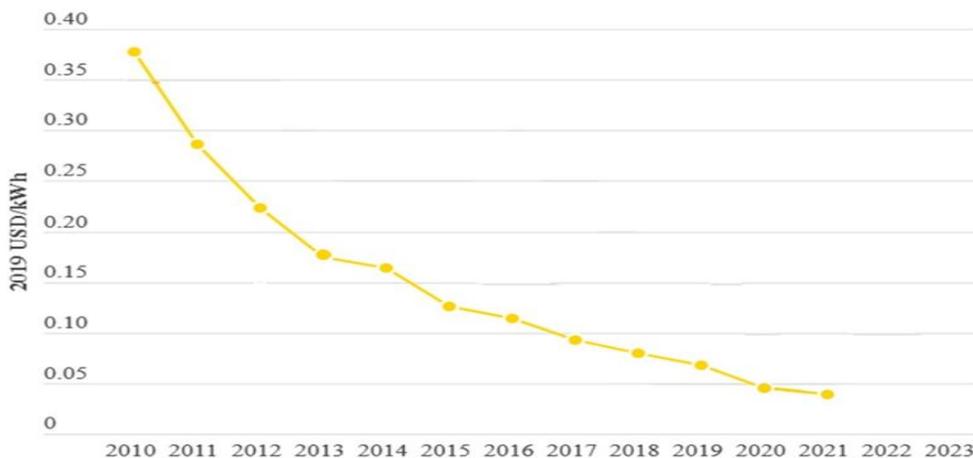


Figura 1.11: Tendencia de los costos de kWh de la energía fotovoltaica. Nota: Tomado de (IRENA., 2020).

El precio de los paneles fotovoltaicos generalmente se mide en términos de coste por vatios, es decir, la cantidad de energía que se produce o consume por unidad de tiempo. Hace una década los costos de los paneles solares estaba alrededor de los 6 dólares por Watt, mientras que en la actualidad está por debajo de 1 dólar cada Watt, como se muestra en la figura 1.12 (Carbonell, 2020).

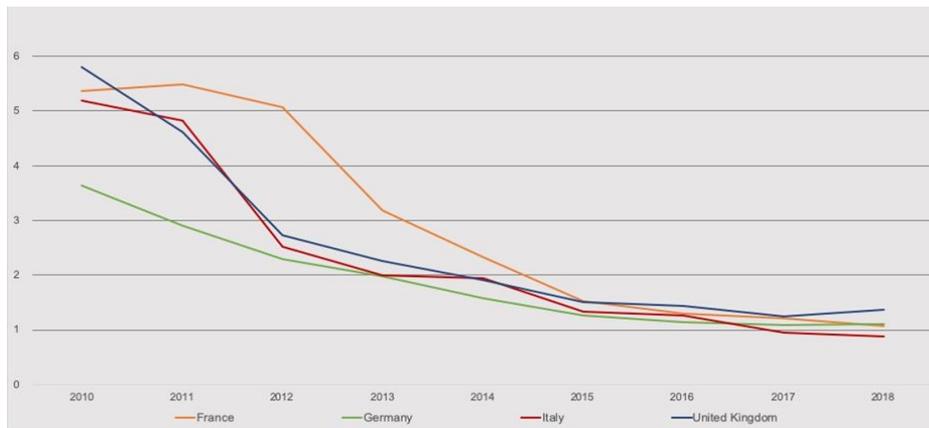


Figura 1.12: Tendencia del precio del panel solar fotovoltaico (\$/W). Nota: Tomado de (Carbonell, 2020).

(Stolik, 2019) plantea que para la evaluación económica de este tipo de instalaciones se debe tener en cuenta los siguientes elementos:

- Todos los costos iniciales y posteriores (módulos, inversores, estructura, cableado, obra civil, instalación y montaje y otras labores).
- Prestamos, créditos, otros financiamientos.
- Operación y Mantenimiento.
- Costos imprevistos.
- Impuestos por ganancias, permisos y arrendamientos.

1.8 Principales ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas.

Aunque ha sido bastante criticada por ser cara o ineficiente, la energía solar ha demostrado ser con el paso de los años una opción beneficiosa, no sólo para el medio ambiente sino también para la economía. La tecnología ha mejorado considerablemente en los últimos años y se ha complementado con sistemas de almacenamiento de baterías solares, convirtiendo la energía solar en una fuente de energía limpia mucho más eficiente.

Sin embargo, siempre hay desventajas, independientemente de la fuente de energía que se elija para analizar. A continuación, resumimos las principales ventajas y desventajas de los SSFV, resumidas de la consulta bibliográfica de diferentes autores. (Stolik, 2019), (EPIA., 2011), (Gómez, 2020).

Tabla 1.3: Ventajas y desventajas de los sistemas solares fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.

Ventajas	Desventajas
Energía limpia, pues no emite ningún tipo de residuo.	Las instalaciones exigen una gran superficie de suelo.
Fuente inagotable y gratuita de energía. Promedio de radiación estable y predecible	La radiación solar no es uniforme, pues su uso se limita a zonas de elevado número de horas de sol al año.
Compensan desigualdades: los países menos desarrollados disponen de ella y no necesitan importarla.	El coste de las instalaciones es alto en relación a su rendimiento.
Reducen la contaminación sonora ya que operan silenciosamente.	Aunque es una energía limpia, producir y mantener los paneles fotovoltaicos es contaminante.
Durabilidad, la mayoría de los módulos fotovoltaicos duran más de 25 años	Las instalaciones modifican el entorno inmediato, dada su magnitud.
Los módulos pueden ser añadidos gradualmente para incrementar la energía disponible.	La eliminación de los componentes de los sistemas fotovoltaicos provoca un peligro ambiental moderado.
No tiene costos por uso de combustible.	La mayoría de sus componentes pueden ser reciclados, excepto los semiconductores.
los excedentes que se crean en una instalación pueden verse a la red eléctrica y conseguir algunos beneficios	Baja eficiencia
Sol disponible en todo el mundo	Alto costo en sus inicios
Silicio disponible en todo el planeta	Carácter intermitente
La más instantánea de las energías solares	Es subsidiada
Sin partes móviles para sistemas fijos	El área es un problema para la capacidad de generación fotovoltaica

Aplicaciones versátiles en amplio rango de potencia
Accesibilidad y poco riesgo tecnológico
Fácil traslado y rápida instalación
Utiliza poca agua
Genera energía para su almacenamiento
Se puede utilizar en corriente directa y en corriente alterna
Se abarata continuamente

1.9 Métodos y metodologías de cálculo para la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos.

En la actualidad se pueden encontrar diferentes métodos y metodologías para realizar el cálculo de sistemas solares fotovoltaicos, según la revisión bibliográfica se destacan las siguientes:

- (E. Jiménez Borges R. Hernández Morales C. Monteagudo Yanes, 2020) proponen una secuencia de 14 pasos lógicos para la cubierta del edificio 7 de la Universidad de Cienfuegos con resultados positivos.
- (Becerra, 2019) plantea una metodología integradora compuesta por 12 pasos y es aplicada con resultados satisfactorios en la empresa de Materiales de la Construcción de la provincia de Cienfuegos, pasos que se muestran en el Anexo 2.
- Programas simuladores de instalaciones solares, los mismos permiten el diseño de instalaciones SFV, simular dichas instalaciones, además del cálculo de parámetros solares y sombras. Algunos de estos son Max-Design (SolarMax), Powador-PV-Pilot (KAKO New Energy), PVsyst (Instituto de Ciencias del Medioambiente de la Universidad de Génova), PVGIS (Comisión Europea), Solar-Pro (Laplace System Co). (Carratalá, 2017).
- (Benito G. y Ruiz, 2018) propone una ruta metodológica que consta de tres etapas y 12 pasos. Sus etapas son la recolección de información, realización de cálculos y matrices y análisis de resultados y recomendaciones. Ver Anexo 2.

1.10 Conclusiones parciales del capítulo I.

- 1- El uso de SSFV no contamina el medioambiente y es accesible a todos ya que su fuente de energía proviene del Sol. Sus instalaciones pueden ser pequeñas o de gran tamaño, adecuadas para abastecer las necesidades domésticas de una vivienda urbana o aislada, como para plantas de generación a gran escala conectadas a la red.
- 2- En nuestro país se produjeron en el año 2021, 12 MW de energía solar fotovoltaica en las cubiertas de industrias y edificios estatales, un dato que se planea elevar hasta los 700 MW anuales para el año 2030.
- 3- La proyección estimada del país es que, para el 2030, la participación de las FRE en la matriz eléctrica sea del 37 %, y que estas puedan cubrir el 60 % del incremento del consumo, donde se valora el hecho de convertir los hogares e incluso las instituciones estatales, en objetivos de energía positiva.
- 4- Los niveles de eficiencia de los paneles solares son relativamente bajos (entre el 14 % y el 25 %) en comparación con los niveles de eficiencia de otros sistemas de energía renovable, aunque en los últimos años se han complementado con sistemas de almacenamiento de baterías solares, convirtiendo la energía solar en una fuente de energía limpia mucho más eficiente.

Capítulo II: Caracterización constructiva y energética de la Sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro de la Provincia de Cienfuegos.

El BPA, fue creado mediante el Decreto-Ley No. 69 el 18 de mayo de 1983, con carácter de banco estatal integrante del sistema bancario nacional, con autonomía, personalidad jurídica y patrimonio propio mediante la Resolución No. 105 dictaminada por el Banco Nacional de Cuba, con fecha 4 de abril de 1997. Su capital fue aportado por el estado cubano y bajo el precepto de un funcionamiento independiente lo ha ido incrementando, mediante la capitalización de las reservas y ajustes por concepto de corrección monetaria. A partir de 1997, el Banco Popular de Ahorro comenzó a transitar por profundos cambios encaminados hacia dos objetivos fundamentales: ser rentables y constituir una banca universal para lo cual es indispensable disponer de un personal capacitado, motivado y leal capaz de responder a esta dinámica.

En este contexto se precisa la misión y visión del Banco Popular de Ahorro, como parte de la proyección estratégica de su desarrollo organizacional.

El Banco Popular de Ahorro tiene la **Misión** de captar y colocar recursos financieros a través de productos y servicios, con una orientación de banca universal, líder en el segmento de personas naturales. Con el uso racional y efectivo del capital humano, el fortalecimiento y desarrollo del mismo y de los recursos tecnológicos con que cuenta, que garantiza brindar al cliente una atención integral y de calidad en función de satisfacer sus necesidades.

Orienta su trabajo con la **Visión** de ser líder en la atención a las personas naturales con un control interno razonable y en fortalecimiento constante, mantiene la mayor red de Sucursales en el país, dotadas de un sistema informático único, posee un capital humano profesional que avanza hacia un desarrollo que le permite alcanzar niveles de competencia superior, comprometidos con la prestación de un servicio de calidad, dotados de valores sólidos y principios éticos que garanticen las características que lo distinguen.

2.1 Descripción de la sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro.

La entidad del Banco Popular de Ahorro cuenta con una plantilla cubierta de 43 trabajadores, de ellos 38 son mujeres y 5 hombres; según categoría ocupacional:

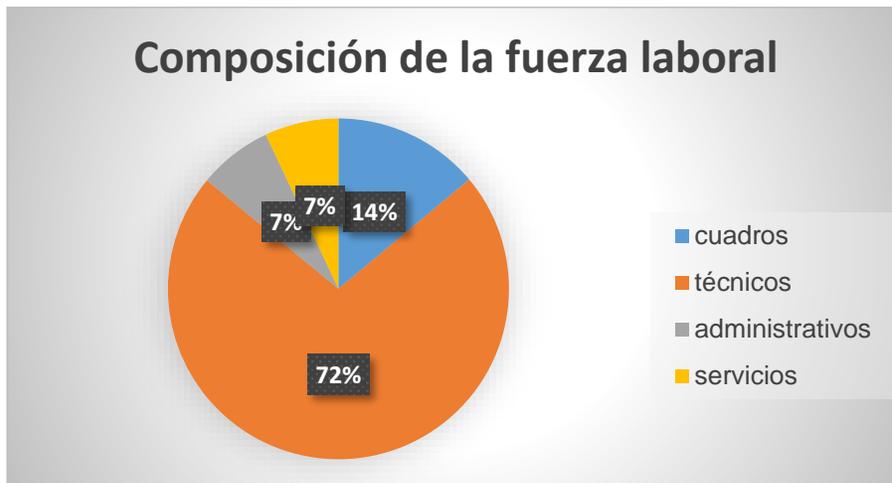


Figura 2.1: Composición de la fuerza de trabajo por la categoría ocupacional. Fuente (Elaboración propia).

