

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO ACADÉMICO MÁSTER EFICIENCIA ENERGÉTICA

TÍTULO : Potencialidades del sistema solar fotovoltaico
en el sector privado de la provincia de
Cienfuegos.

Autora: MsC. Claudia Angélica Parrado Hernández



Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos

Tutores: DrC. Marle Pérez de Armas

DrC. Zaid García Sánchez

Cienfuegos, 2021

PENSAMIENTO





*"Nunca andes por el camino trazado, pues te
conducirá a donde otros ya fueron"*

Alexander Graham Bell

DEDICATORIA





*A mi abuela, quien siempre ha batallado por
mi bienestar y que con su sabiduría ha guiado
mi camino en la vida.*

AGRADECIMIENTOS





A Dios por permitirme llegar hasta aquí y ayudarme a alcanzar mis metas y sueños.

A mis padres, por toda su ayuda, guía, sabiduría e innumerables enseñanzas, sin lugar a dudas los mejores padres que uno puede pedir.

A mi querida Yoly y Lulo, por todo el apoyo que siempre me han brindado de manera incondicional.

A mi amado Tutu, quien en todo momento me ha brindado su apoyo, comprensión, ayuda, entrega incondicional.

A mi amigo Lázaro, quien me ha dado todo su tiempo y ayuda en esta tarea y no tengo maneras suficientes para agradecerle poder contar con su amistad.

A mis tutores, por su paciencia y sabiduría, y por brindarme sus conocimientos en todo momento.

A Marle, quien siempre está para guiarme y aconsejarme, y sobre todo poder contar con su amistad.

A mi tío Tata, por brindarme su mano y apoyo y aun en los momentos menos esperados venir con su ayuda.

A mis primos Sami y Enma, que siempre han extendido su mano para mí y por estar presente siempre que lo necesito..

A todos los mencionados y a los que quizá por error olvidé GRACIAS.

ÍNDICE





Resumen	7
Summary	8
Introducción	9
Capítulo I: Marco teórico Referencial.....	14
Introducción	14
1.1 Fuentes de energía y contaminación ambiental.....	14
1.2 Generalidades de la energía solar.....	16
1.3 Generalidades y actualidad de los sistemas solares fotovoltaicos	19
1.3.1 Clasificación de los sistemas solares fotovoltaicos	21
1.3.2 Componentes de un SSFV	23
1.3.3 Mantenimiento y control de fallas	24
1.4 Integración arquitectónica de los sistemas solares fotovoltaicos utilizados en edificaciones	27
1.5 Costos relacionados con los Sistemas Solares Fotovoltaicos.....	29
1.6 Principales ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas	32
1.7 Métodos y metodologías de cálculo para la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos	33
1.8 Situación energética en Cuba.....	34
1.8.1 Estrategias para el desarrollo sostenible en Cuba. Energía Solar Fotovoltaica.....	37
Conclusiones parciales	40
Capítulo II: Caracterización energética del sector privado de Cienfuegos	41
Introducción.....	41
2.1 Situación energética del sector residencial en el municipio de Cienfuegos	41
2.1.1 Caracterización energética del sector privado de Cienfuegos.....	44
2.2 Caracterización de los casos de estudio	47
2.2.1 Censo de carga de las instalaciones	48
2.3.1 Metodología integradora para el cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red57	



Conclusiones parciales	65
Capítulo III: Diseño preliminar de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para entidades del sector privado en Cienfuegos.....	66
Introducción.....	66
3.1 Cálculos para el diseño del sistema solar fotovoltaico en las instalaciones	66
Conclusiones parciales	88
Conclusiones generales	89
Recomendaciones.....	90
Bibliografía.....	91
Anexos	100

RESUMEN





Resumen

El uso de fuentes renovables de energía es una necesidad para lograr sostenibilidad y consigo disminuir la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles. La utilización de sistema solar fotovoltaico constituye una buena alternativa para el aprovechamiento de energía renovable, con fuertes reducciones de costos durante la última década. En Cuba se establece como una relevante alternativa la producción de energía a partir de las fuentes renovables y su aplicación al sector residencial y empresarial. Al amparo del Decreto-Ley 345 de la Gaceta Oficial Ordinaria No. 95 del año 2019, se regula y establece el trabajo en este sentido. Por tal motivo, la presente investigación está enfocada en el estudio de prefactibilidad técnica, económica y ambiental de un sistema solar fotovoltaico de apoyo al suministro de energía eléctrica en el sector privado a partir de casos de estudio. Para cumplir con este objetivo se emplean diferentes métodos y técnicas como entrevistas, revisión de documentos, análisis histórico, análisis de factibilidad, utilización de software simulador PVSYST, diagrama de Pareto, gráficos de control, análisis de capacidad, entre otros, permitiendo llegar al diseño preliminar de un SSFV, tomando como referencia los establecimientos Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora como representativos del sector privado del municipio. Mediante un análisis de impacto ambiental se determina la reducción de emisiones de CO₂, ahorro de combustible al año y la factibilidad económica para cada establecimiento.

Palabras claves: Sistema solar fotovoltaico, factibilidad, sector privado, energía

SUMMARY





Summary

The use of renewable sources of energy is a necessity to achieve sustainability and reduce dependence on oil and other fossil fuels. The use of a photovoltaic solar system constitutes a good alternative for the use of renewable energy, with strong cost reductions during the last decade. In Cuba, the production of energy from renewable sources and its application to the residential and business sectors is established as a relevant alternative. Under Decree-Law 345 of the Ordinary Official Gazette No. 95 of the year 2019, work is regulated and established in this regard. For this reason, this research is focused on the study of technical, economic and environmental pre-feasibility of a photovoltaic solar system to support the supply of electricity in the private sector based on case studies. To meet this objective, different methods and techniques are used such as interviews, document review, historical analysis, feasibility analysis, use of PVSYST simulator software, Pareto diagram, control charts, capacity analysis, among others, allowing to arrive at the design. preliminary of an SSFV, taking as reference the Big Bang, Las Mamparas and Doña Nora establishments as representative of the private sector of the municipality. Through an environmental impact analysis, the reduction of CO2 emissions, fuel savings per year and the economic feasibility for each establishment are determined.

Keywords: Solar photovoltaic system, feasibility, private sector, energy

INTRODUCCIÓN





Introducción

En el mundo actual el uso de la electricidad es indispensable para complementar las necesidades crecientes del hombre. Cada año se incrementa la incorporación de carbón en forma de CO₂ al medio ambiente, provocando un aumento en el calentamiento atmosférico, siendo el sector más contaminante el energético. De modo que la reducción de los gases efecto invernadero y la constante polución por las diferentes fábricas, son dos de los puntos más importantes para pensar en la uso de diferentes alternativas de obtención de electricidad (Escobar, 2013).

En el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, impulsada por la Naciones Unidas, la Estrategia Energética 2030 plantea asegurar el abastecimiento energético de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) en calidad, cantidad y diversidad de fuentes; la provisión de servicios modernos de energía asequibles para toda la población y el uso racional y eficiente de la energía en todas las cadenas productivas para garantizar el desarrollo sostenible teniendo en cuenta la equidad social, el crecimiento económico, la compatibilidad con el ambiente y la gobernabilidad desde una perspectiva integral e indivisible (CEPAL, 2020).

El uso de fuentes renovables de energía (FRE) es una necesidad para lograr sostenibilidad, lo que implica fuertes desafíos de reconversión industrial y tecnológica (CEPAL, 2013). La construcción de la Estrategia Energética 2030 en el mundo ha partido de las políticas y planes nacionales del sector energía y ha tenido presente las diferentes situaciones y prioridades existentes en los países y la proyección internacional (CEPAL, 2020).

De este modo, es una necesidad aumentar la generación de energía por otras fuentes, y disminuir la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles de forma paulatina y sostenida con la ayuda de otras formas de fuentes renovables; entre ellas, una de las más indudables es la fotovoltaica (Stolik, 2019).

La utilización de sistema solar fotovoltaico (SSFV), constituye una buena alternativa a la hora de pensar en recursos naturales y el aprovechamiento de energía renovable, esto se debe a que en gran medida, una vez que son instalados los elementos de operación, solamente es necesario agradecer por la energía que el sol irradia, ya que estos dispositivos operan casi de forma autónoma sin mayores controles ni mantenimientos, permitiendo así una inversión rápida, duradera, segura y casi ilimitada (Escobar, 2013).



Las FRE crecen rápidamente en todos los escenarios, con la energía solar en el centro de esta nueva constelación de tecnologías de generación de electricidad. Las políticas de apoyo y las tecnologías que maduran permiten un acceso muy barato al capital en los principales mercados. Con fuertes reducciones de costos durante la última década, la energía solar fotovoltaica es consistentemente más barata que las nuevas centrales eléctricas de carbón o gas en la mayoría de los países, y los proyectos solares ahora ofrecen una de las electricidades de menor costo jamás vistas. La energía hidroeléctrica sigue siendo la mayor fuente renovable de electricidad, pero la energía solar es el principal impulsor del crecimiento, ya que establece nuevos récords de implementación cada año, según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2020a).

La demanda de energía en Cuba también es creciente, por lo que resulta imprescindible la búsqueda de alternativas como el uso del gas y el biogás, o la utilización de FRE, para la sostenibilidad económica del país (Labrador, 2018). Por tal motivo, en el país se prioriza y promueve un mayor uso y diversificación de dichas fuentes en su esquema energético, en lo cual ya cuenta con un programa dirigido a incrementar la independencia en esa rama, reducir los costos y aumentar la eficiencia y seguridad en el suministro de electricidad a todos los sectores de la economía y a la población (Menéndez, 2020).

Como una de las prioridades en el proceso de actualización del modelo económico cubano se encuentra el desarrollo de las FRE y la eficiencia energética, cuya meta para 2030 es lograr un 24% de participación de las mismas en la producción de electricidad del país (actualmente apenas alcanza 4,5 %) (Menéndez, 2020).

Las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 establecen dentro de los principios rectores y ejes temáticos para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo al 2030 la necesidad de transformar y desarrollar la matriz energética mediante el incremento de la participación de FRE y empleo de otros recursos energéticos y de tecnologías de avanzada con el propósito de consolidar la eficiencia y sostenibilidad, en consecuencia, de la economía del país (PNUD, 2019).

Se prevé que cuando sea finalizado el programa, y sean instaladas todas las tecnologías concebidas para el año 2030, se obtenga una generación energética en el país de 7 000 gigawatt-hora (GWh), lo que permitiría ahorrar un millón 800 000 toneladas de combustible, aproximadamente (García, 2019b). El problema principal en esta esfera en Cuba es el alto



volumen de dependencia de los combustibles fósiles, pues el 96 % de la energía eléctrica se produce con estos y es la causa fundamental del alto costo del kilowatt/hora que se obtiene en Cuba (Stolik, 2019). En el país se producen cuatro millones de toneladas de petróleo y gas al año que se destinan principalmente a la generación eléctrica, y solo cubre un 50 % del consumo nacional (Menéndez, 2020).

Dentro de los diferentes programas desarrollados en el país, destaca el solar fotovoltaico por ser el de mayores avances hasta el presente. Estas instalaciones han permitido reducir el uso de grupos electrógenos diésel, principalmente en el horario del mediodía, momento en que ocurre la máxima radiación solar y un pico de demanda, sobre todo por la cocción de alimentos en el sector residencial (García, 2019b).

Para la proyección del país en diversificar su matriz energética se han realizado varias propuestas gubernamentales, entre las que destaca el Decreto-Ley 345 de la Gaceta Oficial Ordinaria No. 95 del año 2019, referida a la producción de energía por productores independientes, según la norma, se ofrecen incentivos y beneficios arancelarios y fiscales para que las personas naturales y jurídicas puedan adquirir equipos, que utilicen fuentes renovables de energía y que permitan el uso eficiente de la energía a precios no recaudatorios y con la oportunidad de acogerse a crédito bancario, referido específicamente los Artículos 8, 10.1 y 15 de dicha ley (Extremera, 2019). Por su parte García (2019a) plantea que por lo costoso de la tecnología, y las condiciones que exige para su despliegue, esta será una alternativa más rentable para titulares de negocios privados, que tengan un alto consumo eléctrico.

Cienfuegos es la primera provincia del país que pone en marcha una central de energía solar fotovoltaica, en el año 2013, con 14 100 paneles de fabricación nacional, en aras de sustituir importaciones y disminuir el consumo de combustibles fósiles (García, 2016).

Por otro lado, la apertura de los negocios privados en los últimos años ha cobrado importancia para la economía cubana, logrando incrementar la oferta de bienes y servicios con niveles de calidad aceptables para la población y el turismo internacional (Puig, 2017; Figueredo, Izquierdo, y Carmona, 2018). Una de las principales actividades en el sector privado es el servicio gastronómico, con la creación de las llamadas “paladares” donde existen más de 13 000 patentes abiertas en el país, en el que se encuentran involucradas más de 57 000 personas a dicho sector (Alina, 2018).



En la provincia de Cienfuegos existe gran variedad de servicios del sector privado, insertados dentro del sector residencial y sus consumos varían en dependencia de la actividad que realicen. En ese sentido se realizan un grupo de investigaciones con el objetivo de conocer las características energéticas de generación y consumo del municipio con alcance al sector residencial, en las que se evidencia la tendencia al aumento del consumo en el sector residencial sustentado sobre el uso de combustibles fósil como son la de Ávila (2016); Aureliano (2016); Cantero (2016); Fernández (2016); Nápoles (2016); Rodríguez (2016); Campillo (2018) y Rodríguez (2019); donde destaca la investigación de Campillo (2018) con la determinación de las potencialidades de utilización de las FRE en el municipio y Rodríguez (2019) en la que se propone la utilización de paneles solares fotovoltaicos en el sector residencial para un edificio multifamiliar y un hostel perteneciente al sector privado.

Por otro lado en la presente investigación se identifica como la actividad del sector privado con mayores consumos de energía registrados al servicio gastronómico en restaurantes y resultado de un análisis del consumo del sector residencial en el municipio de Cienfuegos se evidencia que los establecimientos privados presentan como promedio un consumo 2,5 veces mayor que una vivienda, energía que proviene de la red nacional y es producida mediante combustibles fósiles.

Todo lo anterior representa la **Situación problemática** de la investigación de ahí que se enuncie el siguiente **Problema científico**:

¿Cómo contribuir al Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 desde la reducción del consumo de energía eléctrica mediante la utilización de fuentes renovables de energía en el sector `privado?

Para dar respuesta al problema que se declara, se establecen los siguientes elementos metodológicos para la organización de la investigación.

Hipótesis:

La propuesta de un sistema solar fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica en el sector privado posibilita la reducción del consumo proveniente de fuentes no renovables de energía y disminuir el impacto ambiental.

En correspondencia al problema declarado se plantea el **Objetivo general** de la investigación que consiste en: Elaborar el estudio de prefactibilidad técnica, económica y ambiental de un



sistema solar fotovoltaico de apoyo al suministro de energía eléctrica en el sector privado a partir de casos de estudio representativos.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar un marco teórico referencial que permita fundamentar los principales aspectos relacionados con el uso de la energía solar fotovoltaica para el suministro energético y la situación energética en Cuba.
2. Caracterizar energéticamente el sector privado de la provincia de Cienfuegos.
3. Desarrollar el estudio de prefactibilidad técnica, económica y ambiental del sistema solar fotovoltaico para los casos de estudios seleccionados y realizar su evaluación económica y ambiental.

La investigación está estructurada de la siguiente manera

Capítulo I: Se desarrolla el marco teórico referencial que aborda términos y definiciones necesarias para el desarrollo de la investigación, contiene aspectos relacionados la energía solar, los Sistemas Solares Fotovoltaicos, sus costos, ventajas y desventajas. Se exponen diferentes métodos o metodologías de cálculo para la instalación de SSFV y se presenta la situación energética en Cuba en el sector residencial y planes para el 2030.

Capítulo II: Se caracteriza energéticamente el sector residencial de Cienfuegos, específicamente el sector privado y en particular las entidades caso de estudio seleccionadas.

Capítulo III: Se realiza propuesta preliminar del sistema solar fotovoltaico a colocar en los casos de estudio seleccionados del sector privado y su análisis de prefactibilidad.

CAPÍTULO I





Capítulo I: Marco teórico referencial

Introducción

El Marco Teórico Referencial que se presenta a continuación permite el análisis de concepciones y elementos relacionados con relacionados la energía solar, los Sistemas Solares Fotovoltaicos, sus costos, ventajas y desventajas, metodologías de cálculo para la instalación de SSFV y se presenta la situación energética en Cuba en el sector residencial. El sustento conceptual de la investigación se desarrolla considerando el hilo conductor que se ilustra en la Figura 1.1 a continuación.

Figura 1.1

Hilo conductor de la investigación



Nota. Elaboración propia.

En los epígrafes que siguen se abordan aspectos principales relacionados con cada uno de los apartados incluidos en el hilo conductor de la investigación antes presentado.

1.1 Fuentes de energía y contaminación ambiental

La energía es un elemento esencial para el desarrollo económico y humano. Cualquier nación que persiga bienestar y progreso necesita tomar como bandera prioritaria la adecuada obtención, desarrollo y uso sostenible de fuentes energéticas para todos sus ciudadanos (CEPAL, 2013).



Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes grupos: las energías renovables y las no renovables. Las fuentes no renovables de energía (FNRE) son las que a escala humana no son capaces de crearse al mismo ritmo en que se consumen, tal es el caso de los combustibles fósiles. En cambio, las fuentes renovables de energía (FRE) provienen de recursos naturales, son inagotables a escala humana y tienen, principalmente, un origen natural (Bjork et al., 2014; García, 2016).

En la actualidad, FNRE han ocasionado el continuo deterioro del medio ambiente, un tema de vital importancia en la sociedad. Las implicaciones ambientales y los problemas vinculados al uso de combustibles fósiles son incontables (García, 2016). Se incorporan cada año a la atmósfera, más de 5.6×10^9 toneladas métricas de carbón en forma de CO_2 , lo que provoca alrededor del 50 % del calentamiento atmosférico. El sector más contaminante en el mundo es el energético con un 57 % de emisiones (Stolik, 2019).