Como se observa en la figura 2.1 el peso mayor de la fuerza de trabajo se centra en los técnicos, representando el 72 % del total, el 14 % constituye a los cuadros y se distribuyen en un 7 % respectivamente los administrativos y el personal de servicios.

En la figura 2.2 se expone el nivel educacional en la empresa. Se observa que el 40% lo representan los graduados de nivel superior, los demás trabajadores se encuentran entre el técnico medio con un 33 %, medio superior en un 23,2 % y el 2 % los obreros calificados y graduados de 9^{no} grado respectivamente.



Figura 2.2: Distribución por nivel de escolaridad. Fuente: (Elaboración propia).

2.2 Caracterización constructiva.

Descripción del Inmueble:

Es una construcción con influencia neoclásica, la cual fue remodelada y se desconoce la fecha de construcción. El puntal es de +- 3.50m y un 40 % del inmueble con puntal de 2,70 m. La cubierta es de hormigón armado y rasilla, presenta dos columnas de 40x40 cm en el salón, con vigas de hormigón en sentido transversal. Las paredes son de mampostería y pisos de losas de cerámica. Carpintería y ventanas de aluminio y cristal (MICALUM).

Datos Generales:

Provincia: Cienfuegos

Municipio: Cienfuegos

Consejo Popular: San Lázaro

Asentamiento Urbano.

Manzana (UBIT): 324

Número Postal: 4713

Dirección: Avenida 64 # 4713, entre 47 y 49, Cienfuegos

Tipo de Uso: Banco

Nombre de la Entidad: Sucursal 4792 Calzada

Medidas y Linderos:

Frente: 10,43 m

Fondo: 10,43 m

Lateral izquierdo saliendo del inmueble: 35,65 m

Lateral derecho saliendo del inmueble: 35,65 m

Declaración realizada por la entidad sobre la descripción del inmueble:

- Esta edificación pasa a ser sucursal del B. P. A. en 1983. Este inmueble con influencia neoclásica fue remodelado en 2001 y cuenta con un solo nivel. Las paredes son de mampostería con pisos de cerámica y carpintería de aluminio y cristal parsol.

Área Total Construida = 296,02 m²

Área Total = 366,24 m²

En el Anexo 4 podemos apreciar el Croquis de la Sucursal 4792, donde se muestra la composición por áreas de la edificación en cuestión. Fuente: Departamento de Aseguramiento.

2.3 Localización y orientación de la instalación caso de estudio.

La sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro del municipio de Cienfuegos posee los siguientes límites:

Al Frente: Ave 64

Al Fondo: Patios de viviendas que salen a Ave 66

Lateral izquierdo: Pasaje de viviendas # 4709 A

Lateral derecho: Almacén Fábrica de Calzado

Las Coordenadas Geográficas dentro de las cuales se encuentra enmarcada la sucursal 4792 del BPA de Cienfuegos son: 22.149844° latitud norte y -80.443554° longitud oeste.

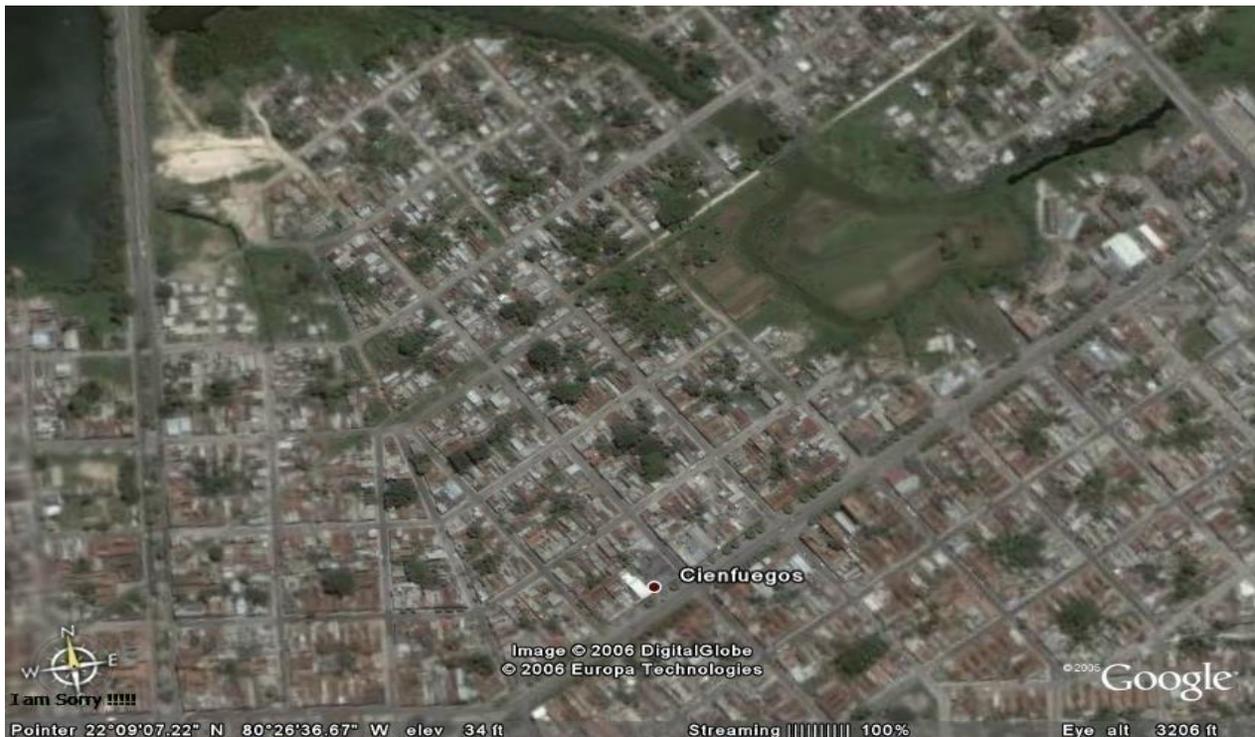


Figura 2.3: Localización geográfica de la sucursal caso de estudio. Fuente: Google.

2.4 Caracterización energética, y portadores energéticos que posee la unidad.

La organización de la Sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro (BPA), para el desempeño exitoso de sus actividades y el correcto cumplimiento de su objeto social, utiliza diferentes portadores energéticos, los cuales se muestran a continuación.

Recurso agua: El recurso agua que suministra a la organización es por la empresa de Acueductos y Alcantarillados amparado bajo un contrato legal. El agua accede a la instalación desde la tubería maestra que también abastece de agua a otros consumidores de la zona y a través de una acometida se distribuye hacia la instalación donde provee a los puntos internos de consumo de agua, los cuales son: baños sanitarios y lavamanos.

El agua se utiliza para diferentes actividades como son:

- Actividades domésticas (aseo del personal, fregado de utensilios de cocina, baños sanitarios, limpieza de pisos, entre otros).

Combustibles: La recepción de los combustibles se realiza mediante tarjetas magnéticas que se recargan en FINCIMEX. A través de estas tarjetas se compra el combustible a la Empresa Comercializadora de Combustibles para el funcionamiento de los Grupos Electrónicos de Emergencia (GEE).

Energía eléctrica: El Sistema Eléctrico de la Sucursal, caso de estudio comprende los sistemas de recepción, transformación y consumo provenientes del Sistema Energético Nacional (SEN), este consumo se mide a través del metro-contador instalado en el cual se registran las lecturas del consumo diario. La tarifa aplicada es la de tipo B-1 (Tarifa de Baja tensión).

Para la realización del censo de carga de la sucursal caso de estudio, se tomaron las lecturas de consumo de energía representados en kWh, de los diferentes meses del año 2021 y lo que va del año en curso; así como su importe en moneda nacional según tarifa vigente: Tarifa de Baja tensión B-1 Por cada kWh consumido en cualquier horario, en nuestro caso la tarifa de pago de electricidad tuvo un promedio de 3,14 CUP por kWh consumido en los años 2021 y hasta septiembre 2022. Ver tabla 2.1. El propósito principal de este censo de cargas es conocer la demanda eléctrica total de la sucursal y lo que representan en gastos para la empresa.

Tabla 2.1: Consumo de energía eléctrica por meses de la sucursal caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

MES	TARIFA	kW/h TOTAL	IMP. (CUP) FACT	PENALIZ	IMP. TOTAL (CUP)
ENER 21	B1	3 608	11 283,11	470,13	10 812,97
FEB 21	B1	3 373	9 785,59	407,74	9 377,85
MAR 21	B1	4 041	12 094,72	503,95	11 590,77
ABRIL 21	B1	4 270	13 611,13	567,13	13 04,00
MAYO 21	B1	4 111	13 20,93	550,42	12 65,51
JUNIO 21	B1	3 897	12 586,51	524,44	12 062,07
JULIO 21	B1	3 576	11 690,62	487,11	11 203,51
AGOST 21	B1	3 212	10 253,07	427,21	9 825,86
SEPT 21	B1	3 966	12 731,25	530,47	12 200,78
OCT 21	B1	4 014	13 459,41	560,81	12 898,60
NOV 21	B1	3 964	12 314,90	513,12	11 801,78
DIC 21	B1	3 929	11 677,90	486,58	11 19,32
ENER 22	B1	3 677	10 921,04	455,05	10 46,99
FEB 22	B1	3 701	11 024,01	459,34	10 564,67
MAR 22	B1	4 115	12 374,35	515,60	11 858,75
ABRIL 22	B1	4 000	12 530,38	522,10	12 008,28
MAYO 22	B1	4 073	13 222,10	550,93	12 671,17
JUNIO 22	B1	3 558	11 376,59	474,03	10 902,56
JULIO 22	B1	3 451	11 118,69	463,28	10 655,41
AGOST 22	B1	3 212	10 25,07	427,21	9 825,86
SEPT 22	B1	3 488	11 295,40	470,65	10 824,75
TOTAL		79 236	248 813,76	10 367,3	238 446,45

En el Anexo 5 se puede apreciar el estudio de cargas realizado en la Sucursal caso de estudio, el cual nos brinda información detallada de todos los equipos que consumen electricidad en dicho establecimiento.

A partir de los datos brindados por la empresa de los consumos de energía por meses en los años 2021 y 2022 se obtiene un consumo total de 79 236 kWh, equivalente a \$24 8813,76 CUP, lo que representa que más del 85 % de los gastos, provienen del consumo

de la energía eléctrica, en las tablas 2.2 y 2.3 se refleja el comportamiento de los portadores energéticos y sus gastos.

Tabla 2.2: Consumo de los portadores energéticos en el año 2021 y lo que va del 2022. Fuente: (Departamento de Contabilidad).

Portadores	Unidad Medida	2021	2022
Energía Eléctrica	(kW/h)	45 961,00	33 275,00
Combustible Diesel (GEE)	Lt	589,06	1 197,00
Agua	m ³	978,57	648,0

Tabla 2.3: Impacto de la energía eléctrica en los gastos de los portadores energéticos de la Sucursal (CUP). Fuente: (Departamento Contabilidad).

Portadores energéticos	2021	2022
	Energía Eléctrica	144 317,54
Combustibles (diésel para GEE)	8248,50	16 746,03
Agua	2 740,00	1 814,40
Total Portadores energéticos	155 306,04	123 043,93
Por ciento (%) Portador Energía Eléctrica	92,92	84,91

Como se aprecia en las tablas anteriores el portador energético energía eléctrica representa el 92,92 % y 84,91 % de los gastos totales de la empresa en los años 2021 y 2022 respectivamente; esto asociado directamente a la situación actual energética de nuestro país nos da una medida de la importancia que posee la implementación de un sistema solar fotovoltaico como apoyo al consumo de este portador energético.