El contenido de CO_2 a principios del siglo XIX, era de 250 partes por millón (ppm), 340 ppm en 1980 y 350 ppm en 1990; de seguir así, para los años 2030-2040 la temperatura promedio sube a unos 1.3°C , suficiente para producir una catástrofe ecológica (Ver Anexo 1). El carbón y el petróleo son los que mayor influencia tienen en las emanaciones de SO_2 y No_x , provocando lluvias ácidas, efecto invernadero, enfermedades respiratorias, entre otras (Stolik, 2019).

Son diversos los aspectos a considerar, sobre todo la inversión de miles y miles de millones de dólares en plantas y otras industrias que utilizan combustibles fósiles, de ahí la necesidad de un cambio de esta situación (Stolik, 2019). En particular se resalta el papel que pueden jugar los avances en innovación y desarrollo tecnológico, la eficiencia energética y las fuentes renovables (CEPAL, 2013).

Otro factor que se ha convertido en una preocupación es el crecimiento de la población mundial, pues conlleva a incrementos en la demanda mundial de energía y el suministro de combustible está alcanzando su punto máximo. Para diciembre del año 2019 la energía que se genera en el mundo a partir de combustibles fósiles representa el 64%, mientras que la generación a partir de FRE es solamente de un 10%, dicha distribución se muestra en el Anexo 2. Por lo que considerar el uso de energías renovables como la opción más segura para satisfacer la demanda mundial representa una prioridad para un desarrollo sostenible tecnológico y ambiental (Bjork et al., 2014)

Las energías renovables pueden ofrecer un crecimiento económico sostenible, mediante el aprovechamiento de los recursos locales y la creación de nuevas industrias, conocimientos y



empleos. El desarrollo de las energías renovables ofrece oportunidades para la creación de nuevas empresas y nuevas tecnologías, en particular para negocios pequeños y de inicio. Las empresas grandes también se benefician ya que suelen comprar e invertir en nuevas tecnologías como parte de los planes de negocio a largo plazo (IRENA, 2020a).

La generación de energía renovable sigue creciendo en 2020, a pesar de la pandemia de la COVID-19. El aumento constante de la competitividad de las renovables, sumado a su modularidad, a su rápida escalabilidad y a su potencial de creación de empleo, hacen que también resulten muy atractivas cuando los países y las comunidades evalúan sus opciones de estímulo económico (IRENA, 2020b).

Los pronósticos mundiales a largo plazo de crecimiento de la FRE planteadas desde hace varios años son disímiles, pero todas apuntan a una fuerte presencia de la solar (Autosolar, 2020). En el siguiente epígrafe se profundiza acerca de la energía solar y su utilización.

1.2 Generalidades de la energía solar

El aprovechamiento de la energía solar para el hombre es altamente beneficioso y su uso casi ilimitado, pues la energía arrojada por el sol es superior a la energía que el hombre consume actualmente, la misma es aprovechada directamente de la radiación solar emitida a la Tierra, que corresponde a 900 W/m^2 , lo que equivale a 2000 veces el consumo energético mundial (Escobar, 2013; Potosinos, 2019).

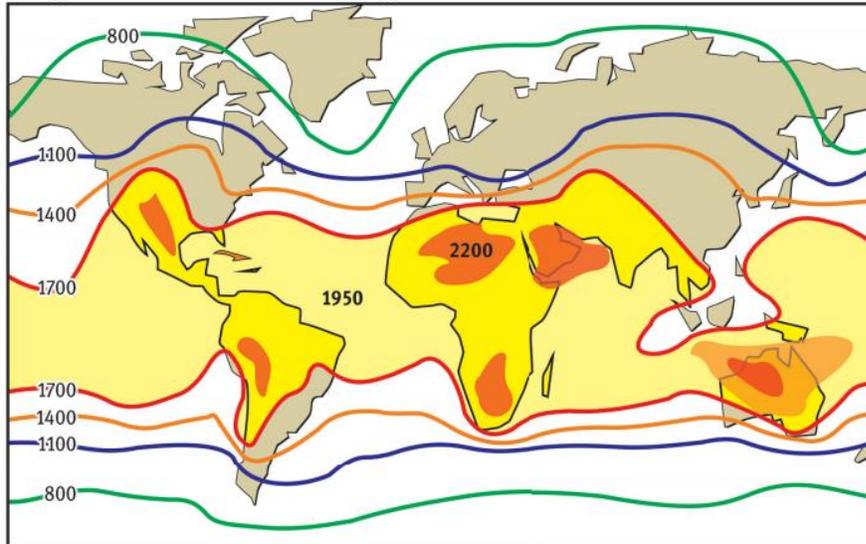
Todo el planeta recibe energía electromagnética de los rayos del sol, cuando menos un promedio cercano a $800 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$, en zonas más cercanas a los polos. En la medida que las zonas se acercan al ecuador, la radiación solar se va incrementando hasta encontrarse distribuida en una banda (de color amarillo en la Figura 1.2) de $1\ 700 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$. En color marrón oscuro se destacan las radiaciones más altas del planeta que se encuentran en zonas desérticas. Nótese que prácticamente toda América Latina y el Caribe, África y Medio Oriente muestran altas intensidades de radiación solar (Stolik, 2019).

Se hace importante cuantificar la cantidad de radiación solar para estimar el potencial de energía a producir en una instalación. La cantidad de energía solar recibida por un área durante un día se le denomina insolación y se mide en $\text{kWh/m}^2 \text{ día}$, la que depende de la hora, la inclinación de la Tierra respecto del Sol, condiciones meteorológicas y grado de contaminación (Benavides, 2013).

**Figura 1.2**

Distribución promedio anual de radiación solar

Energía solar media anual en kWh/m²/año



Nota: Tomado de Stolik (2019).

En términos generales, la energía solar es convertida en tres tipos de energía (Bjork et al., 2014; Flores, 2015; Energía Solar, 2020):

- La energía solar térmica se refiere a la energía solar convertida a calor. Generalmente dirigida a poblaciones domésticas, esta puede tomar la forma de espacio solar, calentamiento de agua y piscinas, y refrigeración solar térmica.
- La energía solar concentrada es un tipo de energía solar térmica usada para generar electricidad. Más a menudo destinada a la producción de energía a gran escala, las tecnologías de energía solar concentrada utilizan lentes o espejos para reflejar y concentrar la luz solar en los receptores (un rayo delgado). El calor concentrado se convierte en energía térmica, que a su vez produce electricidad a través de una turbina de vapor o de un motor de calor accionando un generador.
- La energía solar fotovoltaica es la electricidad generada a partir de la utilización de células fotovoltaicas. Los módulos o células pueden ofrecer electricidad en áreas en donde no es rentable utilizar la red convencional, o donde las redes eléctricas son rudimentarias.



Por otro lado, Escobar (2013) plantea que la energía solar se clasifica según la tecnología y su uso general en:

- Energía solar pasiva: no requiere elementos o sistemas mecánicos para aprovechar el calor del sol. Por medio de calentamiento directo o locales, con el efecto invernadero, se construyen viviendas y locales diseñados para aprovechar al máximo y minimizar las pérdidas de energía.
- Energía solar térmica: aprovecha la radiación térmica del sol para calentamiento de agua para uso sanitario y calefacción.
- Energía solar termoeléctrica: la radiación del sol calienta un fluido, por medio de éste y un ciclo térmico produce electricidad; Acumulación del calor solar: Usado especialmente para aprovechar el calor emanado por el sol, por medio del calentamiento de paneles por los cuales circula un fluido o agua, esta medida puede suponer un ahorro importante de energía, teniendo en cuenta que en países desarrollados el 5% de la energía es usada en calentar agua.
- Energía solar híbrida: Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación y se puede usar para la Generación de electricidad con energía solar la cual se puede dar de varias formas, con sistemas termales, convirtiendo agua en vapor, mediante una turbina convencional, se genera electricidad; con este sistema se convierte energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los paneles
- Energía solar fotovoltaica: Produce energía eléctrica a través de paneles solares semiconductores. La electricidad puede obtenerse también por medio del efecto fotoeléctrico. Las células fotovoltaicas presentan una eficiencia aproximada del 10 al 19%, sin embargo algunos prototipos llegan al 30%, por lo cual se requieren cantidades significativas de paneles para la producción de energía con este sistema.

Según el criterio de los autores consultados anteriormente, la energía solar tiene gran variedad de usos en dependencia de la tecnología y el tratamiento que le sea dado. Un punto de coincidencia para todos los autores es su utilización para la generación de electricidad. El aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica es una alternativa factible en la generación eléctrica para el mundo actual, pues esta es amigable con el medio ambiente e inagotable; de la misma se analiza a continuación.



La energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, como fuente renovable representa una fórmula energética radicalmente más respetuosa con el medio ambiente que cualquier otra energía convencional. Es una de las fuentes de energía limpia y renovable más rentable y fiable para satisfacer las demandas energéticas de los países, ofrece una alternativa ecológica sostenible para todos los habitantes del planeta Tierra (García, 2016).

Este tipo de energía es posible gracias a la transformación de la radiación de luz solar que incide en paneles solares y produce electricidad, en ese momento es cuando se produce un efecto fotovoltaico, activando los electrones en un material semiconductor para así generar corriente eléctrica, aunque el rendimiento de este proceso es muy pequeño, pues en el mejor de los casos solo un 25% de la energía luminosa se transforma en eléctrica, para obtener suficiente amperaje, se conectan varias celdas en serie, formando así los módulos o paneles fotovoltaicos (Autosolar, 2020).

Según Stolik (2019) la energía fotovoltaica ha sido una de las últimas fuentes de energía eléctrica en desarrollarse, la cual ha ganado terreno frente a otras fuentes de energía renovable en los últimos años. La misma es versátil, pues puede utilizar diversos dispositivos tecnológicos, sin que produzcan subproductos peligrosos para el medio ambiente (García, 2016).

El conjunto de dispositivos tecnológicos para la utilización de la energía solar fotovoltaica es denominado como SSFV, el cual permite la conversión de energía solar a energía eléctrica (Cornejo, 2014). Dichas instalaciones han cobrado valor en el mercado de la generación de energía, sobre su utilización en el mundo y crecimiento se aborda en el epígrafe a continuación.

1.3 Generalidades y actualidad de los sistemas solares fotovoltaicos

Un SSFV está compuesto por un grupo de células o paneles dispositivos directamente interconectadas, que aprovechan la radiación emanada por el sol para producir energía eléctrica en voltajes menores, la cual es convertida a corriente alterna por un inversor (Calderón, 2019). Dichos dispositivos han comenzado a ser aceptados y valorados como una fuente viable y factible en el uso de energía limpia por los diferentes sectores industriales.

La tecnología solar fotovoltaica ha evolucionado con rapidez y cambia a un ritmo acelerado, en términos generales, la participación de la energía solar ha alcanzado más del 36% de todas las capacidades de energía recientemente agregadas en 2018, frente al 38% del año anterior. Todas las plantas de energía solar fotovoltaica juntas han producido solo el 2,2% de la

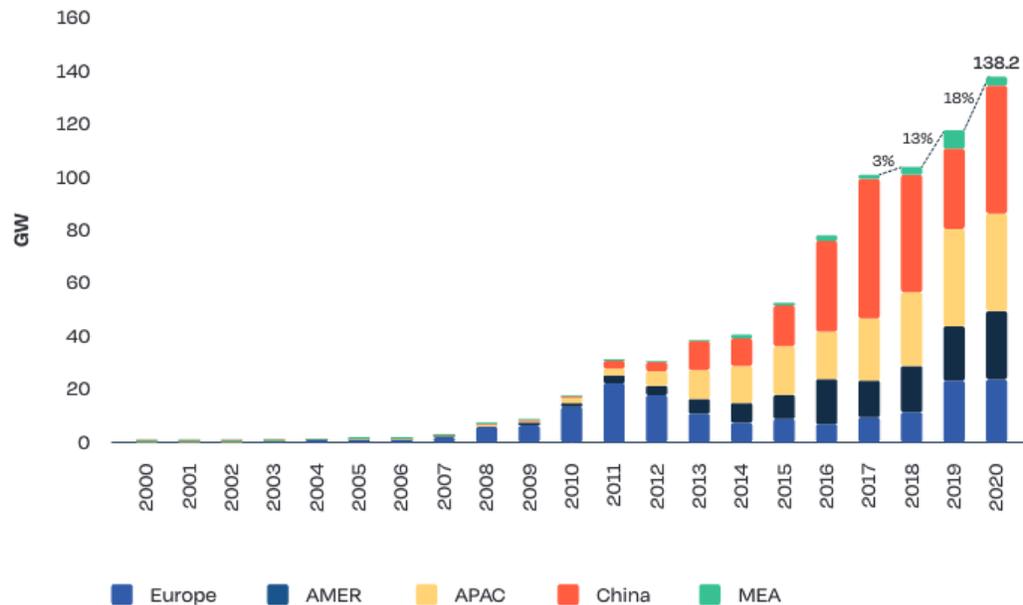


producción mundial. Esto muestra que a pesar del reciente papel dominante de la energía solar, existe un enorme potencial sin explotar.

La Figura 1.3 a continuación muestra la capacidad instalada de SSFV desde el año 2000 al 2020, donde se puede observar un notable incremento.

Figura 1.3

Capacidad total de SSFV instalados en el mundo 2000-2020.



Nota: Tomado de Mosquera (2021).

La capacidad acumulada de energía solar fotovoltaica instalada ha aumentado en un 23% de 633,7 GW a fines de 2019, por su parte en el año 2020, y a pesar de la covid-19, en el mundo se han instalado 138,2 gigavatios (GW) nuevos de potencia fotovoltaica, lo que equivale a un crecimiento del 18 por ciento respecto al año 2019 y supone un nuevo récord mundial anual para el sector: la potencia solar fotovoltaica instalada en todo el mundo llega ya a los 773,2 GW (Mosquera, 2021), lo que significa que la energía solar total ha crecido casi 400 veces desde principios de siglo. En retrospectiva, solo hace 10 años, la capacidad fotovoltaica instalada total del mundo ha aumentado de 41,4 GW en 2010 a 633 GW en 2019 (Europe, 2020).

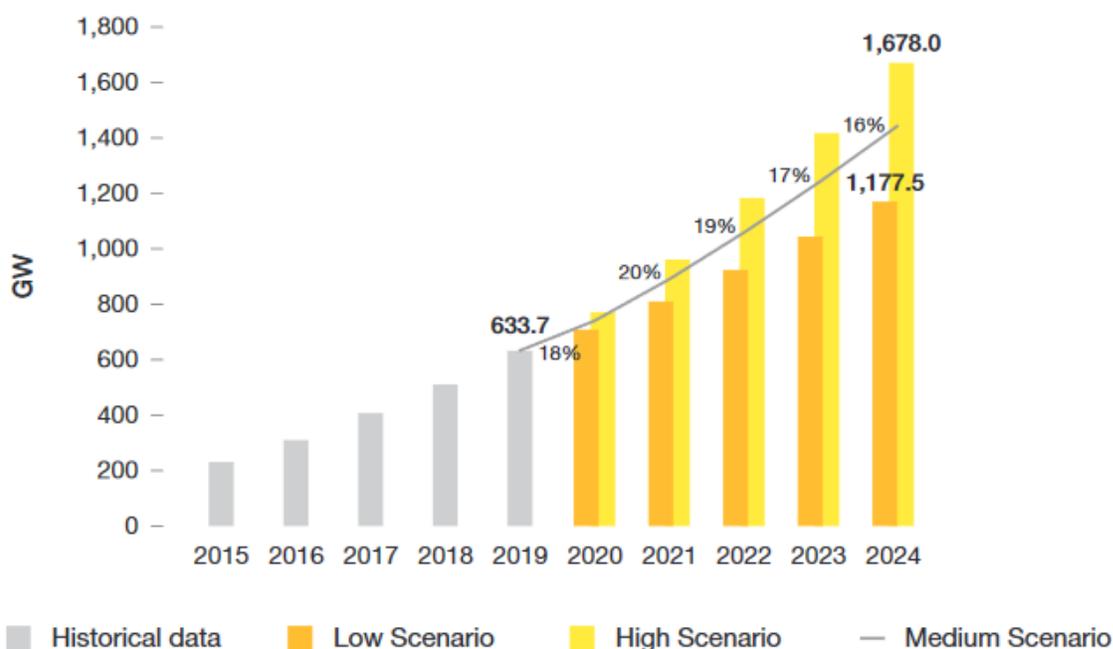
Según datos de IRENA (2020b) se pronostica un aumento de la capacidad mundial de energía solar fotovoltaica, de 480 GW en 2018, a más de 8 000 GW en 2050, lo que implica un crecimiento de casi un 9 por ciento por año.



Según datos obtenidos por Europe (2020) el uso de SSFV ha ido en crecimiento acelerado a nivel mundial. Se estima una capacidad instalada acumulada de 1678 GW para el 2024 en escenario más favorable, mientras que para un bajo escenario se estiman valores de 1177 GW y el escenario medio probable de 1427 GW. Dicho crecimiento se muestra en la Figura 1.4 que a continuación se presenta.

Figura 1.4

Escenarios totales del mercado fotovoltaico 2020-2024.



Nota: Tomado de Europe (2020).

De este modo los SSFV ganan espacio en la sociedad actual como fuente de generación eléctrica; diferentes organismos en el mundo se han dedicado a estudios sobre su desarrollo y aplicaciones. Los SSFV poseen varios aspectos claves: su clasificación, sus componentes, el mantenimiento y control y el costo, los que a continuación se analizan.

1.3.1 Clasificación de los sistemas solares fotovoltaicos

En la bibliografía consultada, según el criterio de diversos autores como Solar (2010), Obrero (2011), Stolik (2014), Cornejo (2014), Benito y Ruiz (2018), Perpiñán (2018), Nación y Morrone (2019) y Potosinos (2019) plantean que 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 Aislados.

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 y Ruiz, 2018).

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 Anexo 3). Por lo general son sistemas de poca potencia (Stolik, 2019).

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).

- 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 Anexo 4, 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).

De este análisis resalta que una instalación donde se encuentre un SSFV aislado no depende de la energía eléctrica suministrada por la red si cuenta con todos los componentes necesarios para su funcionamiento, principalmente las baterías. Por otro lado en SSFV conectado a la red posibilita la generación de energía para la instalación en la que se encuentra y a su vez permite apoyar el suministro eléctrico de la red. En el subepígrafe a continuación se describen los componentes necesarios para su funcionamiento.