2.4.1 Control energético.

El control energético se realizará en este trabajo fundamentalmente sobre la base de la energía eléctrica porque es el recurso que se quiere sustituir por una fuente renovable.

En las figuras 2.4 y 2.5 se muestra el consumo de electricidad en kWh por meses en el año 2021 y hasta septiembre del año en curso de la sucursal del BPA en Cienfuegos, donde muestran que el rango de consumo se encuentra entre 3 200 – 4 300 kWh, sin llegar a sobrepasar el máximo de kWh que tiene como plan mensual la sucursal caso de estudio para satisfacer sus necesidades de energía eléctrica.

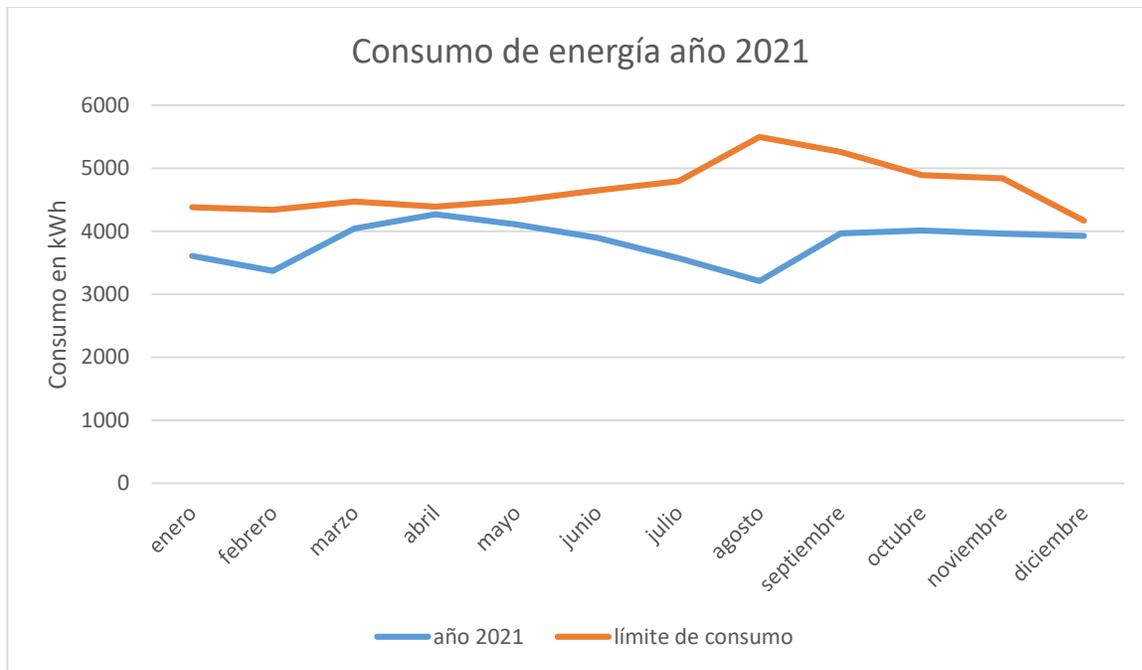


Figura 2.4: Consumo de energía en el año 2021. Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que, en el año 2021, el mes en el que se consume mayor cantidad de energía (representada en kWh), fue el mes de abril con 4 270 kWh, y el mes en el que se consume menor cantidad de energía es el mes de agosto con 3 212 kWh.

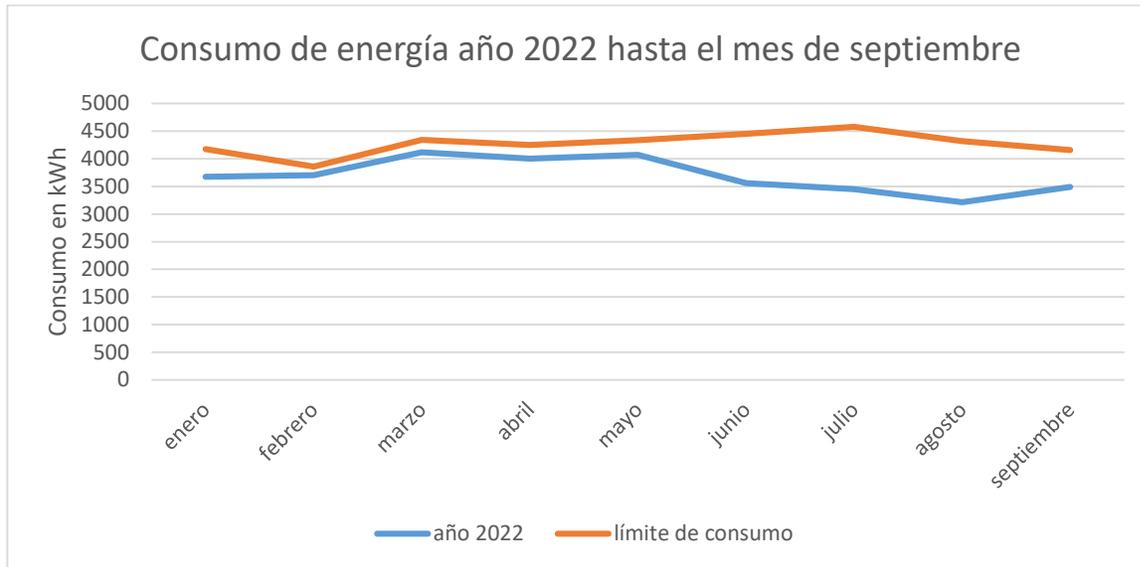


Figura 2.5: Consumo de energía en el año 2022. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se puede apreciar que en el mes de marzo del año en curso el consumo fue de 4 115 kWh, por lo que fue el mes en el que se consumieron la mayor cantidad de kWh, y nuevamente el mes de agosto fue en el que se consumieron una menor cantidad de kWh con respecto a los demás meses del año con un total de 3 212 kWh.

En las figuras 2.6 y 2.7 gráficos de control del consumo de energía eléctrica, se muestra que se mantuvo un promedio de consumo mensual de 3 830,08 kWh en el año 2021 y de 3 697,22 kWh en el año 2022.

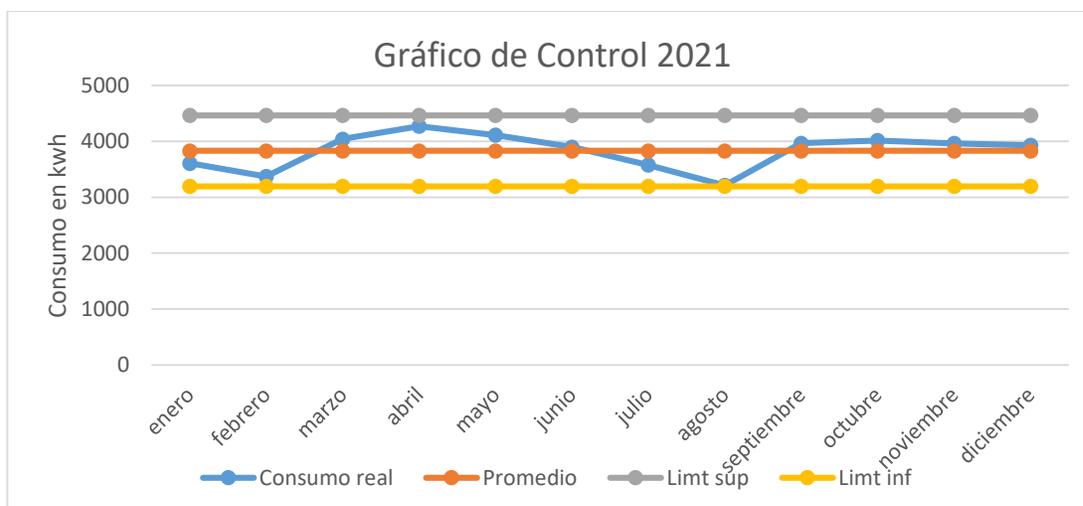


Figura 2.6: Gráfico de Control año 2021. Fuente: Elaboración propia.

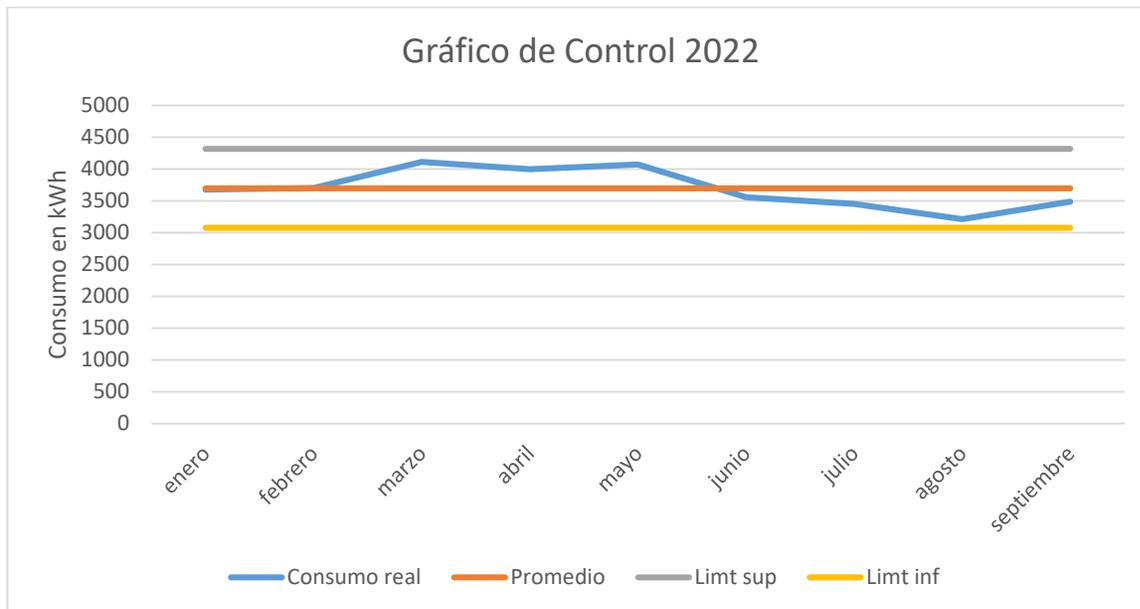


Figura 2.7: Gráfico de Control año 2022. Fuente: Elaboración propia.

En ambos gráficos se aprecia que no existen puntos fuera del rango de control que obliguen a analizar el estado de consumo de la institución.

El gráfico de control mensual tiene como limitante que las medidas que se toman para corregir las dificultades detectadas durante el transcurso de este son válidas para el nuevo mes, sin poder cambiar algo en el anterior, por lo que lo más idóneo es realizar el control diariamente, ya que se puede ir corrigiendo al momento las deficiencias detectadas.

2.5 Conclusiones parciales del capítulo II.

1- La edificación es una construcción con influencia neoclásica, la cual fue remodelada y se desconoce la fecha de construcción. El puntal es de +- 3,50 m y un 40 % del inmueble con puntal de 2,70 m. La cubierta es de hormigón armado y rasilla, presenta dos columnas de 40x40 cm en el salón, con vigas de hormigón en sentido transversal. Las paredes son de mampostería y pisos de losas de cerámica. Carpintería y ventanas de aluminio y cristal (MICALUM).

2- En los años 2021 y 2022 se generaron gastos relacionados con los portadores energéticos aproximadamente en 280 000 CUP, de los cuales más del 85 % proviene del consumo de la energía eléctrica.

3- El consumo promedio de electricidad (kWh/mes) en el año 2021 fue de 3 830,08 kWh, mientras hasta septiembre de 2022 se mantuvo en 3 697,22 kWh, manteniéndose siempre por debajo del plan de consumo mensual que tiene establecido la Sucursal caso de estudio.

Capítulo III: Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en la Sucursal 4792 del Banco Popular de Ahorro de la Provincia de Cienfuegos.

3.1 Cálculos asociados al diseño del sistema solar fotovoltaico.

En el presente capítulo se describen un grupo de metodologías o métodos para el cálculo de SSFV. Los mismos presentan el mismo objetivo, son muy similares y coherentes entre ellas, por lo que para el presente estudio se integran los principales pasos de las mismas, quedando estructurado como se muestra en el siguiente epígrafe.