1.3.2 Componentes de un SSFV

Los principales componentes de un SSFV son descritos a continuación en la Tabla 1.1, de acuerdo a los criterios de diferentes autores consultados en la bibliografía, tales como Obrero (2011), Ortiz (2013), García (2016), Perpiñán (2018) y Stolik (2019).

Tabla 1.1

Componentes de un SSFV.

Componentes SSFV	Descripción
Módulos fotovoltaicos	<p>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 5. Los módulos pueden ser calificados en función de su tecnología de fabricación según García (2016) en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>Son utilizados para convertir la corriente directa (CD) en alterna (CA), 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).</p>
Dispositivos de almacenamiento o baterías	<p>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).</p>



	<p>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).</p>
Estructuras y soportes	<p>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).</p>
Cables de conexión	<p>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).</p> <p>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).</p>
Regulador	<p>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).</p> <p>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).</p>

Nota: Elaboración propia a partir de Obrero (2011), Ortiz (2013), García (2016), Perpiñán (2018) y Stolik (2019).

Como se puede observar son varios los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de un SSFV, en su mayoría eléctricos. Estos dispositivos son sometidos a ambientes corrosivos, variación de tensiones y temperaturas, por lo que es necesario un plan de mantenimiento y control de fallas para mantener una adecuada generación eléctrica, de lo que se explica en el subepígrafe a continuación.

1.3.3 Mantenimiento y control de fallas

Para tener una mayor seguridad y vida útil en una planta fotovoltaica se debe tener un control de fallas mediante un plan de mantenimiento los principales componentes planteados por Stolik (2019) son:



- 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 emografía y 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

- 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.

Por su parte Aguilera y Guerrero (2020), incluyen un paso más a estos, referido al mantenimiento predictivo, el cual utiliza información en tiempo real para llevar a cabo medidas preventivas como limpieza o mantenimiento anticipando las fallas.

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, lo que se puede observar a más detalle en la tabla 1.2 mostrada a continuación (Aguilera y Guerrero, 2020).

**Tabla 1.2**

Resumen de la frecuencia de mantenimiento.

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.

Nota: Elaboración propia a partir de Aguilera y Guerrero (2020).

De modo que un correcto mantenimiento de las instalaciones SFV previene fallas en el sistema, garantizando un mayor aprovechamiento de su vida útil y confiabilidad. Las instalaciones



fotovoltaicas son adaptables a los espacios, permitiendo su aplicación en entornos aparentemente de poca utilidad, en el epígrafe a continuación se aborda sobre este tema.

1.4 Integración arquitectónica de los sistemas solares fotovoltaicos utilizados en edificaciones

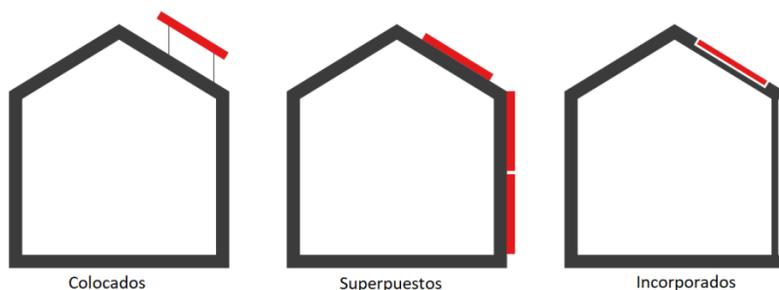
Integración solar fotovoltaica se refiere a cualquier instalación solar fotovoltaica integrada en cualquier superficie de un edificio, un tejado, una cubierta, una fachada, marquesinas, entre otros y ofrece infinitas posibilidades (López, 2009).

La integración fotovoltaica en edificios (BIPV- Building Integrated Photovoltaics) supone la sustitución de materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos fotovoltaicos que son generadores de energía (López, 2009).

En relación a la disposición de los paneles solares en edificaciones existen diferentes posturas como se muestra a continuación en la Figura 1.5.

Figura 1.5

Esquemas de paneles solares colocados en edificación.



Nota: Tomado de Marin (2018).

Según Marin (2018) pueden ser colocados, superpuestos e incorporación arquitectónica:

- **Colocados:** Cuando se instalan los paneles sin relación formal, material o de color con la edificación, a veces en contraposición o de forma no paralela a la envolvente por lo general son el resultado de aprovechar una máxima irradiación y/o para evitar sombras.
- **Superpuestos:** Cuando las placas guardan un paralelismo con uno de los planos de la edificación. A veces en relación con la composición y ritmos del edificio, es decir centrado o en un eje formal, con alguna relación en color y materialidad.
- **Incorporados:** Cuando remplazan recubrimientos o elementos funcionales arquitectónicos de una edificación, cumpliendo propiedades que cualquier material de



exteriores debe proporcionar; como estanqueidad y resistencia mecánica, o funcionar adecuadamente como balaustrada, filtro solar, ventanal, entre otros.

Por otro lado, existen varias aplicaciones de la integración fotovoltaica en edificios, a continuación se explican algunas de ellas López (2009), Chivelet (2011), Ribeiro (2015) Montero (2016) y Marin (2018):

- **Lucernarios y atrios:** Se constituye en cubiertas generadoras de energía transparentes. El juego de transparencia y sombras se consigue ajustando la distancia entre células, que en este caso son muy importantes en el resultado arquitectónico, ya que las células están visibles.
- **Integración en fachadas:** La utilización de sistemas fotovoltaicos integrados a fachadas se pueda dar de diversas maneras. Las construcciones de las fachadas pueden ser ventiladas o no ventiladas, y estas características son importantes en el momento de decidir qué tipo de tecnología fotovoltaica se puede integrar. Actualmente se encuentran en el mercado gran variedad de módulos o componentes constructivos fotovoltaicos para aplicaciones en fachadas.
 - ✓ Fachadas ventiladas: La integración en fachadas ventiladas se hace sustituyendo la piel exterior por módulos fotovoltaicos, bien sean de vidrio o de otros soportes opacos, como aluminio, cerámica o plástico.
 - ✓ Fachadas no ventiladas o tipo muro cortina: Se pueden utilizar para fachadas verticales o inclinadas, curvas o no, utilizando el sistema montado directamente en obra tradicional o el sistema modular. Admiten ambas soluciones mixtas, con módulos transparentes y opacos. En el caso de utilizarse tecnologías fotovoltaicas de silicio cristalino, donde la falta de ventilación de la cara posterior de los módulos se traduce en pérdidas de eficiencia.
- **Integración en cubiertas:** Las cubiertas ofrecen el mayor potencial de integración de paneles solares en edificios, por ser las superficies mejor situadas y de mayor extensión, libres de obstáculos y restricciones. Además, en zonas ecuatoriales el potencial es sustancialmente mayor en cubiertas, en cambio, en regiones cercanas a los polos, ganan potencial las fachadas. Dependiendo del tipo de edificación, la integración se puede realizar en las cubiertas inclinadas o en las planas, sean o no transitables
 - ✓ Cubiertas inclinadas: Consiste en sustituir los elementos convencionales del tejado por colectores solares. De este modo ya no es necesario tener en cuenta el



área de sombra en la siguiente fila de módulos. El sistema de anclaje de paneles superpuestos más utilizado en cubiertas inclinadas de edificios industriales es mediante montantes de aluminio atornillados al material de cubierta que sirven para sujetar los módulos. Este sistema es el más rápido y fácil de instalar, además garantiza la impermeabilidad del techo y los colectores pueden disponerse horizontal o verticalmente.

- ✓ Cubiertas planas: Es la forma de integración más habitual, mediante una estructura de soporte, se calibran y disponen paneles en inclinación y orientación adecuada para conseguir la máxima producción energética, normalmente retranqueados del perímetro del edificio.

Para la integración de sistemas fotovoltaicos, las cubiertas de edificaciones son consideradas las superficies más favorables y mayormente utilizadas, siempre y cuando la orientación sea favorable para evitar sombras y ventilar la cara posterior de los módulos (Ribeiro, 2015). Los sistemas fotovoltaicos sobre tejados y cubiertas son de pequeño a mediano tamaño, esto es de 5 kW a 200 kW. Aunque a veces se supera este valor y se alcanzan dos o tres MW (Pérez, 2013).

En el mercado hay numerosas ofertas de componentes constructivos fotovoltaicos para instalar en edificaciones y sus costos son muy variables en dependencia de su incorporación (Ribeiro, 2015). El siguiente epígrafe abordan los costos relacionados con los SSFV en el mundo.

1.5 Costos relacionados con los Sistemas Solares Fotovoltaicos

La capacidad de energía renovable recién instalada cuesta cada vez menos que las opciones de generación de energía más baratas basadas en combustibles fósiles. Los datos de costos presentados en este estudio integral de IRENA confirman cuán decisivamente han cambiado las tornas (IRENA, 2020b).

Más de la mitad de la capacidad renovable agregada en 2019 logró menores costos de electricidad que el carbón. Los nuevos proyectos solares y eólicos están socavando la más barata de las plantas de carbón existentes. Los resultados de la subasta muestran que estas tendencias favorables de costos para las energías renovables se aceleran (IRENA, 2020b).

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, 2020b).

El costo de la electricidad generada a partir de energía solar fotovoltaica registró un descenso del 85% entre 2010 y 2020. 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 80% en la última década (IRENA, 2020a).

Las reducciones de costos totales de instalación de energía solar fotovoltaica están relacionadas con varios factores como son, la optimización de los procesos de fabricación, mano de obra reducida, eficiencia mejorada del módulo, mayor experiencia de los desarrolladores y las estructuras de la cadena de suministro. Esto ha llevado a un mayor número de mercados donde los sistemas fotovoltaicos están logrando estructuras de costos competitivas y disminuyendo la ponderación global de los costes totales medios de instalación. En 2020, se produjeron importantes reducciones totales de costes instalados en todos los principales mercados históricos, como China, India, Japón, la República de Corea, Estados Unidos y Alemania, logrando una reducción del costo promedio ponderado del orden del 93% durante el período 2010-2020, lo que se muestra en el Anexo 6 (IRENA, 2021).

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

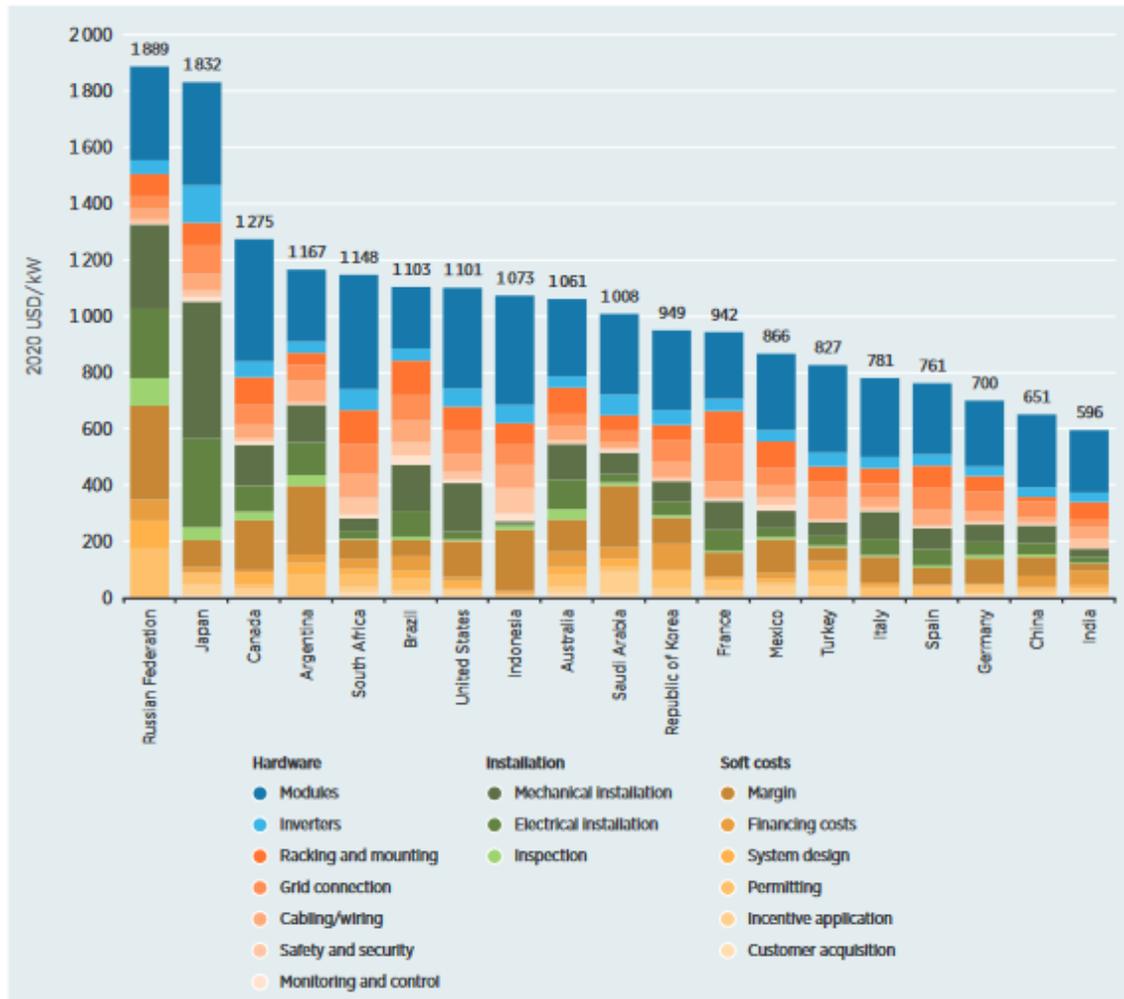
- Todos los costos iniciales y posteriores (módulos, inversores, estructura, cableado, obra civil, instalación y montaje y otras labores.)
- Prestamos, créditos, otros financiamientos.
- Operación y Mantenimiento.
- Costos imprevistos.
- Impuestos por ganancias, permisos y arrendamientos.

La Figura 1.6 muestra un ejemplo aproximado del precio de instalación de un SSFV por diferentes países, desde precios más bajos, correspondiente al caso de India con 596 USD/kWp, hasta valores superiores para otros países como Rusia y Japón, que destacan con 1889 USD/kWp y 1832 USD/kWp respectivamente, dentro de los valores medios del mercado se encuentra Canadá con 1275 USD/kWp.



Figura 1.6

Valores de costos totales de instalación de kWp.



Nota: Tomado de IRENA (2021).

Por su parte la entidad suministradora cubana dedicada a la instalación y montaje de sistemas solares fotovoltaicos COPEXTEL S.A. tiene como precio total de instalación de 1 kWp 2 550 MLC (Finalé, 2019).

Como se ha explicado el costo de los SSFV han disminuido considerablemente en el tiempo y son valores muy variados en dependencia del país productor, destaca India como uno de los países que oferta los precios más económicos y Cuba entre los países con precios más elevados.

Esta tecnología tiene diferentes ventajas que aportan valor en los diferentes sectores donde se instalen, diferenciándose en el mercado de otras tecnologías para generar energía, su



crecimiento está dado por su alta demanda en el mercado, en el siguiente epígrafe se muestran sus fortalezas y sus debilidades.

1.6 Principales ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica desarrollada se realiza un resumen en la Tabla 1.3 de las principales ventajas y desventajas de los SSFV, que se muestra a continuación según los autores Uzquiano et al. (2015), Stolik (2019), Potosinos (2019) y Autosolar (2020).

Tabla 1.3
Principales ventajas y desventajas de los SSFV.

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 20 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 verterse 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 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	

Nota: Elaboración propia a partir de Uzquiano et al. (2015), Stolik (2019), Potosinos (2019) y Autosolar (2020).

Como se puede observar son numerosas las ventajas de utilizar SSFV, pues su aprovechamiento no contamina el medioambiente y además 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 y muchas otras ventajas como las mencionadas anteriormente.

Una vez analizados diferentes temas relacionados con los SSFV referidos anteriormente como sus componentes, clasificación, adaptabilidad a los espacios, mantenimientos, costos y ventajas de los mismos, se procede en el siguiente epígrafe al estudio de los diferentes métodos y metodologías para la instalación de SSFV.

1.7 Métodos y metodologías de cálculo para la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos

En la bibliografía consultada se puede observar que existen diferentes métodos o metodologías para el cálculo sistemas solares fotovoltaicos, entre las que destacan:

- Ayora (2003), plantea los pasos que se deben seguir para el cálculo manual de la generación, acumulación y regulación de un SSFV. Plantea que la transformación de la radiación solar en electricidad útil pasa por una cadena de elementos que pueden caracterizarse por sus respectivos rendimientos.
- 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 y Sales, 2017).



- Benito 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 7.
- Ochoa (2018) presenta 11 pasos fundamentales para obtener la generación eléctrica de un SSFV, aplicada en el Banco popular de Ahorro de Cienfuegos, con resultados factibles para la entidad, los mismo se muestran en el Anexo 8.
- 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 9.
- Hernández et al. (2020) proponen una secuencia de 14 pasos lógicos para la cubierta del edificio 7 de la Universidad de Cienfuegos con resultados positivos. Ver Anexo 10.
- Correia (2020) propone un metodología con 8 pasos para el cálculo, diseño e instalación del sistema fotovoltaico, implementados en la empresa MICALUM de Cienfuegos, con resultados satisfactorios, ver Anexo 11.

Los métodos o metodologías descritas anteriormente presentan el mismo objetivo, son muy similares y coherentes entre ellas. Dentro de las mostradas, destaca la propuesta por Becerra (2019), como una de las más completas, la misma coincide con la mayoría de los pasos propuestos por los autores e incluye análisis económicos que otras propuestas no muestran, sin embargo Benito y Ruiz (2018) es la única que incluye en sus pasos un análisis medio ambiental, aunque no contempla todos los pasos para el cálculo de un parque solar. En el Anexo 12 se muestra una comparación entre dichas metodologías. En el epígrafe a continuación se describe la situación energética de Cuba, donde se abordan aspectos referidos a la producción energética, el consumo en el país, diferentes estrategias y normas trazadas para el desarrollo en de FRE en la Agenda 2030 de la nación.

1.8 Situación energética en Cuba

Cuba ha sido un gran importador de petróleo. Antes de 1958 el consumo era costeable, época en la que por una tonelada de azúcar se adquirían 7 toneladas de petróleo. En 1958, la generación eléctrica anual corresponde a valores de 1760 GWh, en 1965 de 2592 GWh, en 1970 de 3609 GWh y en 1975 de 5412 GWh (Rodríguez, 2002). En los años noventa, en el mercado mundial, por una tonelada de azúcar se adquiría algo más de 1.4 toneladas de petróleo (Laino, 2008). La producción nacional de petróleo aumenta posteriormente, lo que ha sido de gran ayuda; pero aun no es suficiente, debido a su gran peso y alto contenido de

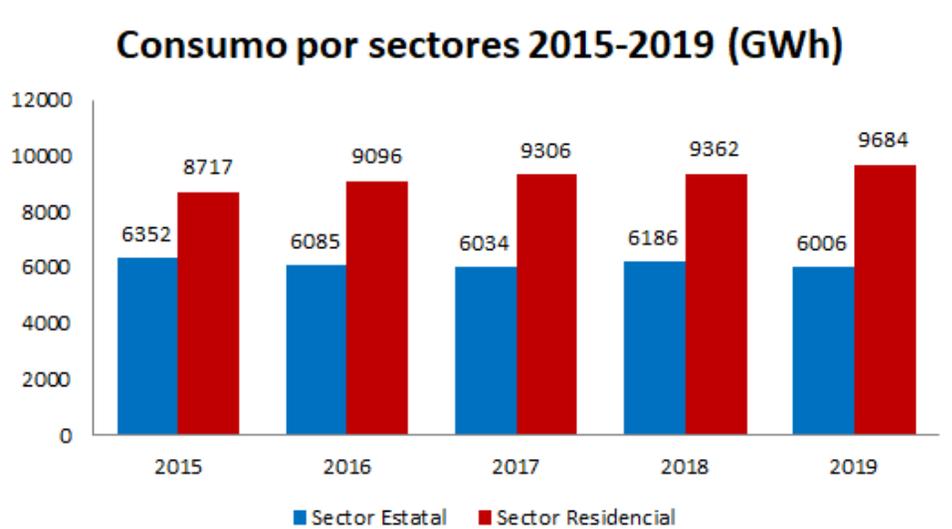


azufre, y el mismo es quemado en las termoeléctricas con la finalidad de generar electricidad (Stolik, 2019).

El país ha mantenido una producción bruta de electricidad con poco crecimiento durante los años 2015-2019, como se muestra en la Figura 1.7 según las publicaciones en los anuarios estadísticos de Cuba.

Figura 1.7

Consumo en Cuba sector residencial y estatal en los años 2015-2019.



Nota: Elaboración propia a partir de (ONEI, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

En la Figura 1.7 se observa que el sector residencial presenta el mayor consumo en el país con un promedio de 9 233 GWh al año con un constante crecimiento cada año, mientras que el sector estatal solamente consume como promedio 6 132 GWh al año y con valores similares en los años de estudio.

A continuación y en el Anexo 13 se muestra el comportamiento del sector residencial del país a partir de CUBADEBATE (2020) donde se evidencia que:

- El 91.2% de los consumidores consumen por debajo de 350 kWh/mes, lo que representa el 78% del consumo total del sector residencial.
- El 6.63% de los consumidores consumen entre 351 y 500 kWh por mes, lo que representa el 14% del consumo total del sector residencial.
- El 97% de los consumidores está por debajo de 500 kWh por mes.

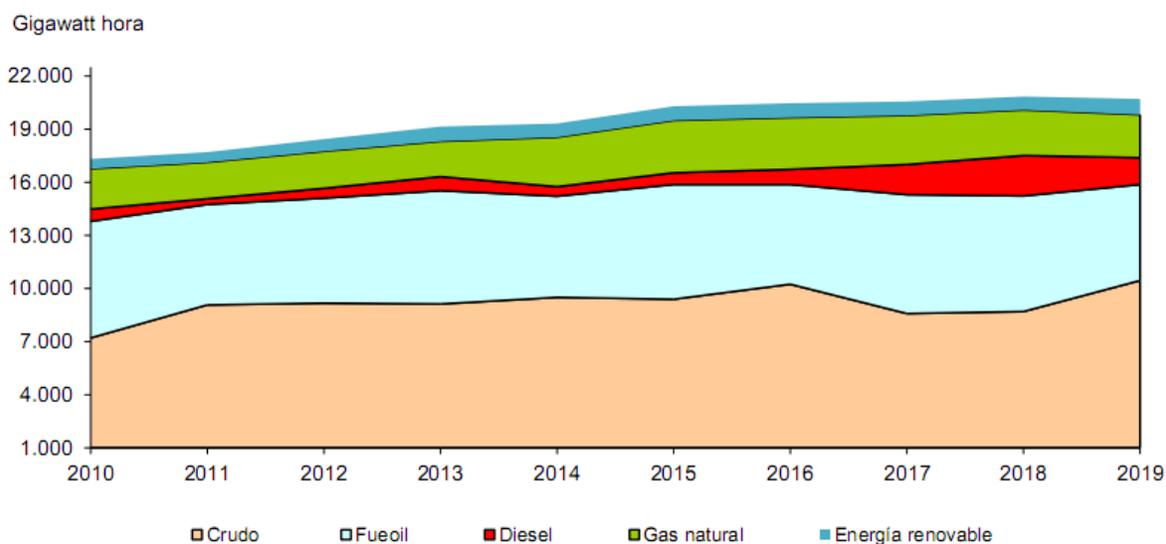


- El 2.02% de los consumidores consumen entre 501 y 1 000 kWh/mes, lo que representa el 6.42% del consumo total del sector residencial.
- El 0.16% de los consumidores consumen entre 1 000 y 5 000 kWh por mes, lo que representa el 1.46% del consumo total del sector residencial.
- 125 consumidores (0.013 % del total) consumen por encima de 5 000 kWh/mes, lo que representa el 0.15% del consumo total del sector residencial.

Se observa en la Figura 1.8 que la generación ha aumentado lentamente, destaca el año 2018 con un aumento de consumo de diesel y disminución en la quema de crudo, produciendo para ese año 21 000 GWh, mientras que en el 2019 la generación alcanza valores de aproximadamente 20 800 GWh. Por su parte, el uso de FRE ha crecido paulatinamente en el período 2010-2019, lo que para el año 2019 representa un 4,5% de la generación total en el país.

Figura 1.8

Participación en la generación bruta de electricidad por tipo de combustible fósil y fuentes renovables de energía 2010-2019.

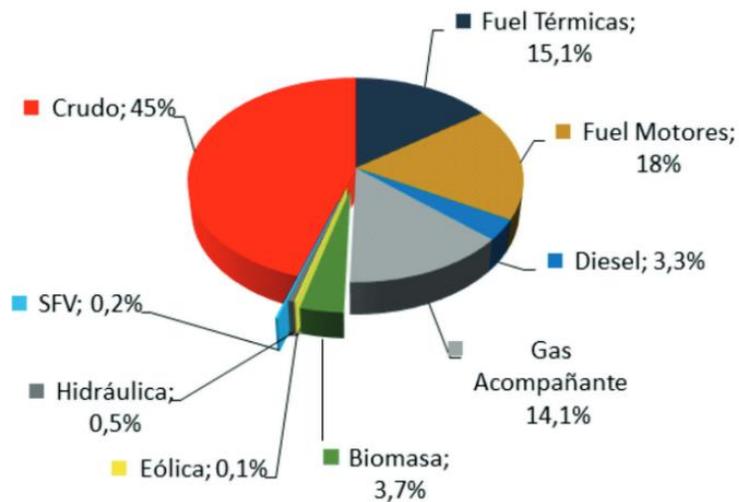


Nota: Tomado de ONEI (2019).

La generación eléctrica en Cuba en su mayoría es por combustibles fósiles, los que representan el 96% de la energía generada (Ver Figura 1.9), el costo de la misma es muy alto, pues depende del costo del barril de petróleo, que va en ascenso con cada año (Espinosa et al., 2020; Stolik, 2019).

**Figura 1.9**

Matriz energética de Cuba en año 2019.



Nota: Tomado de MINEM (2019).

Esto demuestra la necesidad de diversificar la matriz energética del país en la búsqueda de una soberanía energética, donde se incluya la sustitución de los combustibles fósiles que originan un altísimo grado de subvenciones, a la vez que se torna un obstáculo para el aumento de la generación eléctrica en función del desarrollo económico y social del país (Stolik, 2019).

La demanda de energía en Cuba es creciente y, por lo tanto, resulta imprescindible la búsqueda de alternativas como el uso del gas y el biogás, o la utilización de fuentes renovables (FRE), para la sostenibilidad económica del país (Labrador, 2018). En el siguiente sub epígrafe se aborda acerca de los planes y estrategias que se ha trazado Cuba para el uso y desarrollo de la energía solar fotovoltaica como parte de Plan de Desarrollo para el 2030.

1.8.1 Estrategias para el desarrollo sostenible en Cuba. Energía Solar Fotovoltaica

La proyección estimada del país es que, para el 2030, la participación de las FRE en la matriz eléctrica sea del 24 %, 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 (Labrador, 2018).

En Cuba se trabaja en diversos programas, los cuales se encuentran en diferentes niveles de preparación, inversión, gestión de financiamiento, negociación y ejecución, pero el más avanzado es el programa solar fotovoltaico. Hasta la fecha se ha logrado un crecimiento de la



potencia instalada y se cuenta con 156,6 MW pico en 67 parques solares fotovoltaicos (Ver Figura 1.10), lo que representa el 22,4% de los 700 MW que se proyecta a tener en el 2030 con esta tecnología, que además de traduce en ahorro de combustible, fundamentalmente diésel (Yilén, 2019).

Figura 1.10

Potencia fotovoltaica instalada por provincias en MW.



Nota: Tomado de Yilén (2019).

Como se puede observar en la mayor parte de las provincias del país se han construido parques fotovoltaicos, destacando Granma como la provincia del país que más contribuye la generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos con un 19,1 MWp, seguida de Cienfuegos con 18,6 MWp y Pinar del Río con 18,3 MWp.

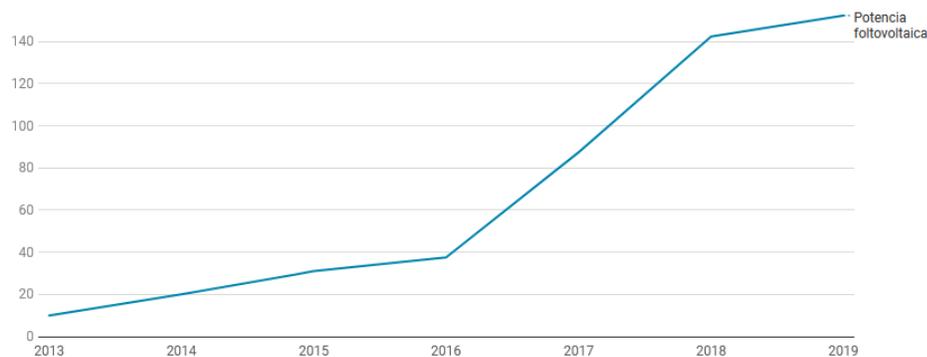
Cienfuegos es la primera provincia del país que pone en marcha una central de energía solar fotovoltaica, en el año 2013, con 14 100 paneles de fabricación nacional, en aras de sustituir importaciones y disminuir el consumo de combustibles fósiles (García, 2016).

La potencia instalada ha ido en crecimiento acelerado desde 2013, donde solamente era de 10 MW, en año 2016 corresponde a valores de 37,5 MW, para luego en 2018 obtener 142,8 MW y 152,3 MW en 2019, actualmente la generación fotovoltaica aporta el 1,15 % del consumo total del país, lo que responde al plan estratégico del país en cuanto al crecimiento energético a partir del uso de FRE. En la Figura 1.11 se observa la evolución de la potencia fotovoltaica instalada desde 2013-2019.

**Figura 1.11**

Evolución de la potencia fotovoltaica instalada en Cuba desde 2013-2019.

Datos del cierre de mayo de 2019



Nota: Tomado de Cubahora (2019).

Parte fundamental de la estrategia trazada por el país es la fabricación de los módulos evitando costos de importación, por lo que en el año 2001 se comienza la producción nacional de módulos fotovoltaicos en la Empresa de Componentes Electrónicos “Ernesto Ché Guevara”, en Pinar del Río en coherencia con los Lineamientos Económicos y Sociales del Estado y la Revolución aprobados en el VI Congreso del Partido (Lineamiento 247). La industria pinareña lleva a cabo importantes mejoras tecnológicas en la línea de producción, alcanzando en 2015 los 60 000 módulos, concentrándose en la fabricación de paneles de 280 Wp (Piloto, 2016).



Conclusiones parciales

Al término del presente capítulo se arriba a las siguientes conclusiones

1. La energía solar es reconocida como un tipo de fuente renovable de energía que con mayor relevancia ha crecido de forma sostenida a nivel mundial llegando casi a 400 veces desde principios de siglo. Este crecimiento responde al desarrollo científico y tecnológico que sobre este tema muchos países desarrollados, fundamentalmente, han logrado así como a su elevada importancia y beneficios para el cuidado del medio ambiente siendo además una alternativa viable y económicamente factible.
2. Los SSFV poseen importantes ventajas de gran valor para los sectores donde se instalen, diferenciándose en el mercado de otras tecnologías para generar energía. Su crecimiento dado por su alta demanda y la disminución de los costos de manera considerable en el tiempo hacen que estos sistemas sean altamente utilizados, destacando la India con uno de los precios más bajos del mercado mundial.
3. La generación eléctrica en Cuba en su mayoría es mediante combustibles fósiles, los que representan el 96% de la producción y a su vez la demanda de la misma aumenta cada año, donde el sector residencial presenta el mayor consumo del país con un promedio de 9 233 GWh al año y con constante incremento anual, por lo que resulta imprescindible para el país la búsqueda de alternativas para la producción de energía limpia.
4. En Cuba se proyecta para el 2030, una participación de un 24% de FRE en la matriz eléctrica. El país valora la incorporación de viviendas e instituciones para el desarrollo de parques solares en los techos de las mismas, de lo que hasta la fecha Cuba ha logrado incrementar la potencia instalada y actualmente cuenta con 67 parques solares fotovoltaicos, lo que representa el 22,4% de los 700 MW que se proyecta a tener en el 2030 con esta tecnología.

CAPÍTULO II





Capítulo II: Caracterización energética del sector privado de Cienfuegos

Introducción

En el presente capítulo se describe la situación energética del municipio de Cienfuegos, el sector privado y en particular se caracterizan energéticamente los establecimientos caso de estudio.

2.1 Situación energética del sector residencial en el municipio de Cienfuegos

En el municipio de Cienfuegos se han realizado diferentes investigaciones con alcance al sector residencial, donde las investigaciones realizadas por Ávila (2016); Aureliano (2016); Cantero (2016); Fernández (2016); Nápoles (2016); Rodríguez (2016); Campillo (2018) y Rodríguez (2019) afirman que el sector residencial presenta un consumo de energía eléctrica irregular con una tendencia creciente, se puede afirmar que la tendencia a aumentar del sector residencial es debido a que en el mismo, donde confluyen una gran inserción del sector privado como casas de renta, restaurantes y otras actividades autorizadas, por tanto, un análisis de consumo de energía eléctrica en el sector privado es de vital importancia (Rodríguez, 2019).

Dentro de la bibliografía consultada destacan las investigaciones de Campillo (2018) donde determina el uso de SSFV como potencialidad del uso de las FRE en el sector residencial y por su parte Rodríguez (2019) propone la instalación de SSFV como proyecto en coordinación con el gobierno, desde la selección de los consejos populares más consumidores de energía eléctrica del municipio, quedando seleccionados Pueblo Griffo para el análisis en edificios multifamiliares y Punta Gorda y Centro Histórico para el análisis del sector privado en hostales, sin embargo en esta solo se contemplan los costos de los paneles, sin incluir costos de instalación, mantenimiento y estructura del parque solar.

En la presente investigación se realiza un análisis comparativo a una representación del total de viviendas del municipio, entre el consumo promedio mensual de una vivienda y de un establecimiento privado, teniendo en cuenta los consumos eléctricos registrados por la empresa eléctrica en el municipio de Cienfuegos y el registro de trabajadores pertenecientes al sector privado ofrecido por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, en los años 2018-2020.

Se observa que en las viviendas se presenta un consumo anual promedio de 2619 kWh, mientras que en los establecimientos privados es de 6523 kWh en los años de estudio. Ver Tabla 2.1 y Figura 2.1.

**Tabla 2.1**

Consumos promedios en kWh mensuales en el municipio de Cienfuegos.