3.1.1 Metodología para el cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red.

Después de haber realizado una revisión bibliográfica de varias metodologías para el cálculo de un sistema fotovoltaico, se llegó a la consolidación de una metodología integradora, donde se requiere seguir los pasos del diagrama de flujo de la figura 3.1 que se muestra a continuación:

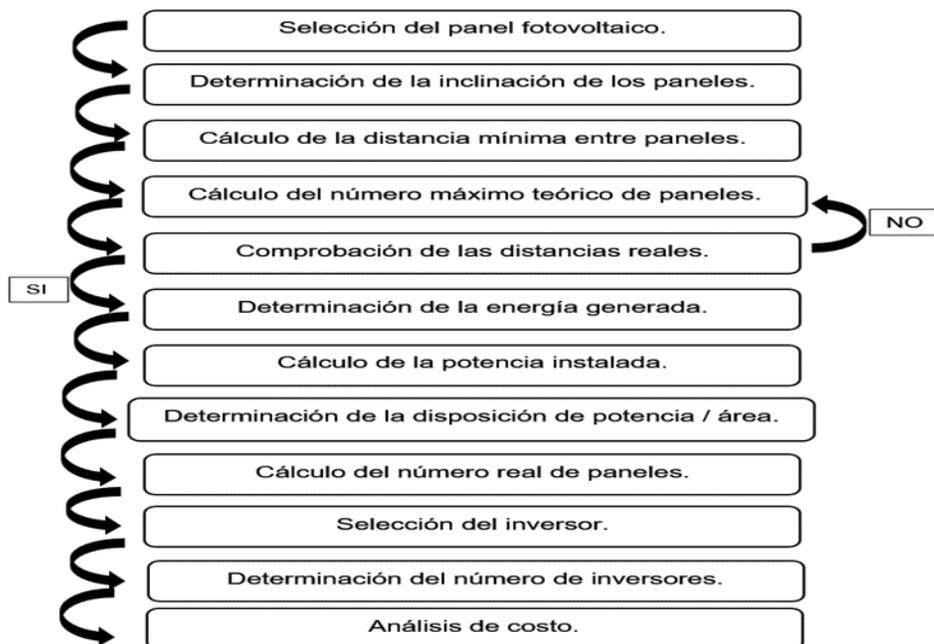


Figura 3.1: Pasos a seguir para el diseño del SSFV. Fuente: (Becerra, 2019)

3.1.2 Selección del panel fotovoltaico.

Con el de cursar de los años la demanda de módulos fotovoltaicos superó las expectativas de la mayoría de los analistas, lo que significó que las condiciones de suministro fueron ajustadas en toda la cadena de producción, y los precios incluso aumentaron.

Estas condiciones permitieron que los mayores fabricantes de módulos de silicio, aprovecharan los precios y la fuerte demanda para mejorar su posición y planear grandes expansiones de capacidad. (Roca, 2020).

Entre los módulos más empleados en nuestro país se encuentran:

- Los Deshmukh Solar Energy del tipo DSM 250-380 con las siguientes características:

Tabla 3.1: Características de los paneles DSM. Fuente: (Energy., 2020).

No. de Modelo	DSM-250	DSM-260	DSM-270	DSM-280	DSM-380
Potencia Máxima (Pmax) en (Wp)	250	260	270	280	380
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax) en (A)	30,5	30,5	30,9	31	39,33
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax) en (A)	8,2	8,53	8,75	9,07	9,67
Tensión en Circuito Abierto (Voc) en (V)	37,6	38,3	39,2	39,5	48,5
Corriente de cortocircuito (Isc) en (A)	8,66	9,01	9,44	9,71	10,17
Eficiencia en %	15,42	16,03	16,65	17,3	18,8
Dimensiones (A/A/F) mm	1 650x990x35				1 968x992x40
Peso	20 Kg				22 Kg
Tipo de Células	Policristalinos				Monocristalino PERC
Tamaño de las Células	156x156 mm				156x156 mm

El módulo fotovoltaico escogido para la instalación del sistema es el DSM-380 (en el anexo # 3 se aprecian las principales características de este módulo fotovoltaico), producido por

la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara ubicada en la carretera al Aeropuerto Álvaro Barba 2 ½, Pinar de Río, Cuba. El módulo está compuesto por 72 celdas solares de silicio monocristalino PERC del formato 156,75 mm x 156,75 mm, con dimensiones incluyendo el marco de 1 968 mm x 992 mm x 40 mm conectadas en serie; es capaz de entregar una potencia de 380 Wp con una tolerancia de ± 3 %, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², temperatura de los módulos T=25 ° C, masa de aire AM 1.5), este módulo, en su punto de máxima potencia al voltaje 39,33 V de corriente directa (CD).

3.1.3 Inclinación y orientación de los paneles.

Un punto importante para el diseño de estas instalaciones fotovoltaicas, es la inclinación que deben tener los paneles para la captación de la mayor cantidad de radiación solar. La inclinación de los módulos solares se define mediante el ángulo de inclinación β , que es el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal. Su valor es 0° para paneles horizontales y 90° para paneles verticales.

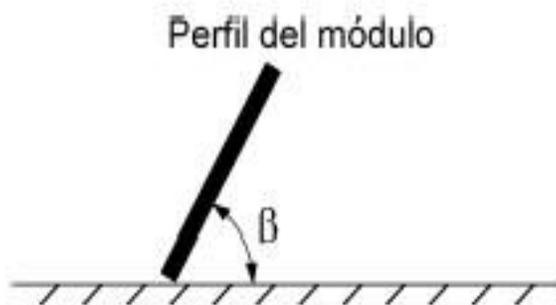


Figura 3.2: Inclinación de los módulos.

La energía captada por el panel está en dependencia, entre otros factores, de su inclinación con respecto a los rayos solares; se recomienda un ángulo de inclinación igual a la latitud del sitio de instalación, ello permite la incidencia perpendicular del rayo solar sobre la superficie del panel, lo que favorece la máxima captación de energía durante todo el año, en nuestro caso se asume la misma inclinación de las cubiertas. En la tabla 3.2 se muestran los resultados del estudio realizado sobre el impacto en la captación de la radiación solar y conversión energética, según diferentes grados de la inclinación de los paneles para la latitud de la provincia de Cienfuegos. (Gámez., 2013).

Tabla 3.2: Resultados sobre la captación y conversión energéticas de las celdas fotovoltaicas a diferentes ángulos de inclinación. (Gámez., 2013)

Grados de inclinación de los paneles							
5°	10°	15°	22°	25°	30°	35°	40°
Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			Inclinación adecuada para la provincia de Cienfuegos	Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			
-176	-59	-18		-23	-63	-103	-143
Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp				Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp			
-32,4	-11,4	-5		-6,4	-17,4	-28,5	-39,6

A la hora de diseñar este tipo de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles puesto que interesará que los paneles capten la mayor cantidad de radiación solar posible. Esta orientación puede ser impuesta por el emplazamiento donde vamos a instalar los paneles, como es el caso de tejados con una cierta orientación, o libre si la ubicación lo permite, como extensiones de terreno llanas. En este caso los paneles solares estarán orientados directamente hacia el sur, con una inclinación de 22°.

3.1.4 Distancia mínima entre filas de módulos.

Se calculará la distancia mínima de separación entre las distintas filas de módulos solares que componen el generador fotovoltaico para que no se produzcan sombras de unos módulos sobre otros. En la figura 3.3 se muestran todas las medidas que se deben tener en cuenta.

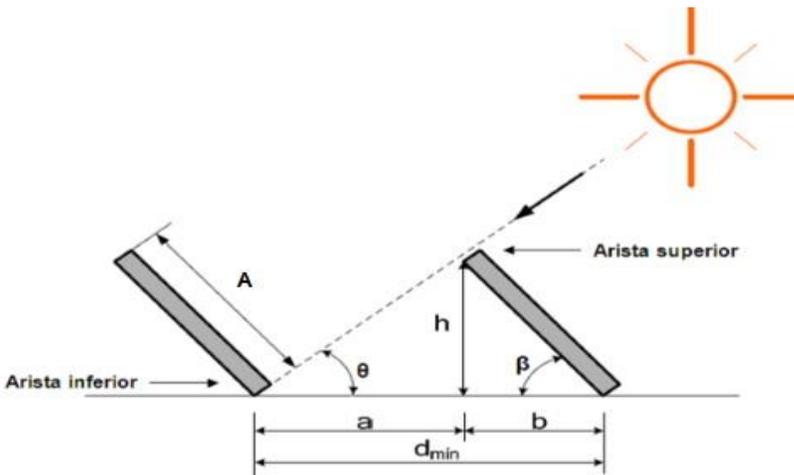


Figura 3.3: Distancia mínima entre aristas de paneles. Fuente (Loaeza Salcedo, 2012).

Donde:

d_{min} : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras, (m).

A: Ancho del panel (columna de módulos en paralelo), (m).

h: Componente de la altura del panel, (m).

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal, ($^{\circ}$).

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal, ($^{\circ}$).

a: Distancia de la arista superior de un panel a la arista inferior del otro respecto a la horizontal, (m).

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, (m).

Los paneles fotovoltaicos tienen un ancho (A) de 0,992 m, por sus extremidades más largas. Una vez obtenido el grado de inclinación del panel y la longitud del panel, se calcula la altura solar al mediodía mediante la ecuación 1.

$$h = \sin \beta * A = \sin 22^{\circ} * 0,992 \text{ m} = 0,37 \text{ m} \quad \text{Ec.1}$$

Con los mismos datos se calcula la distancia (b) en la ecuación 2.

$$b = \cos \beta * L = \cos 22^{\circ} * 0,992 \text{ m} = 0,9 \text{ m} \quad \text{Ec.2}$$

Considerando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo θ es de 68° .

Con el valor del ángulo θ y la altura h se calcula la distancia a en la ecuación 3.

$$a = \frac{h}{\tan \theta} = \frac{0,37 \text{ m}}{\tan 68^\circ} = 0,15 \text{ m} \quad \text{Ec. 3}$$

Se normaliza este valor a 0,5 m para asegurar que no ocurran interferencia entre paneles, facilitar el acceso por los pasillos para la limpieza y mantenimiento.

Por último, se suma la distancia (a) más la distancia (b) para obtener la distancia mínima entre aristas inferiores de paneles, para evitar la sombra sobre otro panel.

$$d_{\min} = a + b = 0,5 \text{ m} + 0,9 \text{ m} = 1,4 \text{ m}$$

Por lo que la distancia entre las aristas inferiores tiene que ser igual o mayor a 1,4 m.

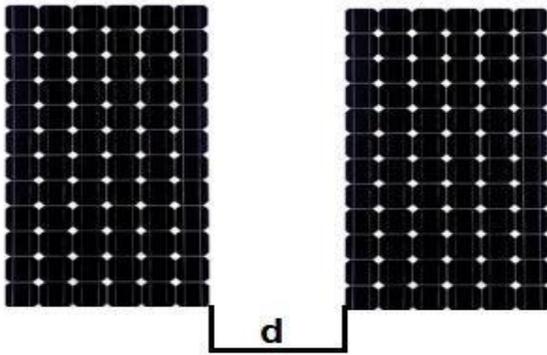


Figura 3.4: Distancia mínima entre paneles en la fila.

$$d = d_{\min} - A = 1,4 \text{ m} - 0,992 \text{ m} = 0,40 \text{ m} \quad \text{Ec. 4}$$

Este valor se normaliza a 0,5 m para asegurar que no ocurra interferencia entre los paneles, facilitar el acceso por los pasillos para la limpieza y mantenimiento.

3.1.5 Cálculo del número teórico máximo de paneles fotovoltaicos a montar.

Conociendo las dimensiones de la edificación, se realiza un análisis del área de trabajo, como se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5: Área de la cubierta utilizable para el SSFV. Fuente: (elaboración propia).

No se tomaron en cuenta las áreas de sombra, causadas por el muro por el que está rodeado la cubierta de la edificación, para obtener estas áreas de sombra se realizaron mediciones indistintamente en diferentes horarios del día, los cuales comprenden desde las 7:00 AM a las 7:00 PM.

El área de trabajo posee las siguientes dimensiones (Ver tabla 3.3)

Tabla 3.3: Dimensiones área de trabajo. (Fuente: elaboración propia).

Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	At (m ²) de la cubierta de la edificación	Ángulo Superficie (°)	Orientación Cardinal
Sucursal 4792	16,79	8,0	134,32	22	Sureste

La instalación de los paneles solares no se colocará directamente sobre las cubiertas, sino sobre vigas cuyo perfil utilizado fue ISO 10799-2 (rectangular) 100x50x3 (mm), cuya altura promedio sobre el nivel del mar es de 25 m. Las coordenadas de la zona donde se ubicarán

los paneles es $22^{\circ} 09' 07''$ de latitud norte y $-80^{\circ} 26' 36''$ de longitud oeste, con una elevación de 34 pies sobre el nivel del mar.

Para lograr una mayor ubicación de paneles en la cubierta de la sucursal caso de estudio se colocarán de forma tal que el ancho del panel (0,992 m) tenga el mismo sentido del ancho utilizable de la edificación (8,00 m), y el largo del panel con la longitud a utilizar de la edificación.

Una vez calculada la separación mínima que debe haber entre filas de paneles (d_{\min}), se podrá calcular el número de estas que se podrán colocar sobre el área útil de las azoteas, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número máximo de filas de paneles} = \frac{\text{Ancho de la edificación}}{\text{Distancia entre paneles}} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\text{número máximo de filas de paneles} = \frac{8,0}{1,4} = 5,7$$

Conocidas las dimensiones de los paneles solares y el área máxima a ocupar, en cada fila podrán colocarse el número determinado por la siguiente expresión:

$$\text{Número máximo de paneles por fila} = \frac{\text{Largo de la edificación}}{\text{Ancho del panel}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{número máximo de paneles por fila} = \frac{16,79}{1,97} = 8,5$$

Tabla 3.4. Resultados de cálculo del arreglo y número de paneles. Fuente: Elaboración Propia.

Área	Ancho (m)	Largo (m)	Nº.de filas	Nº.de columnas	Total de Paneles	Área (m ²)
1	8,00	16,79	5	8	40	134,32

Obtenido el número máximo de filas y de columnas que se pueden instalar en el área útil de las azoteas se obtiene un valor de 40 paneles fotovoltaicos sin considerar las estructuras reales de las mesas de soportes de paneles.

3.1.6 Comprobación de la distancia real entre paneles.

Se considera que es necesario comprobar la distancia entre paneles, para garantizar la no existencia de sombra sobre áreas efectivas de generación eléctrica del panel para garantizar la distancia mínima, la limpieza y el mantenimiento.

Donde:

Npa: Número de pasillos a lo ancho: 4.

Npl: Número de pasillos a lo largo: 7.

Nf: Número de filas: 5.

Nc: Número de columnas: 8.

a: Distancia de la arista superior de un panel a la arista inferior del otro respecto a la horizontal normalizado: 0,5 m.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal: 0,9 m. L: Largo del panel: 1,97 m. d: Distancia entre paneles en la fila: 0,5 m. Con estos datos se procede a calcular la distancia entre filas haciendo uso de la ecuación 7:

$$\text{Dist fila} = Nf * b + Npa * a \quad \text{Ec. 7}$$

$$\text{Dist fila} = 5 * 0,9 + 4 * 0,5$$

$$\text{Dist fila} = 6,5$$

Con los datos del epígrafe 3.1.5 se procede a calcular la distancia entre columnas haciendo uso de la ecuación 8:

$$\text{Dist columna} = Nc * L + Npl * d \quad \text{Ec. 8}$$

$$\text{Dist columna} = 8 * 1,97 + 7 * 0,5$$

$$\text{Dist columna} = 19,26$$

Estas distancias tienen que ser menor que las distancias reales con que cuenta la edificación.

Tabla 3.5: Resultados de cálculo de comprobación. Fuente: Elaboración propia.

Área	Ancho (m)	Largo (m)	Dist/Filas _{real} (m)	Dist/Colum _{real} (m)
1	8,00	16,79	6,5	19,26

Según los resultados de los cálculos realizados la distancia entre las columnas real es mayor al largo del área utilizable para montar el SSFV por lo que se debe reducir a siete (7) el número de columnas, esto se debe hacer con la finalidad de garantizar la no existencia de sombra sobre áreas efectivas de generación eléctrica del panel, además para garantizar la distancia mínima, la limpieza y el mantenimiento.

Al reducir a siete (7) el número de columnas el total de paneles admisibles se reduce a 35 paneles por lo que se continúa utilizando esta cifra en los demás cálculos realizados en nuestro trabajo.

3.1.7 Determinación de la energía generada.

Para el análisis de generación energética del sistema fotovoltaico se transformó la ecuación 9 en la ecuación 10:

$$N = \frac{E_G}{P_{pp} * I_{si} * 0,753} \quad Ec. 9$$

Mediante la ecuación 9 transformada se determina la energía generada según la ecuación 10:

$$E_G = N * P_{pp} * I_{si} * 0,753 \quad Ec. 10$$

Donde:

- Potencia pico del panel (P_{pp}): 380 Wp.
- Número de paneles (N): 35.
- Irradiación solar incidente sobre los paneles (I_{si}): 5,5 kWh/m²*día.
- Factor de funcionamiento que se toma 0,753, este tiene en consideración la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, la eficiencia de los inversores y pérdidas de cableado.

$$E_g = N * P_{pp} * I_{si} * 0,753 \quad Ec. 11$$

$$E_g = 35 * 0,380 * 5,5 * 0,753 = 55,08 \text{ kWh/día}$$

Tabla 3.6: Energía generada. Aproximada. Fuente: Elaboración propia.

Energía generada	55,08	kWh/día
Energía generada	1,65	MWh/mes
Energía generada	19,8	MWh/año

Realizado el cálculo preliminar se obtiene que el valor total generado por el SSFV es de 1,65 MWh/mes por lo que el SSFV satisface en un 39 % el consumo de electricidad registrado en la Sucursal caso de estudio. (tabla # 3.7).

Tabla 3.7: Porcentaje de energía satisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Energía generada SSFV (MWh/mes)	Consumo máximo registrado (MWh/mes)	% de energía satisfecha
1,65	4,2	39

3.1.8 Potencia instalada.

$$P_{inst} = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) = 35 * \left(\frac{380}{1000} \right) = 13,3 \text{ kWp} \quad \text{Ec. 12}$$

Por otra parte, tomando como referencia la información dada por el Dr. Daniel Stolik (Stolik, 2019) de que 1 kWp genera como promedio 1 360 kWh al año, los 35 paneles generarán: $13,3 \text{ kWp} * 1\,360 \text{ kWh/kWp. año} = 18\,088 \text{ kWh/año}$ (1 507 kWh/mes) , valores aproximados.

3.1.9 Selección del inversor.

El inversor escogido es el Symo Advance/ Symo Lite (Fronius), con rangos de potencia desde 10 kW a 24 kW, este inversor es el inversor sin transformador trifásico compacto ideal para todas las aplicaciones comerciales.

El sistema de amplio rango de voltaje de entrada CD asegura máxima flexibilidad en el diseño de cualquier SSFV. En las figuras 3.6 y 3.7 se muestran las principales características de este inversor. Ver Anexo 6 y Anexo 7.

Symo Advance / Symo Lite

Con rangos de potencia desde 10 kW A 24 kW, el inversor Fronius Symo es el inversor sin transformador trifásico compacto ideal para todas las aplicaciones comerciales.

El sistema de amplio rango de voltaje de entrada en CD asegura máxima flexibilidad en el diseño de cualquier sistema FV.

El moderno diseño está basado en el sistema de instalación SnapINverter, permitiendo instalaciones y reparaciones sencillas y seguras. Algunas funciones líderes en la industria están disponibles en el Fronius Symo, como interfaces Wi-Fi® y SunSpec Modbus para monitoreo y datalogging, interrupción de falla de arco en el circuito (AFCI) probada en campo, certificación NEC 2014 y la plataforma en línea para monitoreo móvil Solar.Web. La versión Symo Lite no incluye tarjeta Datamanager.



Figura 3.6: Inversor Fronius Symo.

MODELOS	SYMO 10.0/220	SYMO 12.0/220	SYMO 15.0/220 (IM-PPT)	SYMO 10.0-3/480	SYMO 12.5.0-3/480
Potencia FV recomendada (kWp)	8-13	9.5-15.5	12-19.5	8-13	10-16
Arreglo máximo de corriente de corto circuito	37.5 A / 24.8 A		33 A / 25 A	37.5 A / 24.8A	
Rango de voltaje MPP (VCD)	300-500 V		350-800V	300-800 V	350-800V
Rango de voltaje operacional	200-600 V		200-1000 V		
Voltaje de entrada máximo	600 V		1000 V		
Número de MPPT	2		1	2	
DATOS DE SALIDA					
Potencia máxima de salida (VA)	9995	11995	14995	9995	12495
Eficiencia CEC	96.5%		97%		

Figura 3.7: Modelos y características principales del inversor.

3.1.10 Cálculo del número de inversores.

La cantidad de inversores que hacen falta para la instalación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Número de inversores} = \frac{PI(kWp)}{P_{inversor}}$$

Ec. 13

Donde:

Número de inversores: cantidad de inversores.

PI(kWp): Potencia instalada

P_{inversor} : Potencia del inversor.

Datos:

PI: potencia instalada: 13,3 kW.

P_{inversor} : Potencia del inversor: 16 kW.

$$\text{Número de inversores} = \frac{PI(kWp)}{P_{\text{inversor}}} = \frac{13,3}{16} = 0,83 \quad \text{Ec. 14}$$

Se normaliza el valor al inmediato superior, por lo que se necesitara 1 inversor de 16 kW de potencia para realizar la instalación.

3.2 Cálculo de la resistencia de la edificación.

Este SSFV conectado a la red se integrará al techo existente del inmueble. Para que esto sea posible se necesitan tres condiciones básicas: que el techo esté diseñado de acuerdo a la normativa de construcción vigente en nuestro país, que todos sus componentes estén en buenas condiciones y que la cubierta esté compuesta por materiales compatibles con la instalación de un sistema fotovoltaico. Una vez cumplidos estos requisitos es posible evaluar aspectos específicos del área disponible y su orientación para identificar su potencial.

Los materiales de construcción compatibles con la instalación de un SSFV están comprendidos en: hormigón armado, acero estructural (incluye madera laminada encolada), albañilería armada y albañilería confinada. Cualquier otro material se deberá evaluar por un profesional competente. En general los mejores techos para instalar una planta fotovoltaica son de losa de hormigón armado o cubierta y estructura metálica que tengan poca antigüedad, ya que han estado menos propensos a deterioros. (Guía Evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos).

La sucursal caso de estudio posee una cubierta de hormigón armado por lo que se utiliza la Norma Cubana 207 del 2003 (NC 207: 2003), esta norma cubana establece los requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de las edificaciones y obras civiles de hormigón; abarca también aspectos de ejecución, ya sea para edificaciones como para obras civiles. Es aplicable a todas las construcciones de hormigón con áridos normales (no ligeros) que llevan, bien solas, bien asociadas, armaduras ordinarias que son las armaduras

habituales del hormigón armado y armaduras de pretensado puestas en tracción para crear fuerzas de pretensado. Aunque las fuerzas de pretensado pueden crearse por diferentes medios, la presente norma se aplica solamente para los casos en que estas fuerzas se creen mediante armaduras puestas en tracción. La norma se ha estudiado de forma que se mantenga una continuidad entre el hormigón íntegramente pretensado y el hormigón reforzado con armadura ordinaria.

Referencias normativas:

Las siguientes normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones de esta Norma Cubana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma que está sujeta a revisión se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos sobre la base de ellas, que analicen la conveniencia de usar ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente. La Oficina Nacional de Normalización posee la información de las Normas Cubanas en vigencia en todo momento.

NC 54-109: 1985 Hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión.

NC 54-392: 1987 Hormigón. Muestreo.

NC 192: 2002 Hormigón hidráulico. Cálculo de la resistencia característica real a la compresión.

NC 245: 2003 Hormigón. Ensayo a flexión.

NC 284: 2003 Edificaciones. Carga de uso NC 285: 2003 Carga de viento. Método de cálculo.