	2018		2019		2020	
	VIVIENDAS	ESTABLECIMIENTOS PRIVADOS	VIVIENDAS	ESTABLECIMIENTOS PRIVADOS	VIVIENDAS	ESTABLECIMIENTOS PRIVADOS
ENERO	190,1	571,6	195,3	554,6	191,1	545,4
FEBRERO	194,3	625,8	195,3	561,2	197,3	599,8
MARZO	185,2	589,6	181,3	710,6	193	582,2
ABRIL	208,9	659,8	207,3	546,4	203,8	536,6
MAYO	200,8	549,2	208,1	546	234,6	214,2
JUNIO	225,4	554,4	226,8	516,2	229,9	215,2
JULIO	228,9	555,2	230,7	611,8	234,58	221,8
AGOSTO	230,1	578,8	233,4	588,8	242,6	232,2
SEPTIEMBRE	235,4	580,8	239,6	680,3	250,4	387,2
OCTUBRE	228	731	229	655,4	245,11	519,4
NOVIEMBRE	229,4	667,6	227,9	547,4	241,1	559,2
DICIEMBRE	205,7	677,6	208,4	567,4	250,9	530,7

Nota: Elaboración propia a partir de datos ofrecidos por la Empresa Eléctrica Provincial y el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

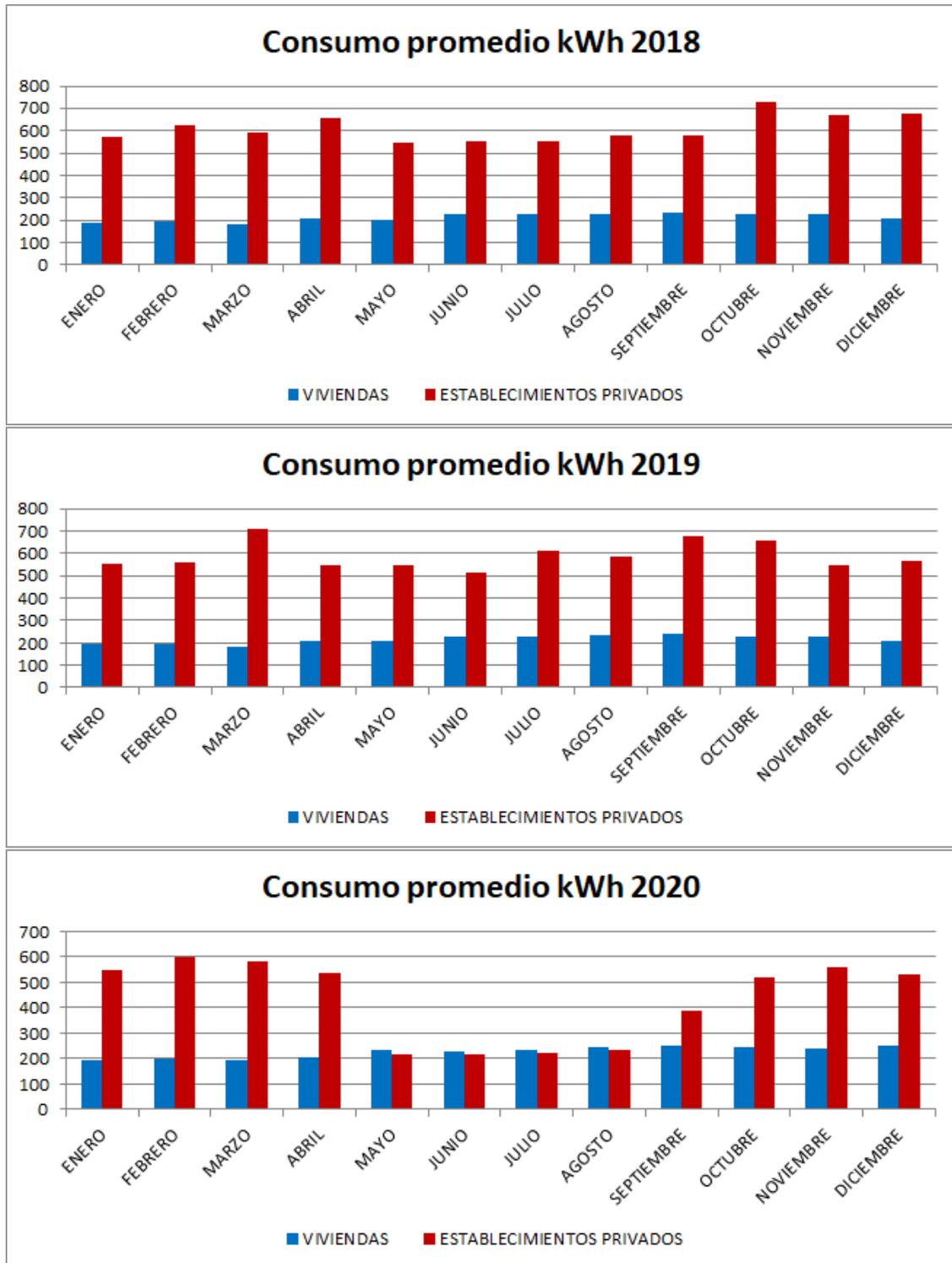
En la Figura 2.1 es posible observar el comportamiento de los consumos de energía eléctrica como promedio en las viviendas de la muestra representativa y en los establecimientos privados en los años 2018-2020. De la misma se obtiene que el sector privado presenta valores de consumo superiores al de las viviendas durante todos los años de estudio, donde el mayor consumo promedio de las mismas corresponde a 250 kWh y el menor es de 181 kWh, para el sector privado se registra que el mayor consumo promedio es de 731 kWh y el menor valor es de 214 kWh.

En los años 2018 y 2019 se observa que el comportamiento es similar, sin embargo en el año 2020 en los meses correspondientes a la pandemia COVID-19, donde los establecimientos privados detuvieron sus servicios, es donde se registran los menores consumos, muy similares a los de una vivienda del municipio.



Figura 2.1

Comportamiento de consumos promedios mensuales 2018-2020.



Nota: Elaboración propia.



Del análisis anterior se observa que un establecimiento privado como promedio presenta aproximadamente 2,5 veces el consumo promedio de una vivienda.

2.1.1 Caracterización energética del sector privado de Cienfuegos.

En el municipio de Cienfuegos existe una gran variedad de servicios ofrecidos por el sector privado y sus consumos varían en dependencia de la actividad que realicen. En la Tabla 2.2 se muestra el consumo promedio diferentes actividades del municipio, agrupadas en restaurantes, cafeterías, arrendatarios, servicios de bellezas y otros, pues estas son las actividades que mayores consumos presentan.

Tabla 2.2

Consumo mensual promedio kWh por actividades 2018-2020.

	2018					2019					2020				
	Restaurantes	Cafeterías	Arrendatarios	Servicio belleza	Otros	Restaurantes	Cafeterías	Arrendatarios	Servicio belleza	Otros	Restaurantes	Cafeterías	Arrendatarios	Servicio belleza	Otros
ENERO	991	668	789	336	261	957	539	621	354	276	1024	600	690	300	197
FEBRERO	960	733	775	350	273	965	553	647	382	277	941	777	751	258	157
MARZO	971	650	725	334	280	879	652	789	370	258	984	715	657	358	167
ABRIL	867	783	654	364	273	988	550	669	353	279	870	614	698	330	267
MAYO	820	574	669	381	299	872	626	751	362	262	354	110	339	225	257
JUNIO	957	720	775	355	267	758	539	748	342	268	370	100	267	223	267
JULIO	971	721	798	330	292	884	750	865	366	251	299	156	237	234	297
AGOSTO	867	736	845	334	299	987	563	890	358	284	395	137	224	268	251
SEPTIEMBRE	922	519	644	370	295	870	678	765	357	251	934	357	314	259	118
OCTUBRE	963	748	654	380	279	987	614	695	366	270	985	647	654	341	184
NOVIEMBRE	930	773	621	352	262	1055	534	667	385	299	947	771	663	300	175
DICIEMBRE	1021	612	667	353	272	1078	620	621	381	281	1003	750	721	310	167

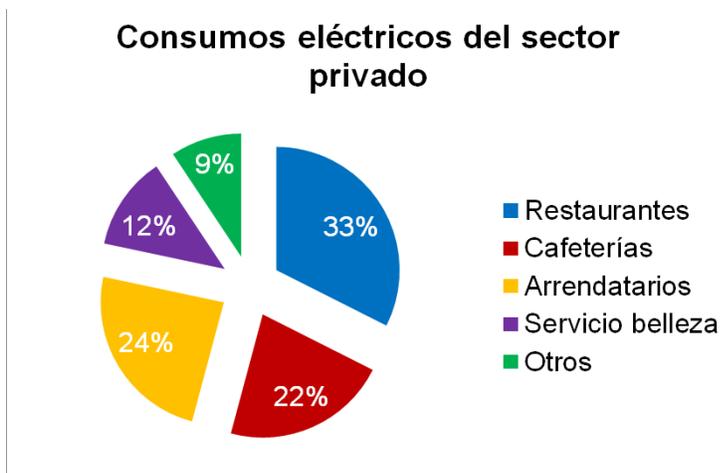
Nota: Elaboración propia a partir de datos ofrecidos por la Empresa Eléctrica Provincial y el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

De los datos mostrados en la tabla anterior se obtiene que la actividad con mayores consumos promedios es los servicios gastronómicos en restaurante con un promedio de 878 kWh consumidos al mes, se muestra en la Figura 2.2 una gráfica con los consumo de energía por actividades en el municipio de Cienfuegos desde 2018 hasta 2020.



Figura 2.2

Consumo promedio por actividades en el municipio de Cienfuegos 2018-2020.

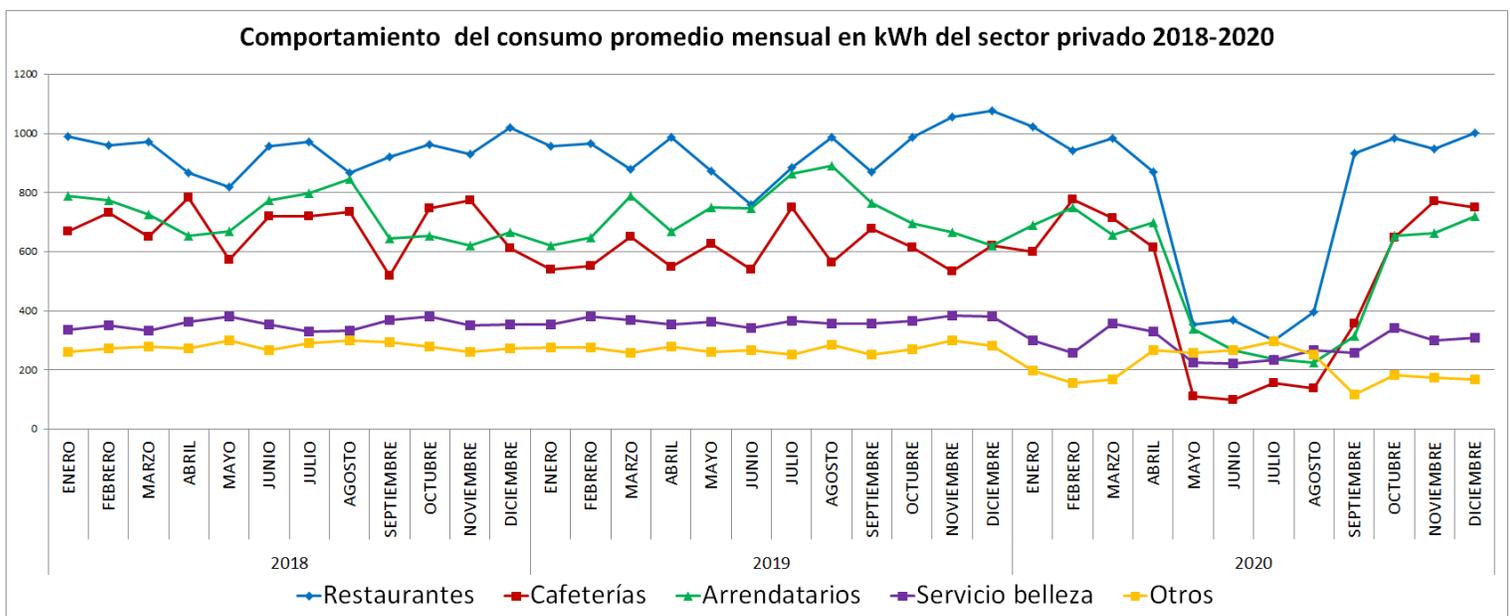


Nota: Elaboración propia

Como se puede observar las actividades que mayor consumo representa en el municipio es la de servicios gastronómicos en restaurantes, representando un 33% del consumo total de las actividades privadas. En la Figura 2.3 se muestra el comportamiento de dicho consumo en el sector privado del municipio de Cienfuegos según las diferentes actividades agrupadas.

Figura 2.3

Comportamiento del consumo promedio por actividades en el municipio de Cienfuegos.



Nota: Elaboración propia.



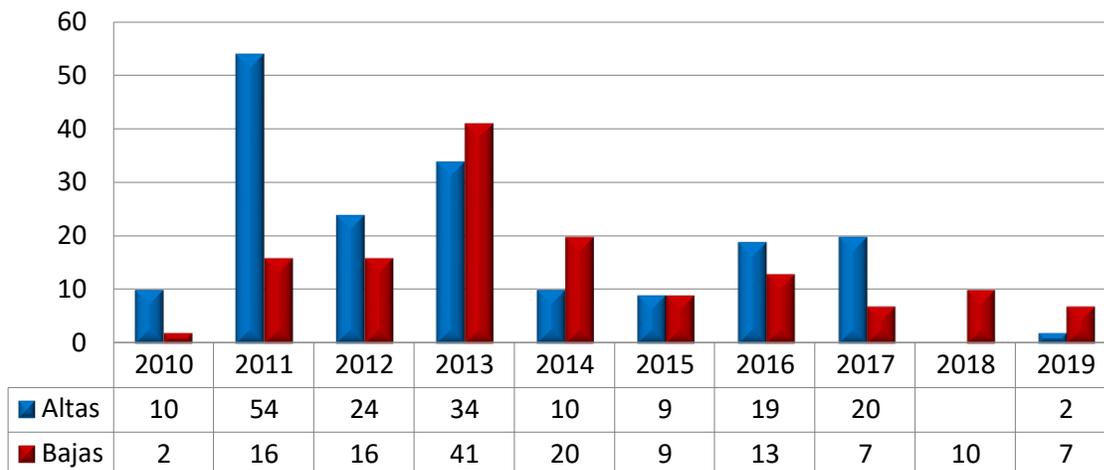
De la figura anterior se obtiene que los meses que presentan mayores consumos en el año son noviembre, diciembre, enero y febrero. Destacan los meses desde mayo a agosto del 2020 donde la mayoría de los establecimientos privados detienen sus servicios debido a la pandemia COVID-19, por lo que sus consumos disminuyen considerablemente. La actividad con mayores consumos promedios registrados es el servicio gastronómico en restaurantes con 1 078 kWh como máximo valor.

Según datos aportados por el Ministerio de Trabajo y la Oficina Nacional de administración Tributaria (ONAT) de Cienfuegos, en la provincia ha existido una importante fluctuación referida a esta actividad, de 182 altas presentadas desde el año 2010 hasta el 2019, ya se han realizado 141 bajas, lo que representa el 77%, quedando en 2019 solamente 41 patentes abiertas de servicios gastronómicos en restaurantes (ver Figura 2.4). Del análisis de los datos resalta el año 2011, crece de manera significativa la cantidad de personas que se involucran en esta actividad, mientras que en el año 2013 y 2014, aumentan las bajas considerablemente.

Figura 2.4

Comportamiento en la actividad de servicios gastronómicos en restaurantes de Cienfuegos (2010-2019).

Comportamiento de la actividad de servicios gastronómicos en restaurantes (2010-2019)-Cienfuegos



Nota: Tomado de (Parrado, 2019).

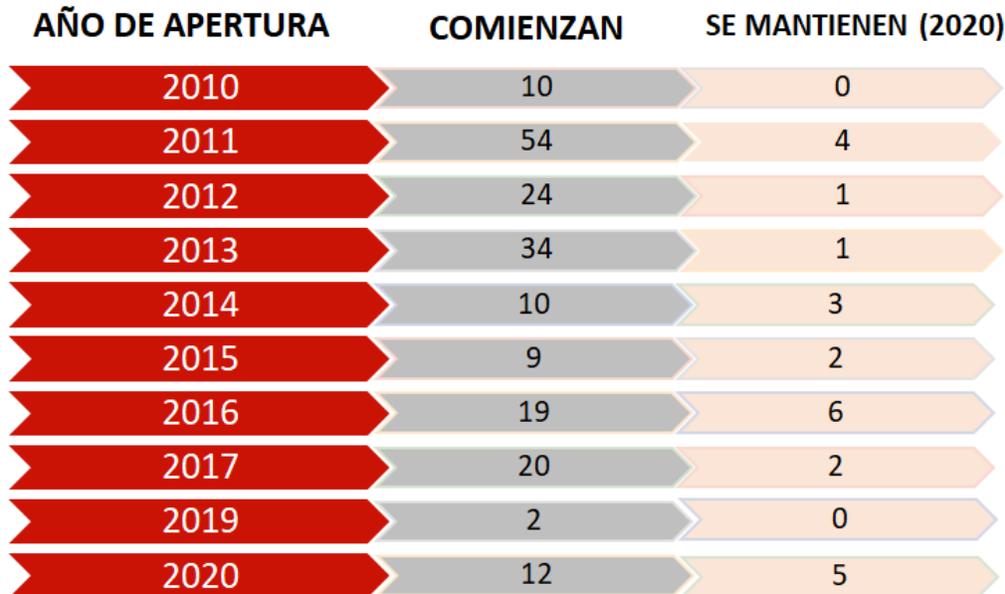
En la Figura 2.5 se observa la cantidad de restaurantes que permanecen abiertos en 2020, en relación con la cantidad presentados en el año de su apertura; de aquí resulta notable que en el



año 2011 se presentan la mayor de personas para incursionar en esta actividad, 54 altas, de las cuales solo 4 permanecen en el mercado actual.

Figura 2.5

Cantidad de restaurantes que se mantienen en relación con la cantidad que comienzan (2010-2020).



Nota: Elaboración propia a partir de (Parrado, 2019).

Según la información anterior brindada por el Ministerio del Trabajo y ONAT en la provincia de Cienfuegos, de los 132 restaurantes que inician sus servicios en los años 2010-2014 a 2020, solo 9 restaurantes han mantenido un desempeño estable y con cierto crecimiento, dentro de los que se encuentran los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora por lo que se han seleccionado como casos de estudios válidos en esta investigación.

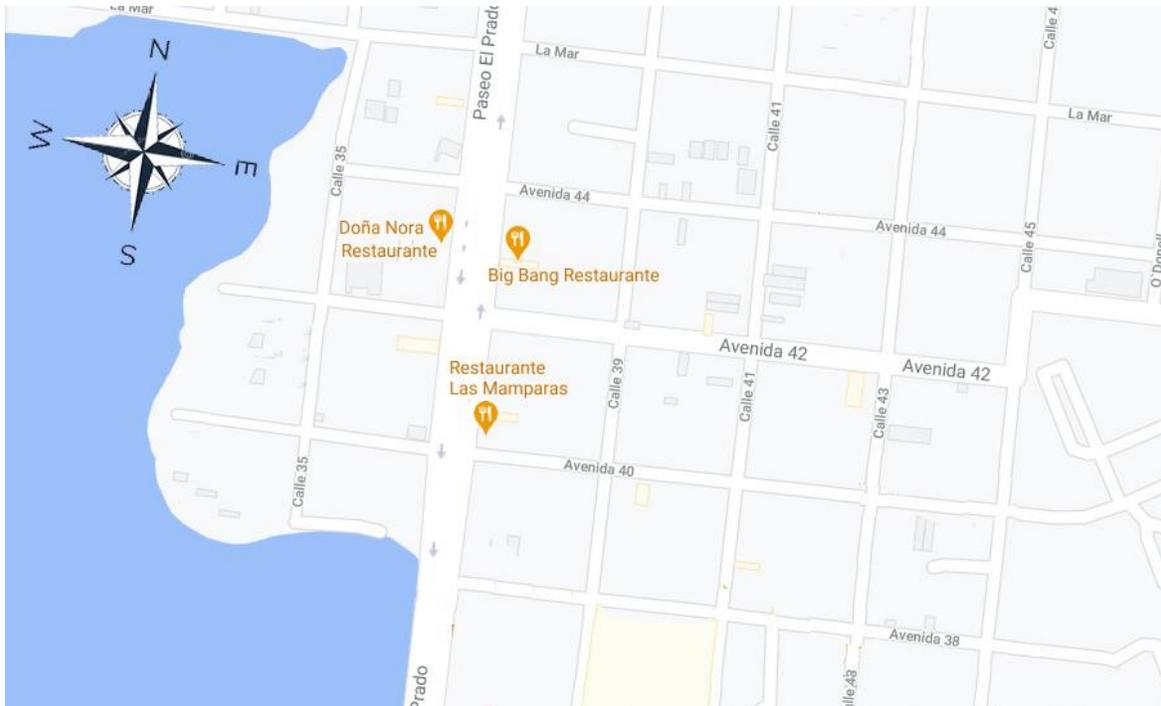
2.2 Caracterización de los casos de estudio

Los establecimientos casos de estudio seleccionados son los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora, los mismos se encuentran ubicados en el prado cienfueguero, Calle 37, entre las avenidas 40 y 44. En la Figura 2.6 se encuentra la vista aérea de los establecimientos caso de estudio.

Como restaurantes privados de la provincia tienen como misión general prestar servicios alimenticios al público nacional e internacional, con altos estándares de calidad.

**Figura 2.6**

Vista aérea de los casos de estudio.



Nota: Elaboración propia.

Los restaurantes Las Mamparas y Doña Nora comienzan a brindar sus servicios en el año 2011, mientras que el Big Bang lo hace en 2014, demostrando durante todos estos años que son lugares de referencia en el sector privado de la provincia, por su durabilidad en el tiempo y la calidad de sus servicios. Los mismos se encuentran conformados por cuatro áreas principales: salón, cocina, área de elaboración y baños; el restaurante Big Bang cuenta además con un área extra dedicada a la producción de dulces.

2.2.1 Censo de carga de las instalaciones

El consumo de energía eléctrica de los establecimientos se mide a través de un metro contador general en cada instalación, que registra el consumo diario de las mismas. Para la realización del censo de carga en las entidades, se hace el levantamiento general de los equipos instalados en las diferentes áreas, mediante observación directa, lista de chequeo y entrevistas con los trabajadores, donde se determina la cantidad de equipos en uso y el tiempo aproximado de uso diario, como se muestra en el Anexo 14. A continuación, en la Tabla 2.3 se muestra el balance de carga de las instalaciones caso de estudio y el consumo aproximado mensual de los mismos en cada una de las áreas correspondientes.



Tabla 2.3

Balance de carga en los Restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

	Big Bang		Las Mamparas		Doña Nora	
	Equipo	Energía Consumida (kWh/mes)	Equipo	Energía Consumida (kWh/mes)	Equipo	Energía Consumida (kWh/mes)
Salon	S.Exhibidor 1	50,84	S.Ventiladores	74,40	S.Ventiladores	62,00
	S.Exhibidor 2	46,50	S.Bombillo Led	9,92	S.Bombillo Led	12,40
	S.Ventiladores	74,40	C.Microondas	260,40	C.Microondas	86,80
	S.Bombillo Led	13,64	S.Batidora	7,75	S.Batidora	15,50
	S.Televisor	124,00	S.Nevera	111,60	S.Nevera	111,60
	S.Batidora	7,75	S.Cafetera	18,60	S.Cafetera	18,60
	S.Nevera	111,60	S.Glasear	223,20	S.Glasear	223,20
	S.Cafetera	18,60	S.Equipo De Musica	29,76	S.Equipo De Musica	24,80
	S.Glasear	163,68				
	S.Equipo De Musica	29,76				
Cocina	C.Microondas	24,80	C.Bomba De Agua	86,80	C.Bomba De Agua	96,72
	C.Bomba De Agua	86,80	C.Freidora	68,20	C.Freidora	74,40
	C.Freidora	68,20	C.Lampara	24,80	C.Lampara	24,80
	C.Lampara	12,40	C.Batidora	15,50	C.Batidora	15,50
	C.Batidora	15,50	C.Refrigerador	245,52	C.Refrigerador	669,60
	C.Calentador	163,68	C.Olla	31,00	C.Olla	62,00
	C.Olla	31,00	C.Plancha	26,35	C.Plancha	26,35
	C.Plancha	26,35	C.Sandwichera	18,60	C.Horno Electrico	27,9
	C refrigeradorA	186,00				
	C refrigeradorB	260,40				
	C.Sandwichera	18,60				
Baño	B.Lampara	12,40	B.Lampara	14,88	B.Lampara	14,88
Dulcería	D.Horno Electrico	930,00				



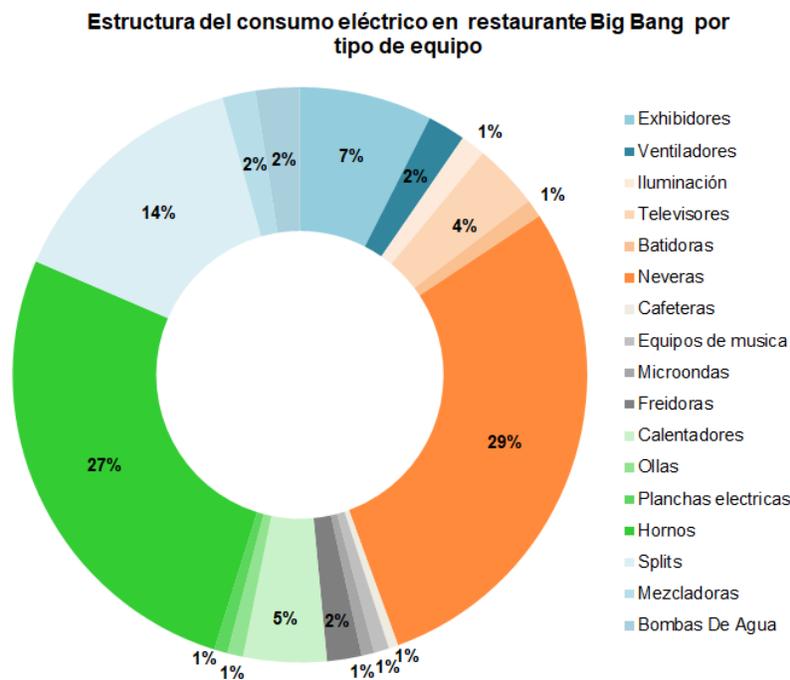
	D.Refrigerador	372,00				
	D.Mezcladora 1	40,30				
	D.Mezcladora 2	24,80				
	D.Batidora	12,40				
	D.Split	310,00				
Elaboración	E.Nevera	260,40	E.Nevera	297,60		
	E.Refrigerador	186,00	E.Refrigerador	223,20		
Otras	O.Bombillo Led	8,93	O.Bombillo Led	8,93	O.Bombillo Led	19,84
	O.Lampara	9,92	O.Lampara	9,92	O.Lampara	372,00
	O.Split	186,00	O.Split	186,00	O.Split	86,80
	O.Tv	4,65	O.Televisor	260,40	O.Televisor	81,84
			O.Refrigerador	81,84		

Nota: Elaboración propia.

En las Figuras 2.7, 2.8 y 2.9 a continuación se muestran las estructuras del consumo eléctrico según el uso energético por tipo de equipo para los establecimientos caso de estudio, con el objetivo de determinar cuáles son los tipos de equipos que representan el mayor consumo.

Figura 2.7

Estructura del consumo eléctrico en el restaurante Big Bang.

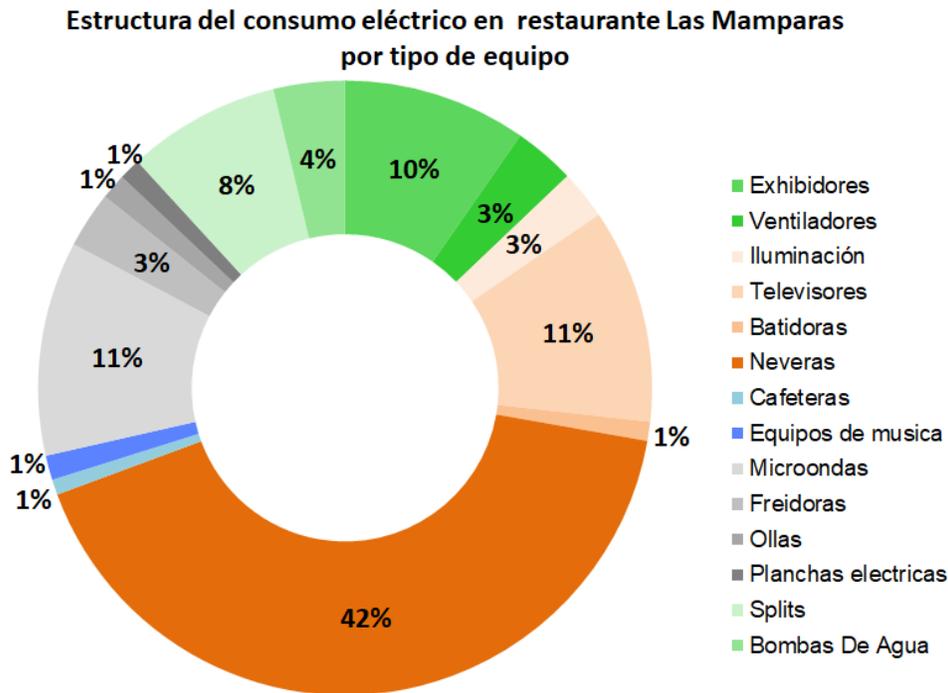


Nota: Elaboración propia.



Figura 2.8

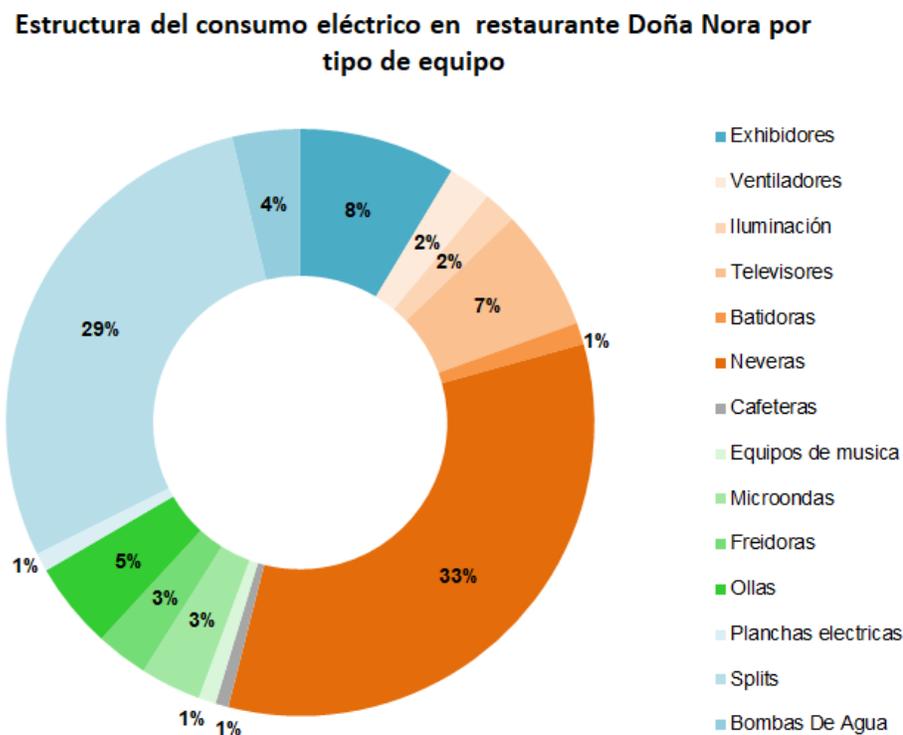
Estructura del consumo eléctrico en el restaurante Las Mamparas.



Nota: Elaboración propia.

Figura 2.9

Estructura del consumo eléctrico en el restaurante Doña Nora.



Nota: Elaboración propia.

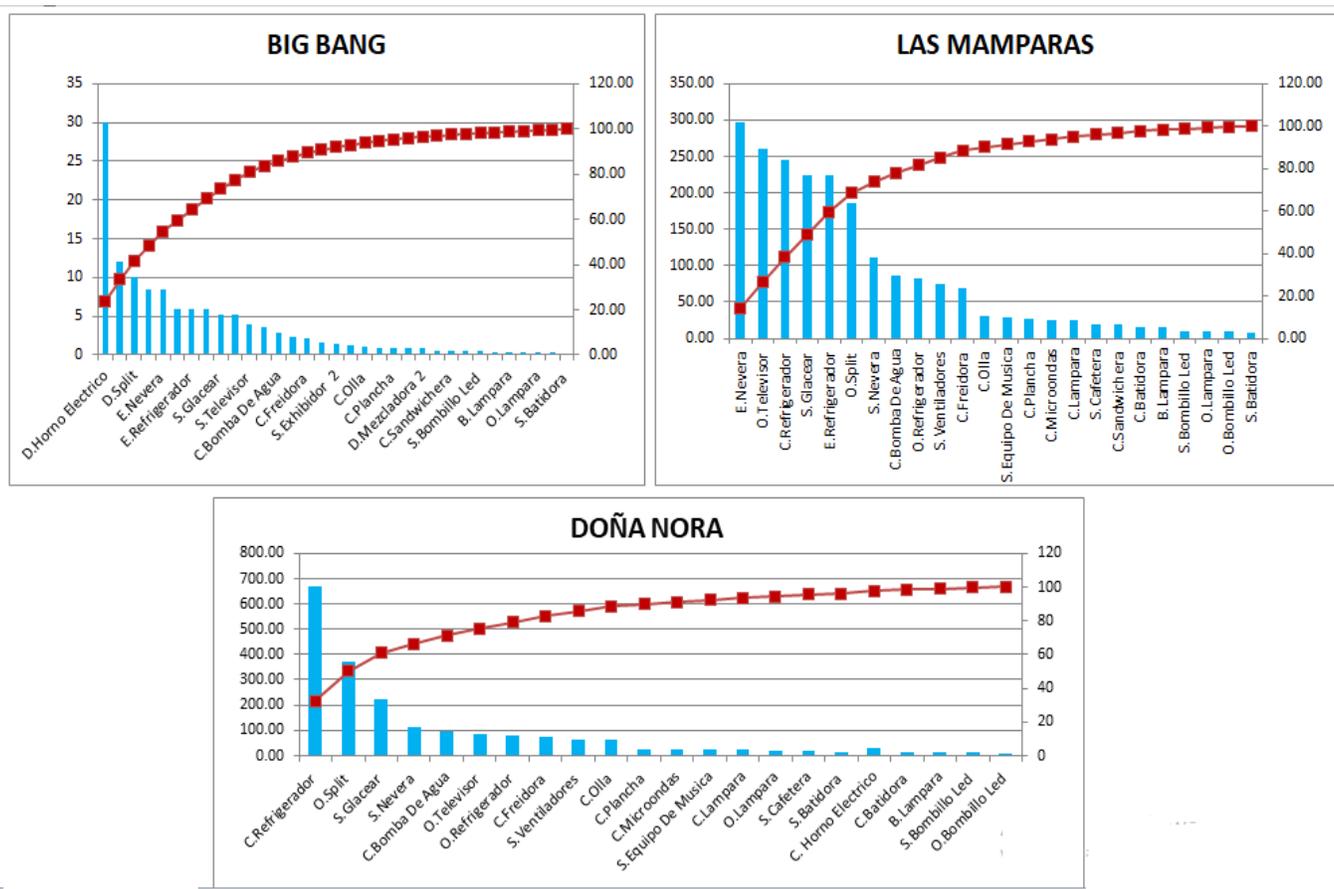


Se observa que en el restaurante Big Bang los equipos que representan el mayor consumo energético son las neveras y los hornos eléctricos con un 29% y 27% del consumo total en la instalación. Por su parte en el restaurante Las Mamparas se observa que los equipos que representan el mayor consumo energético son las neveras con un 42% del consumo total en la instalación. Mientras que en Doña Nora los equipos que representan el mayor consumo son las neveras y los splits con un 33% y 29% respectivamente del consumo total en la instalación.

Teniendo en cuenta el consumo energético de cada una de las instalaciones se realiza un Gráfico de Pareto para determinar en qué áreas se encuentran los equipos que representan el mayor consumo energético para cada de estas entidades. A continuación en la Figura 2.10 se muestra dicho análisis.

Figura 2.10

Gráfico de Pareto de equipos consumidores en restaurantes casos de estudio.



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior en el restaurante Big Bang los equipos de más alto consumo se encuentran en el área de la dulcería (Horno eléctrico y Split) y en el área de



elaboración del restaurante (nevera y refrigerador), mientras que en Las Mamparas y Doña Nora los equipos más consumidores se encuentran en diversas áreas de los restaurantes como son la cocina y el área de elaboración.

Paralelo a este análisis se realiza un levantamiento del consumo de kWh al mes en las tres instalaciones desde al año 2018 a 2020, mostrado a continuación en la Tabla 2.4,

Tabla 2.4

Consumo mensual de los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora 2018-2020.