Diagrama tensión-deformación del hormigón

El diagrama tensión-deformación tiene la forma esquemática siguiente:

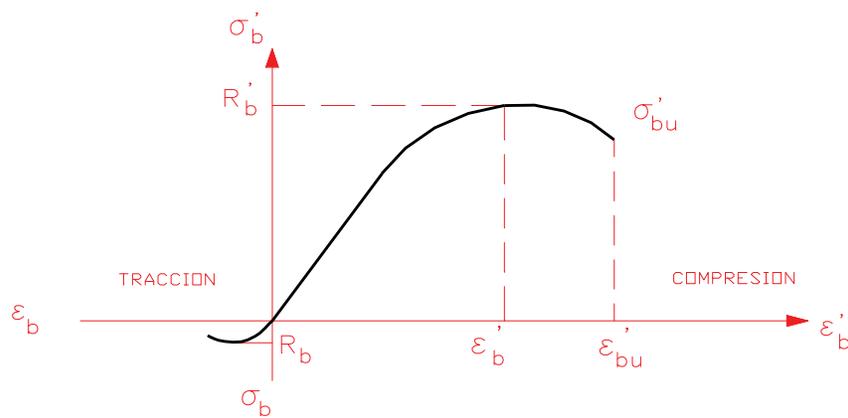


Figura 3.7: Diagrama deformación – tensión del hormigón. Fuente: Norma Cubana 207 del 2003 (NC 207: 2003).

donde:

'_b deformación unitaria correspondiente a la compresión máxima.

'_{bu} deformación unitaria correspondiente a la compresión última.

E'_b: Módulo de deformación longitudinal del hormigón, en MPa.

El módulo de deformación longitudinal del hormigón E'_b, para hormigón de peso normal, puede tomarse como:

$$E'_b = 4800 \sqrt{R'_{bk}}$$

R'_{bk}: resistencia característica del hormigón a compresión correspondiente a un módulo secante, en MPa; definido como la pendiente de la línea trazada, desde un esfuerzo igual a cero hasta un esfuerzo a la compresión de 0,45 R'_{bk}.

En la tabla 3.8 se presentan los valores aproximados correspondientes a la expresión anterior.

Tabla 3.8: Valores de R'_{bk} y E'_b. Fuente: Norma Cubana 207 del 2003 (NC 207: 2003).

R'_{bk} (Mpa)	10,0	15,0	17,5	20,0	25,0	30,0	35,0
E'_b (Mpa)	15 200	18 600	20 100	21 500	24 000	26 300	28 400

Si tomamos como valor referencial $17,5 \text{ Mpa} = 175 \text{ kg/cm}^2 = 17\,500 \text{ kg/m}^2$ (valor de la resistencia característica del hormigón a compresión), ese valor nos brinda un gran margen de resistencia de la cubierta si tenemos en cuenta que el peso del panel fotovoltaico seleccionado es de 22 kg. Nuestro SSFV cuenta con 35 paneles, con un peso aproximado de 776 kg, lo que representa un total de carga de aproximadamente $6,00 \text{ kg/m}^2$, resultado muy inferior a los valores de resistencia que establece la norma para este tipo de cubierta.

3.3 Evaluación económica.

En la evaluación económica se consideran todos los gastos asociados a la instalación de la tecnología fotovoltaica en cuanto a: paneles, mesas de fijación, cableado, tornillería, inversores, según Empresa de Componentes Electrónicos de Pinar del Río (ver tabla 3.9), el costo del W instalado oscila sobre los 6,06 CUP, por lo que el costo de inversión de nuestra instalación es de 333 784 CUP; además de tener en consideración los factores: el impuesto del banco (Cuba., 2012), inflación (Cuba., Circular 1/2017 del director general de tesorería., 2018), tasa de descuento y el período de vida útil de los paneles, para así poder conocer de forma más certera el periodo de tiempo en que se recuperará la inversión y las ganancias que traerá consigo.

Los valores de las tasas están dados en la Tabla 3.10 según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012. El impuesto sobre la ganancia es del 35 %, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

Tabla 3.9: Costo de la tarea técnica. ECEPR.

Costo de la tarea técnica. (kW vs CUP). Además se debe incluir la tarifa horaria por hombre que es de 300 CUP hora/hombre	
Desde 1 kW hasta 75 kW	70 000,00 CUP
Más de 75 kW hasta 150 kW	90 000,00 CUP
Más de 150 kW	130 000,00 CUP

Tabla 3.10: Valores de las tasas de interés anual. Fuente: (TradingEconomic., 2020).

Período tiempo	Tasa de interés anual (%)	Tasa mínima (%)	Tasa máxima (%)
Hasta 36 meses	7,5	6,5	8,5
Hasta 60 meses	8	7	9

La tasa de inflación ha sido tomada de TradingEconomic (2020) y su magnitud ha variado entre 5,00 a 5,90. Se considera la tasa de descuento de 8 % y el margen de riesgo de 3 %.

Costo evitado de energía eléctrica del SEN por suplir energía eléctrica desde el SSFV. ($C_{eEE\ SEN}$).

Conociendo el ahorro generado por el SSFV se puede determinar el ingreso monetario por la ecuación 15:

$$C_{eEE\ SEN} = CGM * C_{uEE} = \frac{kWh}{año} * \frac{\$}{kWh} = \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

CGM. - capacidad de generación y entrega del SSFV. (kWh/año)

CuEE. - Costo unitario de energía eléctrica pagado al SEN en horario diurno. (\$=CUP), (\$/kWh).

La tarifa B1 eléctrica de acuerdo al Manual de consumidores (2021) para la empresa es de 3,14 \$/kWh.

$$C_{eEE\ SEN} = 19\ 800 \frac{kWh}{año} * 3,14 \frac{\$}{kWh} = 62\ 172 \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 16}$$

El costo evitado de energía eléctrica del SEN por suplir energía eléctrica del SSFV será de 62 172 CUP por año.

En lo Anexo 8, se muestran los principales resultados obtenidos en el análisis económico, para el cual fue utilizado un programa Excel, donde se integran todos los indicadores necesarios para realizar dicho análisis. En el mismo se aprecia que el período de recuperación de la inversión del SSFV de la empresa es de 11 años; posee un costo de inversión de 333 784 CUP y un VPN de 245 482 CUP en un período de 25 años de servicios, con una TIR de 2 %.

3.4 Análisis y aporte medio ambiental.

El auge de las tecnologías alternativas para la generación de energía eléctrica, en conjunto a los esfuerzos que se han llevado a cabo tanto internacional como nacionalmente para la disminución del uso de los combustibles fósiles para producir energía eléctrica, le imprimen vital importancia a este aspecto, el uso de los combustibles fósiles tiene marcada influencia negativa en la contaminación ambiental; la fomentación del uso de la tecnología fotovoltaica es uno de los principales objetivos del estado cubano, además de la importancia dada en la reducción de emisiones de CO₂ hacia la atmósfera.

Analizando el problema en cuanto a combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, este se puede calcular mediante la ecuación:

$$\text{Combustible ahorrado} = (E * g) / 1000 \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

E: energía generada, kWh/año.

g: es el consumo específico de combustible de los grupos electrógenos; se escoge la peor condición, o sea, aquel que ahorrará menos y es igual a 236 kg/kWh.

$$\text{Combustible ahorrado} = (19\ 800 * 0,236) / 1000 = 4,7 \text{ t/año}$$

Por tanto, a partir del combustible ahorrado se puede obtener la cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera en t/año por la ecuación:

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (\text{Combustible ahorrado} * k) / \rho \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

k: coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera y que es igual a 3,119 kg/l.

ρ: densidad del combustible y es igual a 0,9781 kg/l.

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (4,7 * 3,119) / (0,9781) = 15 \text{ t/año}$$

Utilizando la expresión se determina que la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera es de 15,00 t/año, lo que evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del sistema fotovoltaico.

3.5 Conclusiones parciales Capítulo III.

- 1- Se llega a la consolidación de una metodología integradora gracias a la revisión bibliográfica de varias metodologías para el cálculo del sistema fotovoltaico.
- 2- El número máximo teórico de paneles es de 35, los cuales garantizan una potencia instalada de 13,3 kWp.
- 3- Se necesita un inversor de 16 kWp sin transformador trifásico compacto con rangos de potencia desde los 10 kW a 24 kW con un voltaje máximo del sistema de hasta 1000 V y una eficiencia del 97 %.
- 4- El SSFV es capaz de generar 1,65 MWh/mes lo cual satisface el 39 % aproximadamente del consumo de energía de la sucursal.
- 5- La cubierta de la edificación posee una resistencia de 17,5 Mpa = 175 kg/cm², lo cual permite instalar el SSFV en su totalidad sobre la misma.
- 6- Para el cálculo económico se consideran todos los gastos asociados a la instalación de la tecnología fotovoltaica. El período de recuperación de la inversión en el SSFV de la empresa es en 11 años; con una inversión de 333 784 CUP y un VPN de 245 482,78 CUP en un período de 25 años de servicios y una TIR de 2 %.

- 7- Con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 4,7 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 15,00 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

CONCLUSIONES GENERALES.

Nuestro país se encuentra en consonancia con las tendencias a nivel internacional, se prevé que para el año 2030 el 37 % de la generación eléctrica nacional provenga de las energías renovables, alcanzando una generación de 9 960 GWh/año por lo que el presente proyecto es una contribución en este campo. Se elaboró el estudio técnico, económico y ambiental del sistema solar fotovoltaico para la Sucursal 4792 del BPA del municipio de Cienfuegos, el SSFV queda instalado en un área de 134,32 m² de cubierta sobre la edificación, con un total de 35 paneles fotovoltaicos del tipo DSM-380 Wp, el cual es capaz de generar 1,65 MWh/mes, lo que satisface en un 39 % el consumo de energía eléctrica de la Sucursal caso de estudio. El estudio de resistencia de la edificación a las cargas del SSFV muestra que puede ser colocado el sistema sobre la cubierta ya que la carga originada no compromete la vitalidad de la misma. Al realizar el análisis económico nos muestra que llega a ser ventajosa la construcción de este sistema en la Sucursal 4792 de Cienfuegos porque esta tiene un período de recuperación de la inversión de 11 años, una tasa interna de retorno de 2 % y el valor presente neto alcanza una magnitud de 245 482 CUP para un período de 25 años, además con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 4,7 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 15 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

RECOMENDACIONES.

- 1- Profundizar en el cálculo y en el diseño de las estructuras de soporte de los módulos fotovoltaicos.
- 2- Realizar un análisis diario del control energético.
- 3- Utilizar el software PVSYST para la comprobación de los resultados obtenidos para este estudio técnico, económico y ambiental del SSFV.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera, L. G. S., y Guerrero, O. J. M. (2020). *Propuesta de un Sistema de Monitoreo y Detección de Fallas en un Sistema Fotovoltaico*.
- Álvarez, Lázaro León. (2021). *Potencialidades de sistema solar fotovoltaico en techos de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”*.
- Becerra, R. (2019). *Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en la Delegación Provincial de Materiales de la Construcción. Cienfuegos*. [Trabajo de Diploma]. Universidad de Cienfuegos.
- Benavides, J. (2013). *Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe*. ONUDI; Consultoría energía renovable en Colombia.
- Carbonell, M. (2020). Precios y costes de paneles fotovoltaicos. <https://Coste paneles fotovoltaicos 2020.htm>
- Carratalá, y Sales, P., E. (2017). *Herramientas de soporte para instalaciones fotovoltaicas*. Universitat Juame.
- Carbonell, M. (2020). Precios y costes de paneles fotovoltaicos. <https://Coste paneles fotovoltaicos 2020.htm>
- Carratalá, y Sales, P., E. (2017). *Herramientas de soporte para instalaciones fotovoltaicas*. Universitat Juame.
- Cubadebate. (2019). *Cuba impulsa parques solares para elevar cuota de energía renovable*. "Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía. De-lospaneles-solares". (2019).
- Digital, R. (2019). *Hospital Santiaguero posee uno de los mayores parques fotovoltaico sobre cubierta de Cuba*.