Meses	Consumo kWh								
	BIG BANG			LAS MAMPARAS			DOÑA NORA		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Enero	2272	2107	2090	2278	2136	1993	2105	2840	2435
Febrero	2348	2118	2254	2136	2553	2420	2279	1150	2749
Marzo	2228	1792	2177	1943	2246	2298	2202	2006	2816
Abril	2356	2089	2147	2378	2648	2203	2393	2085	2942
Mayo	2287	2029	316	2228	2431	113	2111	1948	2315
Junio	2514	2094	328	2696	2510	173	1710	2003	315
Julio	2008	2207	1464	2068	2491	395	671	1698	311
Agosto	2544	2275	2560	2628	2609	1237	1028	1883	300
Septiembre	2383	2633	4001	2696	2785	1986	2226	2190	1027
Octubre	2358	2572	3670	2477	2442	1539	1749	2591	1361
Noviembre	2270	2055	3989	2269	2193	654	1475	2493	1336
Diciembre	2142	2078	3674	2244	2231	444	1654	2659	1400
Total	27 710	26 049	28 670	28 041	29 275	15 455	21 603	25 546	19 307
Promedio	2 309	2 171	2 389	2 336	2 439	1 436	1 800	2 129	1 609

Nota: Elaboración propia.

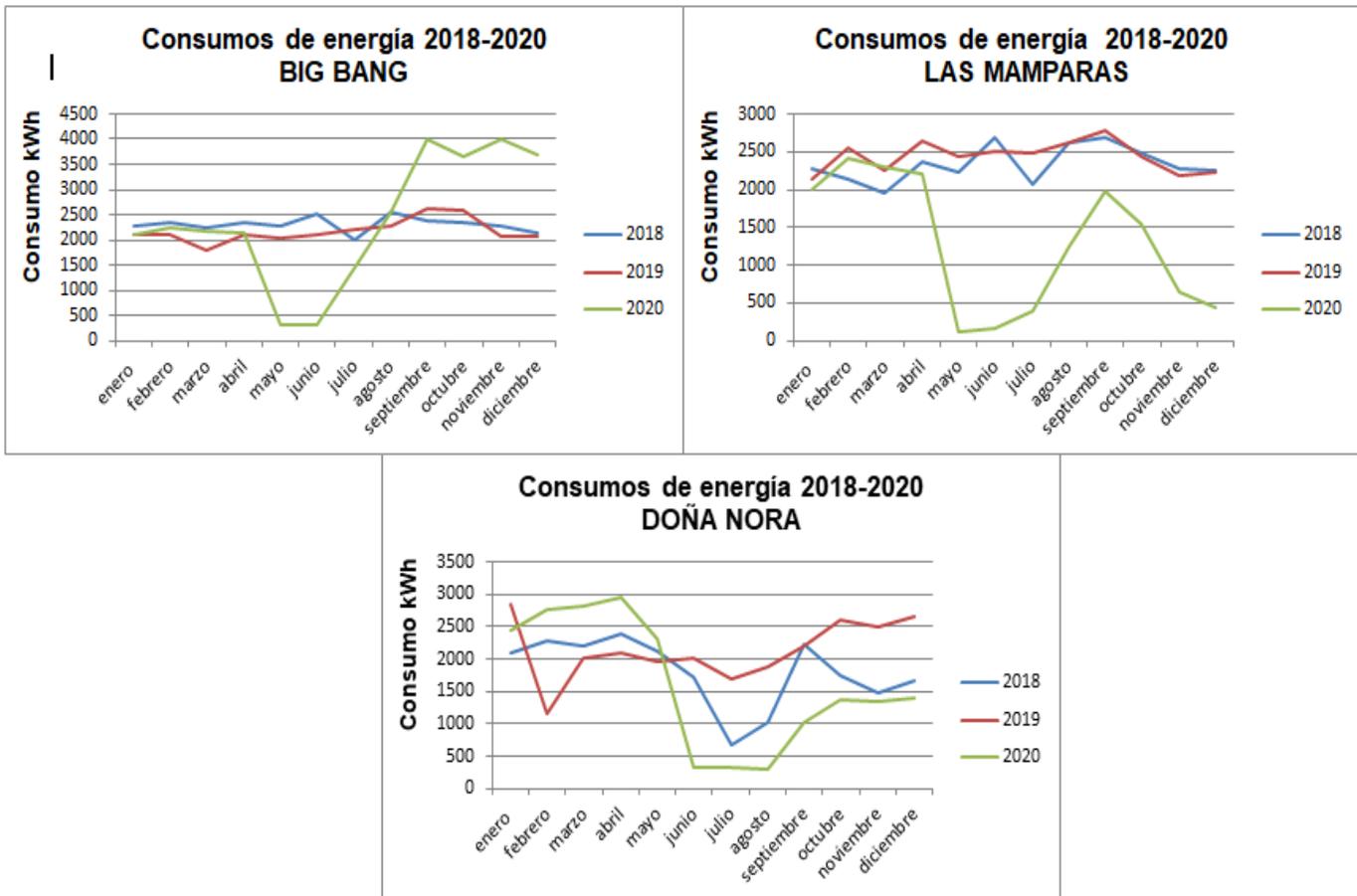
Para una mejor comprensión de los datos mostrados con anterioridad se realiza una demostración gráfica de los mismos que permite visualizar el comportamiento de los consumos



energéticos en los establecimientos casos de estudio, que se muestra en la Figura 2.11 a continuación.

Figura 2.11

Consumo de energía en los años 2018 hasta 2020 en restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.



Nota: Elaboración propia.

Como se muestra en los gráficos anteriores las entidades caso de estudio los años 2018 y 2019 presentan valores estables, con consumos entre 1 200 y 2 600 kWh al mes. En el año 2020 los tres establecimientos comienzan con valores similares a los años anteriores hasta el mes de marzo, sin embargo luego ocurren importantes variaciones producto a la pandemia COVID-19, por la que los establecimientos se ven obligados a cerrar en algunos meses; dichos meses oscilan entre mayo y agosto. En los meses de trabajo en los tres años de estudio en el restaurante Big Bang se registró como mayor consumo 4001 kWh/mes y el menor consumo es de 1464 kWh/mes. En Las Mamparas se obtuvo 2785 kWh/mes como mayor consumo y el

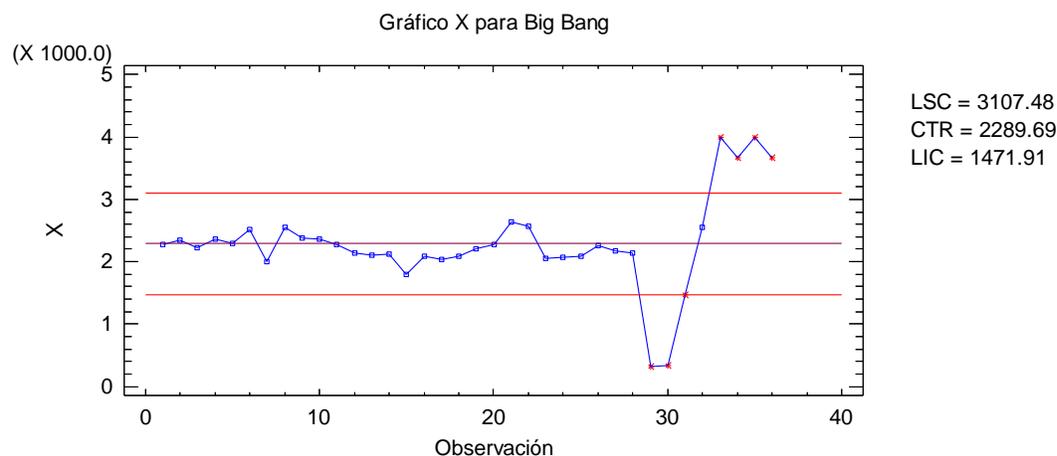


menor consumo es de 1237 kWh/mes. Mientras que el restaurante Doña Nora presenta como mayor consumo 2942 kWh/mes y el menor consumo es de 1027 kWh/mes.

Otro análisis realizado son los gráficos de control con la ayuda del Software Statgraphis Centurion versión 17.2.00 para el consumo energético de cada establecimiento, con el objetivo de observar y analizar el comportamiento del mismo desde el año 2018 hasta 2020 y de este modo distinguir entre posibles variaciones por causas comunes y especiales, lo que se muestra en las Figuras 12,13 y 14.

Figura 2.12

Gráfico de control del consumo mensual de energía eléctrica en el restaurante Big Bang.



Nota: Elaboración propia.

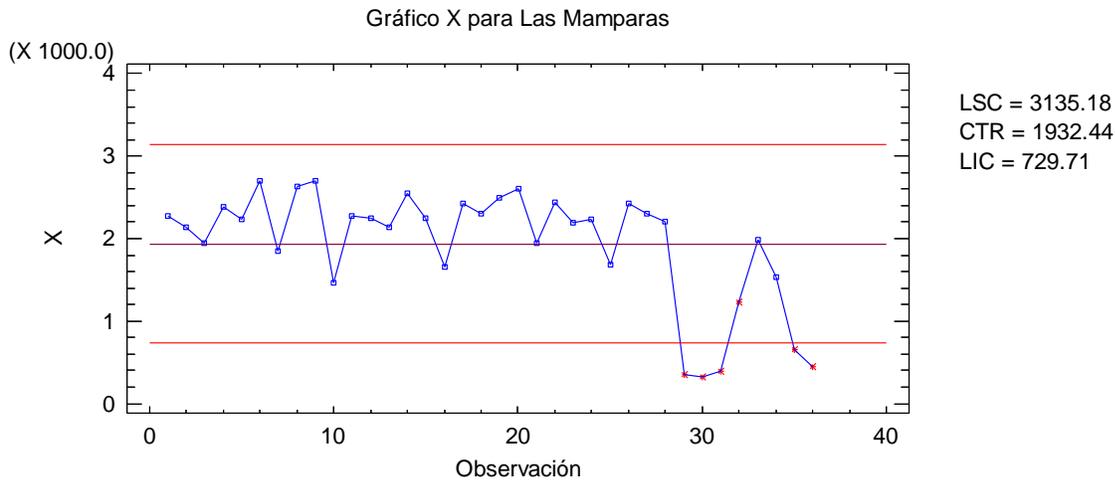
En el restaurante Big Bang se detectan varios puntos fuera de los límites de control los mismos están dados a que el establecimiento detiene sus servicios en los meses de la pandemia COVID-19 y luego abre sus puertas con cambios en su menú e incrementa un área de dulcería con nuevos equipos y nueva producción, lo que provoca el aumento mostrado en la gráfica anterior.

Por otra parte en el gráfico a continuación se muestran puntos especiales en el consumo, se observa que el restaurante Las Mamparas disminuye su consumo eléctrico considerablemente debido al cese de sus servicios en los meses correspondientes a la pandemia, luego comienza sus servicios por tan solo dos meses y posteriormente decide cerrar sus puertas por reparaciones, donde también son observados puntos fuera de los límites de control (Ver Figura 2.13).



Figura 2.13

Gráfico de control del consumo mensual de energía eléctrica en el restaurante Las Mamparas.

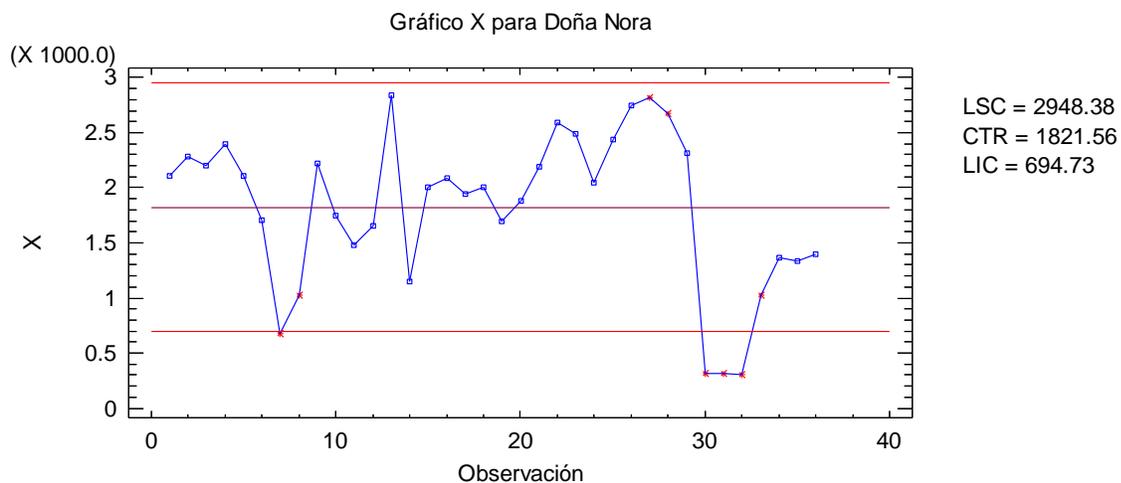


Nota: Elaboración propia.

Para el caso del restaurante Doña Nora (ver Figura 2.14), se observan varios puntos fuera de los límites de control, meses cuyo consumo corresponde a la pandemia COVID-19. También destacan otros puntos cercanos a los límites de control, dichos puntos corresponden a meses donde la temporada alta y baja turística determinan el consumo energético del establecimiento.

Figura 2.14

Gráfico de control del consumo mensual de energía eléctrica en el restaurante Doña Nora.



Nota: Elaboración propia.



Una vez analizados energéticamente los establecimientos se procede a explicar en el siguiente epígrafe la metodología seleccionada para el cálculo de del SSFV para los establecimientos privados caso de estudio.

2.3.1 Metodología integradora para el cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red

En el Capítulo I de la presente investigación se describen un grupo de metodologías o métodos para el cálculo de un SSFV. Para el presente estudio se selecciona la metodología propuesta por Becerra (2019) al considerarse una de las más completas de todas las consultadas en la bibliografía, a la misma se le incluyen criterios de Benito y Ruiz (2018) pues esta incorpora otros aspectos de vital importancia, como son los análisis de beneficio ambiental. A continuación se describen los pasos fundamentales para el cálculo, diseño e instalación del SSFV.

Paso 1: Selección del módulo fotovoltaico

Para la selección del módulo se deben tener en cuenta los aspectos a continuación mostrados en la Tabla 2.5, en busca del módulo más eficiente entre los disponibles en el mercado.

Tabla 2.5

Datos de Ficha Técnica de un módulo de un SSFV.

Especificaciones técnicas	Características eléctricas	Límites	Parámetros térmicos
Celda	Modelo	Temperatura de operación	Coefficiente de temperatura (Isc)
No. de celdas y conexiones	Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	Voltaje máximo del sistema	Coefficiente de temperatura (Voc)
Dimensiones del módulo	Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	Valor máximo del fusible de la serie	Coefficiente de temperatura (Pmp)
Cubierta frontal	Corriente de corto circuito (Isc) [A]		
Material del marco	Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]		
Peso	Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]		
	Tolerancia [%]		
	STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5		

Nota: Elaboración propia.

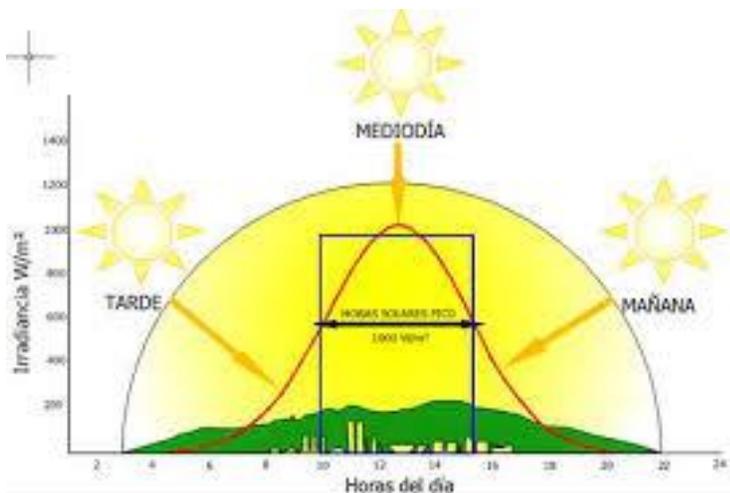


Paso 2: Determinación de la inclinación y orientación de los paneles

El mayor índice de radiación y por tanto, el mayor rendimiento de un panel solar fotovoltaico se alcanza cuando los rayos solares inciden perpendiculares a su superficie. La trayectoria que describe el sol es elíptica, el ángulo de incidencia varía con las horas y con la estación del año (Guerrero, 2019). Para determinar la energía generada por un SSFV es necesario conocer las horas de sol pico (HSP), lo que se puede observar en la Figura 2.15 como el área bajo la curva, la cual se puede llevar a un área aproximadamente cuadrada, conformada por la sumatoria del área bajo la curva sobre la unidad de $1\ 000\ \text{W/m}^2$. Con las HSP es posible identificar la energía generada por un arreglo fotovoltaico al multiplicar la potencia instalada por las HSP (Stapleton y Neill, 2012).

Figura 2.15

Horas de sol pico o HSP.



Nota: Tomado de (Stapleton y Neill, 2012).

De manera que decidir la orientación correcta de los paneles es de vital importancia si se desea adquirir mayor cantidad de radiación solar posible. Esta orientación puede ser impuesta por el emplazamiento donde se propone instalar los paneles, como es el caso de tejados con 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.

Otro punto importante para el diseño de las instalaciones fotovoltaicas, es la inclinación que deben tener los paneles para la captar la mayor cantidad de radiación solar. La inclinación de los módulos solares se define mediante el ángulo que forma la superficie de los paneles con el plano horizontal.



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 la Tabla 2.6 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 (Rodríguez et al., 2012).

Tabla 2.6

Resultados sobre la captación y conversión energéticas de las celdas fotovoltaicas a diferentes ángulos de inclinación.

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

Nota: Tomado de Rodríguez et al. (2012).

Paso 3: Cálculo de la distancia mínima entre paneles

Se calcula 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 Tabla 2.7 se muestran todas las medidas que se deben tener en cuenta según (López et al., 2014):

Mientras que la Tabla 2.8 muestra las ecuaciones principales para los cálculos que deben ser efectuados en el presente paso del procedimiento.



Tabla 2.7

Variables para el cálculo de la distancia mínima.

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

Nota: Elaboración propia a partir de Hernández et al. (2020).

Tabla 2.8

Ecuaciones de cálculo para obtener la distancia requerida entre paneles.

Cálculo de la componente de la altura (h) del panel (m)	$h = L * \text{sen } \beta$
Cálculo de la distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo medido horizontalmente. (b) (m).	$b = L * \text{cos } \beta$
Cálculo distancia entre borde superior panel anterior y borde inferior panel posterior (a) (m)	$a = h / \text{tg. } \theta$
Cálculo del ángulo de incidencia del rayo solar respecto a tierra (θ) (Grados)	$\theta = 180 - 90 - \beta$
Cálculo de la distancia mínima entre paneles (d_{min}) (m)	$d_{min} = a + b$

Nota: Elaboración propia a partir de Monteagudo (2019).