- EnfSolar. (2022). *Deshmukh Solar Energy*. <https://es.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/35317>
- EPIA. (2011). *Catálogo de fallos comunes y prácticas inadecuadas en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos PVTRIN WP2_D2.6_*.
- Escobar, D. I. (2013). *Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Europe, S. P. (2020). *Global Market Outlook For Solar Power 2020–2024*. Solar Power Europe, Brussels, Belgium, Tech. Rep.
- G, K., B., Ruiz. (2018). *Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta*.
- Gaceta oficial de la República de Cuba. (2019). *Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía*.
- Gámez, Pérez, Fernández, Pinos, CIPEL, M. R., A. V. ,M. C. ., J. L. I. ,C. (2013). *Introducción de sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) en el alumbrado público de las ciudades*.
- García, I. (2016). *Diagnóstico del mercado de paneles solares en Cuba*.
<https://www.gestiopolis.com/diagnostico-del-mercado-paneles-solares-cuba/>
- Gómez, A. (2020). *Metodología e implementación de detección de falla para un sistema fotovoltaico basado en datos*.
- González, A. (2016). *Diseño de un parque solar fotovoltaico conectado a la red en techos del despacho provincial de Villa Clara*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Granma. (2019). *Hospital santiaguero posee mayor parque fotovoltaico sobre cubierta de Cuba*.

Hernández Moral, Dalaes, Monteagudo Yanes Jiménez Borges, C. J. P., H. E,R. (2020).

Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en hotel universitario de posgrado en la Universidad de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*.

IRENA. (2020). *How Falling Costs Make Renewables a Cost-effective Investment*.

<https://www.irena.org/newsroom/articles/2020/Jun/How-Falling-Costs-Make-Renewables-a-Cost-effective-Investment>

IRENA. (2020). *Qué es y qué tipos de contaminación ambiental existen*.

<http://go.microsoft.com/fwlink/p/?LinkId=255141>

Loeza Salcedo, F. (2012). “*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO A LA RED PARA EL AREA DE ESTACIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE SALAMANCA*”.

Marín, L. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo y mejora del rendimiento de una instalación de energía solar para producción de ACS*.

Marrero, J. B. (2018). *Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red*.

Nación, Morrone, P., A. (2019). *Energía solar fotovoltaica*.

Newsolar. (2018). *Proyectos Solares Fotovoltaicos conectados a la red*.

<https://newsolar.cl/proyectos-solares-fotovoltaicos-conectados-a-la-red/>

Norma Cubana 207 del 2003 (NC 207: 2003).

Obrero, J. (2017). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. McGraw-Hill. <http://www.mcgrawhill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

OMS. (2021a). *Aumento de la contaminación ambiental en el mundo*.

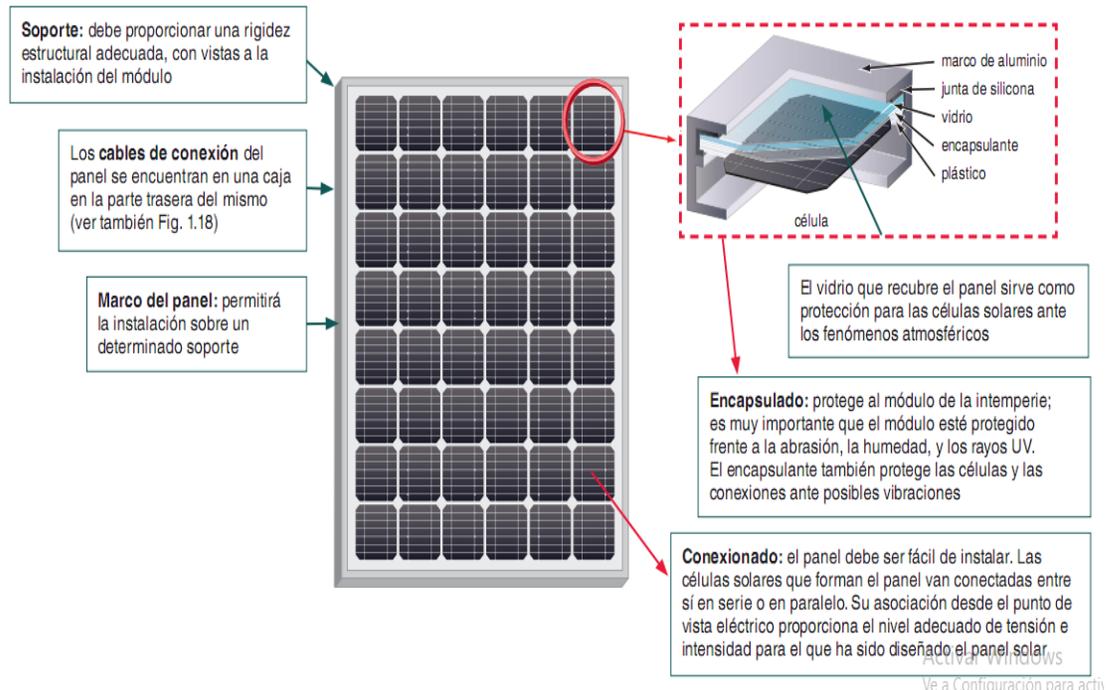
OMS. (2021b). *Contaminación Atmosférica Urbana*.

ONU. (2021c). *Objetivos de Desarrollo de Naciones Unidas*.

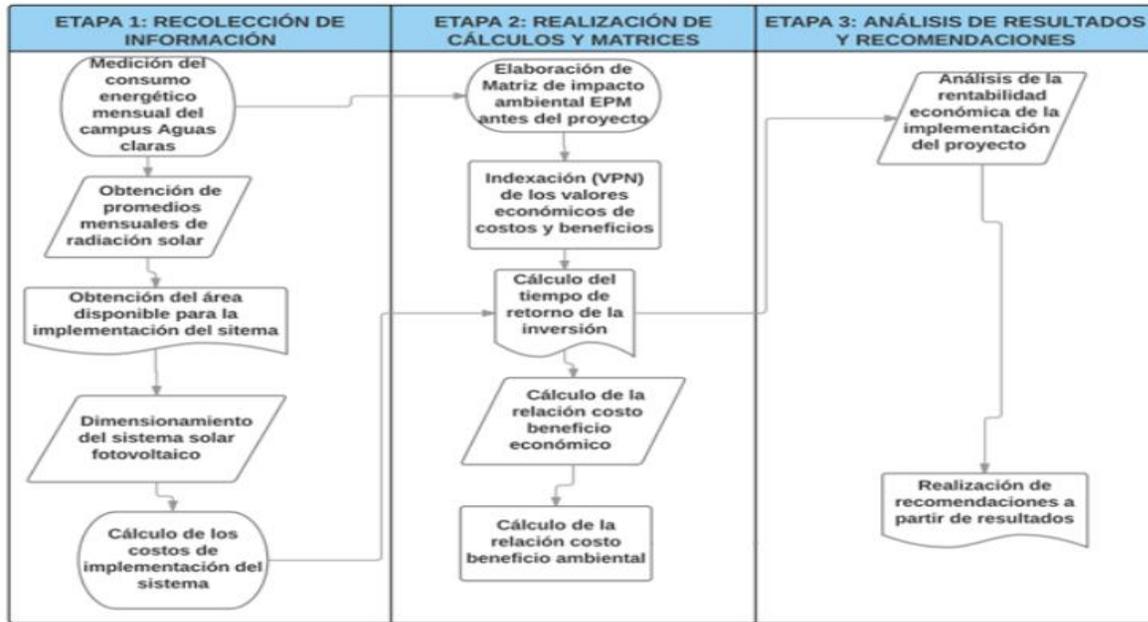
- ONU. (2022). *Contaminación Medioambiental y sus Consecuencias*.
- Ortiz, J. D. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, 103-117.
- Perpiñán, O. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>. [Accedida: 10-Aug-2018].
- Raboso López, A. M. (2013). *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma* (PhD Thesis). Universidad Internacional de Andalucía.
- Rimada, J. C. (2018). Blog de energía fotovoltaica. <http://www.imre.uh.cu/vtfotovoltaica/?p=458>
- RadioRebelde. (2019). RadioRebelde. <https://www.radiorebelde.cu/boletin/zona-especial-desarrollo-mariel-estimula-empleo-energias-renovables-20190620/>
- Roca, J. A. (2020). *El Periódico de la Energía*. Obtenido de *El Periódico de la Energía*: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>
- Solargis. (2018). *Global Horizontal Irradiation*. [Map].
- Stapleton, Neill, G., S. (2012). *Grid-connected solar electric systems: The earthscan expert handbook for planning, design and installation: Routledge*.
- Stolik, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. Cubasolar Ed.
- SYSTEMS, C. R. T. (2020). *Sistema solar fotovoltaico en techo*. <https://www.crtsgroup.com/es/TradingEconomic>.
- TradingEconomic. (2020). *Cuba—Tasa de inflación*. <https://es.tradingeconomics.com/cuba/inflation-cpi>.
- UNESCO. (2003). *Curso de Entrenamiento en Energía Solar*.
- Yilén, C. (2019). *Fuentes de energía renovables: Más desarrollo, más eficiencia*. CUBAHORA. www.cubahora.cu.

ANEXOS.

Anexo 1: Constitución de un módulo fotovoltaico.



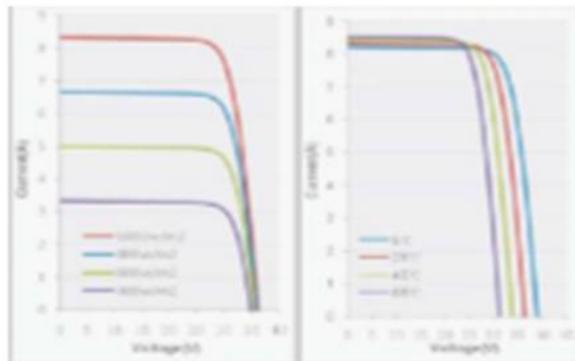
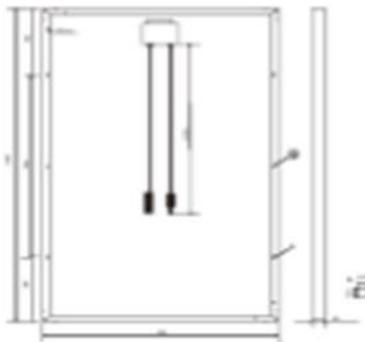
Anexo 2: Ruta metodológica para el cálculo de un SSFV.



Anexo 3: Características de los paneles solares DSM-380 MP.

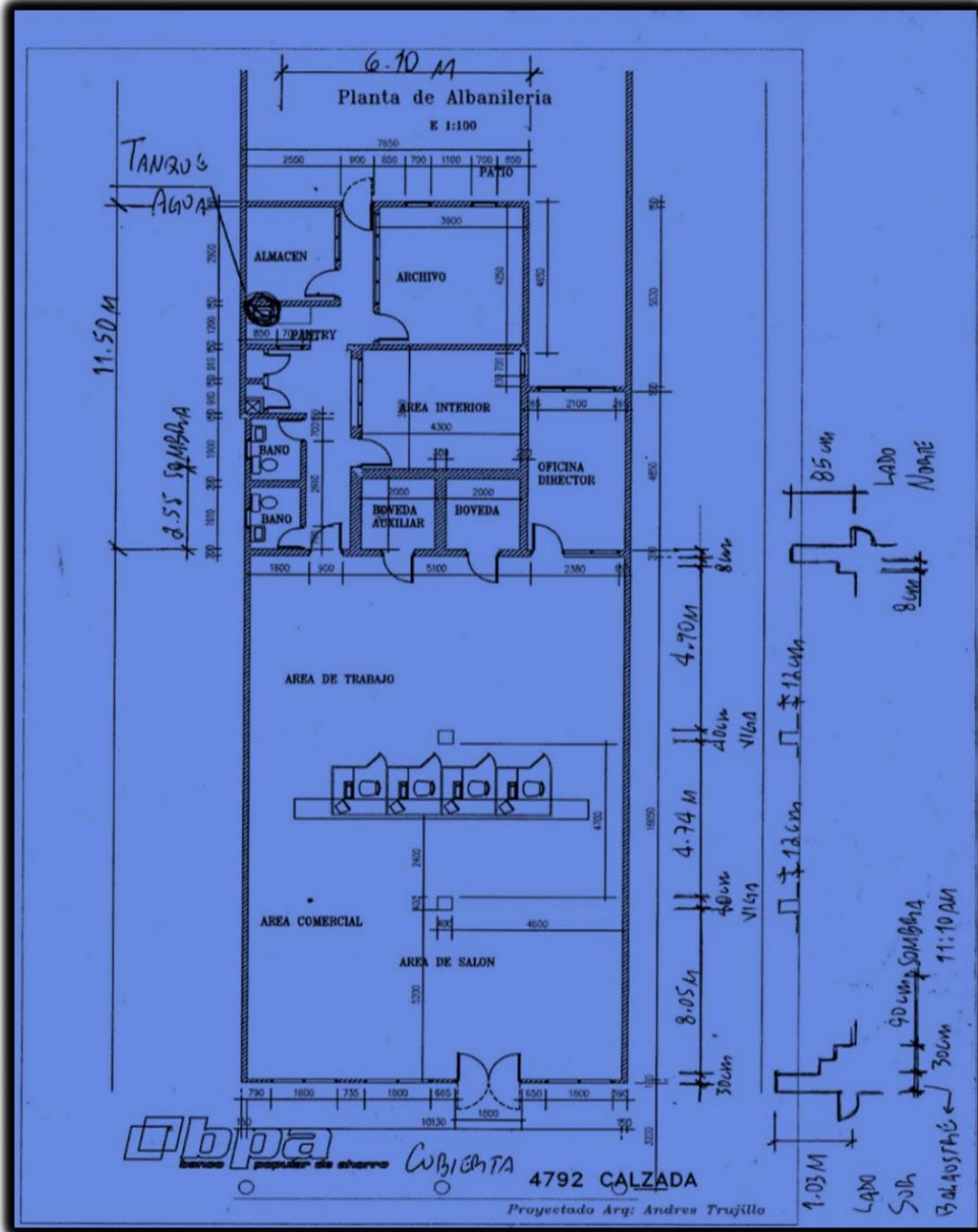


Especificaciones técnicas		
Celda	Celda Solar de Silicio Monocristalino PERC 156.75mm x 156.75mm	
No. de celdas y conexiones	72 (6X12)	
Dimensiones del módulo	1968mm x 992mm x 40mm	
Cubierta frontal	Vidrio templado	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	22 Kg	
Características eléctricas		
Modelo	DSM-380	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	48.50	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	39.33	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	10.17	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	9.67	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	380	
Tolerancia [%]	±3%	
STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5		
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85°C	
Voltaje máximo del sistema	A :1500 VDC B :1000 VDC	
Valor máximo del fusible de la serie	A :30A B :20A	
Parámetros térmicos		
NOCT	[°C]	45±2
Coefficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.04478
Coefficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.30537
Coefficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.41004



Los datos contenidos en esta ficha técnica pueden estar sujetos a cambios sin previo aviso.

Anexo 4: Croquis de la Sucursal caso de estudio.



Anexo 5: Estudio de cargas de la Sucursal 4792 del BPA en Cienfuegos.

Tipo de Carga	Equipamiento		kW	V	I	h/d	d/m	kWh/mes	Calzada		Guaos		Total		Consumo por tipo de carga	%	
									4792		4792-1		Total				
	Tipo	Caract.							Cdad	Consumo	Cdad	Consumo	Cdad	Consumo			
Climatización y Refrigeración	Split		5	5,65	220	25,68	8	24	138,31	2	276,62	0	0,00	2	276,62	720,51	14,48
	Split		4	4,52	220	20,55	8	24	110,65	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Split		3	3,39	220	15,41	8	24	82,99	2	165,97	0	0,00	2	165,97		
	Split		2	2,26	220	10,27	8	24	55,32	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Split	1,5		1,70	220	7,70	8	24	41,49	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Split	1		1,13	220	5,14	8	24	27,66	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Split	1		1,13	220	5,14	24	30	103,73	1	103,73	0	0,00	1	103,73		
	Split	0,75		0,85	220	3,85	8	24	20,75	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Aire Acond. de Ventana	2		2,26	220	10,27	24	30	207,47	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Aire Acond. de Ventana	1,5		1,70	220	7,70	8	24	41,49	1	41,49	2	82,99	3	124,48		
	Aire Acond. de Ventana	1		1,13	220	5,14	8	24	27,66	1	27,66	0	0,00	1	27,66		
	Aire Acond. de Ventana	1		1,13	220	5,14	24	30	103,73	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Aire Acond. de Ventana	0,75		0,85	220	3,85	8	24	20,75	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Aire Acond. de Ventana	0,5		0,57	220	2,57	8	24	13,83	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Nevera	0,5		0,57	110	5,14	24	30	34,58	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Refrigerador Tipo A	Regular		0,18	110	1,64	24	30	11,02	1	11,02	1	11,02	2	22,03		
	Refrigerador Tipo B	Mayor		0,20	110	1,82	24	30	12,24	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
	Caja de Agua	Regular		0,12	110	1,09	24	30	7,34	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
Iluminación	Luminaria Fluorescente	4x40	0,21	110	1,91	8	24	36,29	0	0,00	0	0,00	0	0,00	696,38	13,99	
	Luminaria Fluorescente	2x40	0,10	110	0,91	8	24	17,28	29	501,12	2	34,56	31	535,68			
	Luminaria Fluorescente	1x40	0,05	110	0,45	8	24	8,64	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	Luminaria Fluorescente	4x20	0,10	110	0,91	8	24	17,28	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	Luminaria Fluorescente	2x20	0,05	110	0,45	8	24	8,64	12	103,68	3	25,92	15	129,60			
	Luminaria Fluorescente	1x20	0,03	110	0,27	8	24	5,18	4	20,74	2	10,37	6	31,10			
	Cajero Automático	ATM	0,50	220	2,27	24	30	32,40	3	97,20	0	0,00	3	97,20			
	Server CPU PIV		0,47	110	4,27	24	30	121,82	4	487,30	0	0,00	4	487,30			
Informática	Server CPU PIII		0,35	110	3,18	24	30	90,72	2	181,44	1	90,72	3	272,16	3.485,51	70,04	
	PC CPU		0,30	110	2,73	24	30	77,76	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	PC CPU		0,30	110	2,73	8	24	20,74	23	476,93	1	20,74	24	497,66			
	Monitor SVGA		0,24	110	2,18	8	24	16,59	23	381,54	2	33,18	25	414,72			
	Monitor VGA		0,18	110	1,64	8	24	12,44	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	UPS Server		3,00	110	27,27	24	30	777,60	2	1.555,20	0	0,00	2	1.555,20			
	UPS Oficina		0,36	110	3,27	8	24	24,88	3	74,65	0	0,00	3	74,65			
	Impresora Matricial		0,13	110	1,18	8	24	2,25	7	15,72	1	2,25	8	17,97			
	Impresora Láser		0,40	110	3,64	8	24	6,91	4	27,65	1	6,91	5	34,56			
	Impresora Cajero		0,05	110	0,45	8	24	0,86	5	4,32	1	0,86	6	5,18			
	Módem		0,00	110	0,01	24	30	0,19	1	0,19	1	0,19	2	0,39			
	Router		0,01	110	0,09	24	30	2,59	1	2,59	1	2,59	2	5,18			
	Switch 24P		0,05	110	0,45	24	30	12,96	1	12,96	0	0,00	1	12,96			
	Switch 16P		0,02	110	0,18	24	30	5,18	1	5,18	0	0,00	1	5,18			
	Fax		0,02	110	0,18	24	30	5,18	1	5,18	0	0,00	1	5,18			
Otros	Máquina de Soldar		5,00	220	22,73	8	24	38,40	0	0,00	0	0,00	0	0,00	73,96	1,49	
	Electrobomba		0,75	110	6,82	8	30	14,40	1	14,40	0	0,00	1	14,40			
	PABx Panasonic	KX-TD1232	0,50	220	2,27	8	30	33,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	Sistema de Alarma	ADENCO	0,42	110	3,82	24	30	27,82	1	27,82	1	27,82	2	55,64			
	Contadora de Monedas	Mesa	0,03	110	0,27	8	24	0,49	2	0,98	0	0,00	2	0,98			
	Contadora de Billetes	Mesa	0,03	110	0,27	8	24	0,49	5	2,45	1	0,49	6	2,94			
	Contadora de Monedas	Pedestal	0,30	110	2,73	8	24	4,90	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
	Contadora de Billetes	Pedestal	0,10	110	0,91	8	24	1,63	0	0,00	0	0,00	0	0,00			
Ventiladores		0,10	110	0,91	8	24	1,92	12	23,04	3	5,76	15	28,80				
CCTV		0,11	110	1,00	24	30	79,00	6	474,00		0,00	6	474,00				
Totales									161	5.122,79	24	356,36	185	5.479,16	4.976	100,00	

Anexo 6: Inversor utilizado en la instalación.

Inversores

Symo Advance / Symo Lite

Con rangos de potencia desde 10 kW A 24 kW, el inversor Fronius Symo es el inversor sin transformador trifásico compacto ideal para todas las aplicaciones comerciales.

El sistema de amplio rango de voltaje de entrada en CD asegura máxima flexibilidad en el diseño de cualquier sistema FV.

El moderno diseño está basado en el sistema de instalación SnapInverter, permitiendo instalaciones y reparaciones sencillas y seguras. Algunas funciones líderes en la industria están disponibles en el Fronius Symo, como interfaces Wi-Fi® y SunSpec Modbus para monitoreo y datalogging, interrupción de falla de arco en el circuito (AFCI) probada en campo, certificación NEC 2014 y la plataforma en línea para monitoreo móvil Solar.Web. La versión Symo Lite no incluye tarjeta Datamanager.



Anexo 7: Características y modelos de los inversores SYMO.

MODELOS	SYMO 10.0/220	SYMO 12.0/220	SYMO 15.0/220 (IM- PPT)	SYMO 10.0-3/480	SYMO 12.5.0-3/480
Potencia FV recomendada (kWp)	8-13	9.5-15.5	12-19.5	8-13	10-16
Arreglo máximo de corriente de corto circuito	37.5 A / 24.8 A		33 A / 25 A	37.5 A / 24.8A	
Rango de voltaje MPP (VCD)	300-500 V		350-800V	300-800 V	350-800V
Rango de voltaje operacional	200-600 V		200-1000 V		
Voltaje de entrada máximo	600 V		1000 V		
Número de MPPT	2		1	2	
DATOS DE SALIDA					
Potencia máxima de salida (VA)	9995	11995	14995	9995	12495
Eficiencia CEC	96.5%		97%		

Anexo 8: Análisis económico de la inversión de SSFV del caso de estudio.

PROYECTO DE SSFV SUCURSAL BPA CIENFUEGOS			0	1	2	3	4	11	12	13	24	25
Nº	Datos iniciales											
1	Ingresos (I), \$			62172	62172	62172	62172	62172	62172	62172	62172	62172
2	Gastos (G), \$			590,634	590,634	590,634	590,634	590,634	590,634	590,634	590,634	590,634
3	Costo inversión (K ₀)		-333784									
4	Tasa de descuento (r), %		333784	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %			5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	Margen de riego, %			3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %			35	35	35	35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años			25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Resultados											
9	Año		0	1	2	3	4	11	12	13	24	25
10	Depreciación (Dep), \$			13351,36	13351,36	13351,36	13351,36	13351,36	13351,36	13351,36	13351,36	13351,36
11	Flujo de caja (Fc), \$			44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639	44700,8639
12	Tasa de descuento real (R)			0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
13	Tasa de descuento real con margen (D)			0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
14	Factor de descuento (Fdesc.)			0,94	0,89	0,84	0,80	0,53	0,51	0,48	0,26	0,24
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$			42227,5367	39891,0604	37683,8627	35598,7907	23899,7891	22577,3986	21328,1768	11403,3351	10772,3813
16	Flujo descontado acumulado (Fda), VPN,		-333784	-291556,463	-251665,403	-213981,54	-178382,75	21356,3012	43933,6998	65261,8767	234710,395	245482,7761

TIR	2%
-----	----