Paso 4: Cálculo del número máximo teórico de paneles

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

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



Conocidas las dimensiones de los paneles solares y el área máxima a ocupar, en cada fila se coloca el número de paneles determinados por la siguiente expresión:

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

Pasos 5, 6 y 7: Cálculo de la energía generada, Cálculo de la potencia instalada y determinación de la disposición de potencia /área

Los pasos 5, 6 y 7 de la metodología se muestran en la Tabla 2.9 para una mejor comprensión de los mismos.

Tabla 2.9

Ecuaciones para el cálculo de Energía Generada, Cálculo de la potencia instalada y determinación de la disposición de potencia /área.

Energía Generada	<p>Dónde:</p> <p>Eu. - Energía útil generada (kWh/día);</p> <p>0,654. Factor que toma en cuenta rendimientos y suciedad.;</p> <p>HSP. - Hora Solar Pico de la región. (Para Cienfuegos es 5,6)</p> <p>Pn.- Potencia nominal del panel FV. (kW/panel)</p> <p>N.- Número de paneles.</p>
$E_u = 0,654 * HSP * P_n * N$	
Potencia Instalada	
$P_{inst.} = N * (P_n / 1000)$	
Disposición de potencia /área	
$E_G = \text{Área Edif.} / \text{Pot. Instalada}$	

Nota: Elaboración propia a partir de Becerra (2019) y Hernández et al. (2020).

Paso 8: Selección del inversor y Determinación del número de inversores

Para la selección del inversor se debe tener en cuenta sus características principales:

- Voltaje de alimentación o de entrada.
- Potencia máxima de salida.
- Eficiencia.

El voltaje de operación o de entrada del inversor debe seleccionarse con base en el voltaje de suministro de panel solar fotovoltaico. Además de esto, los inversores deben actuar como elemento seleccionador del punto de potencia máxima del panel o paneles solares (Ortiz, 2013).



La cantidad de inversores que hacen falta para la instalación se determina mediante la ecuación se muestra a continuación (Ochoa, 2018):

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

PI(kWp): Potencia instalada
P_{inversor}: Potencia del inversor.

Paso 9: Comprobación de cálculo manual mediante simulación de Software

Una forma de verificación de los cálculos desarrollados es la realización de la simulación en softwares que permitan realizar el diseño, simulación y análisis de datos de una instalación fotovoltaica y posean una base de datos meteorológica que permite dimensionar la instalación en función de su ubicación, calcular la inclinación y orientación óptima, calcular las pérdidas y producción de energía, ya que simula la orientación del sol (Becerra, 2019).

Paso 10: Análisis de costo

Para conocer la rentabilidad de la propuesta es necesario un conjunto de análisis económicos, de los cuales se muestra a continuación las ecuaciones correspondientes. Ver Tabla 2.10

Tabla 2.10

Ecuaciones para análisis económico de la propuesta de un SSFV.

$C_{eEE\ SEN} = EE_{aHD} * C_{uEE}$	<p>EE_{aHD}: Consumo anual de energía eléctrica en el horario diurno. (kWh/año)</p> <p>C_{uEE}: Costo unitario de energía eléctrica pagado al SEN en horario diurno. (/kWh).</p> <p>C_{eEE SEN}: Costo evitado de energía eléctrica del SEN por suplir energía eléctrica desde el SSFV.</p>
$C_{EEFV\ al\ SEN} = (E.E_{SSFV} - EE_{aHD}) * C_{uEEFV}$	<p>E.E_{SSFV}: Energía Eléctrica anual entregada por el Sistema Solar Fotovoltaico al SEN en horario diurno. (kWh/año).</p> <p>C_{uEEFV}: Costo unitario de energía eléctrica entregada al SEN</p> <p>C_{E.E.FV al SEN}: Costo anual de la energía eléctrica entregada al SEN por el SSFV en horario diurno.</p>
$C_{EE\ al\ SEN\ f.s.} = E.E_{SSFV\ f.f.} * C_{uEEFV}$	<p>E.E_{SSFVfs.}: Energía eléctrica anual entregada al SEN por el SSFV en fin de semana. (kWh/año).</p>



<p><i>Ahorro de capital</i> = <i>Ingresototales</i> * <i>TVU</i></p>	<p>Ingresos totales: Ingresos por concepto de energía ahorrada TVU: tiempo de vida útil del SSFV a instalar</p>
$PRI = \frac{CT}{Ingreso\ anual}$	<p>PRI: Período de recuperación de la inversión</p>
$VAN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + D)^i}$	<p>–K₀: Inversión o capital inicial. Fc_i: Flujo de caja en el año i. D: Tasa de descuento real utilizada. VAN: valor actual neto</p>
$Fc_i = (I_i - G_i - Dep) * (1 - T/100) + Dep$	<p>I_i: Ingreso en el año. (CUC) G_i: Gastos en el año. (CUC) T: Tasa de impuesto sobre la ganancia (%) Dep: Depreciación del equipamiento o amortización de la inversión. (CUC)</p>
$Dep = \frac{K_0}{n}$	<p>n: Vida útil del sistema. (Años) Dep: Depreciación</p>
$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1 + TIR)^i}$	<p>TIR: Tasa interna de retorno</p>

Nota: Elaboración propia a partir de Becerra (2019).

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable (Santacruz, 2017).

Se conoce como Tasa interna de retorno (TIR) a la tasa de descuento de un proyecto de inversión que permite que el beneficio neto actualizado (BNA) sea igual a la inversión (esto es, VAN igual a cero). La TIR es la máxima tasa de descuento que un proyecto puede tener para ser rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA sea menor que la inversión (VAN menor que cero) (Santacruz, 2017).

Paso 11: Análisis medioambiental

El análisis medioambiental es considerado de suma importancia, pues permite evidenciar el combustible fósil no quemado, mediante la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera



y con esto se evidencian los beneficios de instalación de un SSFV para el medio ambiente. La Tabla 2.11 a continuación muestra las ecuaciones necesarias para determinar dichos valores.

Tabla 2.11

Ecuaciones para el análisis medioambiental.

$\text{Combustible ahorrado} = \frac{E * g}{1000}$	<p>E: energía generada, kWh/año. g: es el consumo específico de combustible de plantas de generación eléctrica</p>
$CO_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} * k}{\rho}$	<p>K: coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera ρ: densidad del combustible</p>

. *Nota:* Elaboración propia a partir de Benito y Ruiz (2018).

Terminados todos los cálculos técnicos, económico y medioambientales se concluye el anteproyecto de un SSFV.

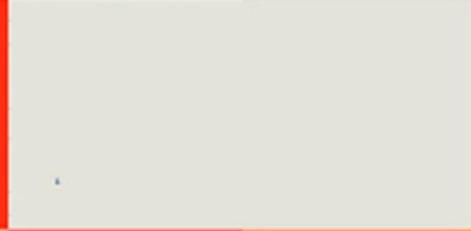


Conclusiones parciales

Al término del presente capítulo se arriba a las siguientes conclusiones

1. Una de las principales actividades en el territorio dentro del sector privado es el servicio gastronómico, el que además presenta los mayores consumos de energía eléctrica como promedio mensual en el municipio de Cienfuegos. Ha existido una importante fluctuación referida a esta actividad, de 182 altas presentadas desde el año 2010 hasta el 2019, de los 132 restaurantes que inician sus servicios en los años 2010-2014 a la fecha, solo 15 restaurantes han mantenido un desempeño estable y con cierto crecimiento, dentro de los que se encuentran los restaurantes caso de estudio seleccionados: Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.
2. La caracterización energética de los establecimientos define que la electricidad es el portador energético principal, con cargas significativas en hornos, split, neveras y refrigeradores. Los niveles de consumo oscilan entre 1200 kWh y 4000 kWh mensualmente en los años 2018-2020. Con un promedio mensual de 2289kWh, 2070kWh y 1846kWh para los restaurante Big Bang, Las mamparas y Doña Nora respectivamente.
3. En el año 2020 se muestran irregularidades en los consumos y una notable disminución en cada establecimiento producto a la pandemia COVID-19 donde dichos restaurantes cesaron sus servicios.

CAPÍTULO III





Capítulo III: Diseño preliminar de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para entidades del sector privado en Cienfuegos

Introducción

En el presente capítulo son aplicados los pasos para el cálculo de instalación de un SSFV en cada uno de los establecimientos caso de estudio, pertenecientes al sector privado de la provincia de Cienfuegos Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

3.1 Cálculos para el diseño del sistema solar fotovoltaico en las instalaciones

De modo que en el siguiente epígrafe son aplicados los pasos explicados con anterioridad en las instalaciones privadas Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Paso 1: Selección del módulo fotovoltaico

En coherencia lo establecido en los Lineamientos Económicos y Sociales del Estado y la Revolución aprobados en el VI Congreso del Partido y refrendados en la Asamblea Nacional del Poder Popular de Cuba (Lineamiento 247), los diseños de las centrales y sistemas a partir del uso de fuentes renovables de energía, deben buscar lo más posible la integración de la industria nacional al producto final.

De modo que se selecciona para el ante-proyecto de la presente investigación el módulo fotovoltaico DSM-280, producido por la Empresa de Componentes Electrónicos "Ernesto Che Guevara" ubicada en la carretera al Aeropuerto Álvaro Barba Km 2 ½, Pinar del Río, Cuba, pues es el que presenta mayor potencia máxima (Wp) de los producidos en el país hasta la fecha. En la Tabla 3.1 se muestran las características técnicas del módulo seleccionado:

Tabla 3.1

Características de los paneles DSM-280.

No. de Modelo	DSM-280
Potencia Máxima (Pmax) en (Wp)	280
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax) en (A)	31
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax) en (A)	9,07
Tensión en Circuito Abierto (Voc) en (V)	39,5
Corriente de cortocircuito (Isc) en (A)	9,71



Eficiencia en %	17,27
Dimensiones (L/A/E)	1 650x990x35 mm
Peso	20 Kg
Tipo de Células	Policristalinas
Tamaño de las Células	156x156 mm

Nota: Tomado de (ENF Solar, 2020).

Paso 2: Determinación de la inclinación y orientación de los paneles

Para el diseño de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles con el propósito de que los paneles capten la mayor cantidad de radiación solar posible. Esta orientación puede ser impuesta por el emplazamiento donde se propone instalar los paneles, como es el caso de tejados con cierta orientación, o libre si la ubicación lo permite, como extensiones de terreno llanas (Guerrero, 2019). En este caso los paneles solares son orientados directamente hacia el sur.

Uno de los elementos a tener en cuenta antes de montar un SSFV es la radiación que incide sobre la superficie de la región. La provincia de Cienfuegos se caracteriza por una buena presencia de radiación solar, con valores superiores a 5,5 kWh/m² (Ver Anexo 15), lo que corrobora la validez de las instalaciones fotovoltaicas en el territorio

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. Según la investigación realizada por Rodríguez et al. (2012) la latitud de la provincia de Cienfuegos es 22 °.

Paso 3: Cálculo de la distancia mínima entre paneles

En este paso se determina la distancia mínima entre paneles donde es necesario determinar la componente de la altura (h) del panel (Ver Tabla 2.6).

$$h = L * \text{sen } \beta = 1,650 * \text{sen}(22^\circ) = 0,62 \text{ m}$$

Una vez determinada determinar la componente de la altura se calcula la distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo medido horizontalmente. (b)

$$b = L * \text{cos } \beta = 1,650 * \text{cos}(22^\circ) = 1,53 \text{ m}$$



Conocidos estos valores se debe determinar el ángulo de incidencia del rayo solar respecto a tierra (θ), para posteriormente calcular la distancia entre borde superior panel anterior y borde inferior panel posterior (a)

$$\theta = 180 - 90 - \beta = 68^\circ$$

$$a = h / \tan(\theta) = 0,62 / \tan(68^\circ) = 0,25\text{m}$$

Se toma el valor igual a 0,5m para que pueda ser utilizado como pasillo para limpieza y mantenimiento. Con todos los valores calculados es posible entonces determinar la distancia mínima entre paneles (d_{min})

$$d_{\text{min}} = a + b = 0,5 + 1,53 = 2,03\text{m}$$

Por lo que se considera 2,00m como distancia mínima entre paneles para el montaje del sistema.

Paso 4: Cálculo del número máximo teórico de paneles

Una vez calculada la distancia mínima entre paneles se debe calcular el número de las posibles a colocar sobre el área útil de las azoteas. Se conoce que el área disponible para cada establecimiento son las siguientes:

- Restaurante Big Bang 22,5m x 5,5m
- Restaurante Las Mamparas 30,6m x 5,00m
- Restaurante Doña Nora 8,00m x 5,00m

Con estos valores es posible determinar el número máximo de filas de paneles, número máximo de paneles por filas y el número máximo de paneles en la edificación, lo que se muestra en la Tabla 3.2 a continuación para cada caso de estudio

Tabla 3.2

Cálculo del número máximo teórico de paneles.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo del número máximo de filas de paneles		
# máx. filas= Ancho del edificio/Distancia entre paneles.		
2,75	2,5	2,5
Se decide colocar 2 filas de paneles.	Se decide colocar 2 filas de paneles	Se decide colocar 2 filas de paneles



N°. Máximo de paneles por filas. # máx. paneles por filas= long. edif./ancho del panel.		
22,73 Se limitan a 22 paneles por fila	30,9 Se limitan a 30 paneles por fila	8,08 Se limitan a 8 paneles por fila
Número máx. de paneles en la edificación. (N° máx. de paneles) N° máx. paneles=N° de filas * N° de paneles por filas		
44	60	16

Nota: Elaboración propia.

Los cálculos efectuados muestran que según el área disponible en cada caso es posible instalar en el restaurante Big Bang 44 paneles, en Las Mamparas 60, mientras que en Doña Nora 16 módulos.

Paso 5: Cálculo de la energía generada

Para el cálculo de la energía generada es necesario conocer HSP del lugar donde debe ser montado el parque solar, en este caso es de 5,6 kWh/m² (Ver Anexo 15), la potencia del panel y el número de paneles calculado para cada instalación. En la Tabla 3.3 se muestran los resultados de dichos cálculos.

Tabla 3.3

Cálculo de la energía generada para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo de la energía generada. (Eu.) Energía útil generada (kWh/día) Eu=0,654*HSP*P_n*N		
44,31 kWh/día	60,43 kWh/día	16,11 kWh/día
1,33 MWh/mes	1,81 MWh/mes	4,83 MWh/mes
15,95 MWh/año	21,75 MWh/año	5,79 MWh/año

Nota: Elaboración propia.

Se obtiene que la energía útil generada anualmente por 44 paneles a instalar en el restaurante Big Bang sería de 15,95 MWh, de los 60 paneles a instalar en Las Mamparas se genera 21,75 MWh/año y en el caso de Doña Nora se genera 5,79 MWh/año de 16 paneles solares fotovoltaicos.



Paso 6: Cálculo de la potencia instalada

Para determinar la potencia instalada del parque solar se necesita conocer el número de paneles y la potencia pico del panel. La Tabla 3.4 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 3.4

Cálculo la potencia del parque solar para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo de la potencia instalada. (P_{inst.}) (kWp)		
P_{inst.}=N*(P_n/1000)		
12,32	16,8	4,48

Nota: Elaboración propia.

La potencia del parque solar a instalar en el restaurante Big Bang presenta una potencia pico de 12,32 kWp, en Las Mamparas corresponde a 16,8 kWp y en Doña Nora corresponde a 4,48 kWp.

Paso 7: Determinación de la disposición de potencia /área

Una vez determinada la potencia instalada en cada parque solar se debe determinar la relación de área/potencia, para comprobar si los mismos se encuentran en el rango recomendado. La Tabla 3.5 muestra los resultados correspondientes a cada caso de estudio.

Tabla 3.5

Cálculo de la relación de área/potencia del parque solar para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Disposición (Área/Potencia) (m²/kW)		
E_G=Área Edif./ Pot. Instalada		
10,04	9,11	8,92

Nota: Elaboración propia.

La relación de área/potencia está en el rango recomendado para paneles policristalinos entre 8-11 m²/kW, correspondientes a nuestro caso de estudio (Becerra, 2019). Una vez realizados todos estos cálculos es posible determinar la cantidad de inversores necesarios



Paso 8: Selección del inversor y determinación del número de inversores

Para este paso es necesario conocer la potencia instalada en cada parque solar, calculada anteriormente:

- Restaurante Big Bang 12,32 kWp
- Restaurante Las Mamparas 16,8 kWp
- Restaurante Doña Nora 4,48 kWp

Por lo que para el diseño de los parques solares se seleccionan inversores ASP-4-5KHF Aotai Electric de 5kW. Las especificaciones técnicas del inversor se muestran en el Anexo 16 y los cálculos del mismo se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6

Cálculo del número de inversores del parque solar para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo del número de inversores.		
N° de Inversores=Pot.Inst /Pot. Inversor		
Son necesarios 3 inversores de 5kW	Son necesarios 4 inversores de 5kW	Es necesario 1 inversor de 5kW

Nota: Elaboración propia.

Calculados todas estas variables técnicas para el ante-proyecto de los parques solares se procede a comprobar dichos cálculos manuales con los ofrecidos por el Software PVsyst en el paso a continuación.

Paso 9: Comprobación de cálculo manual mediante simulación de Software

Para el presente proyecto se utiliza el software PVsyst versión 7.1 desarrollado en la Universidad de Ginebra. Este es un potente programa informático de uso gratuito, que permite realizar el diseño, simulación y análisis de datos de una instalación fotovoltaica; posee una amplia base de datos de los principales componentes usados en una instalación del mercado internacional y permite añadir nuevos.

Se utiliza para la simulación el modelo DSM 280 de panel FV, una inclinación de 22 ° y un acimut de 0°. El punto geográfico presenta una latitud de 22.14° norte, -80.45° longitud oeste a una altitud de 8 m y los datos climatológicos fueron obtenidos de una síntesis de datos de la



Base de Satélites de la NASA-SEE del 2005. Los principales resultados obtenidos mediante la utilización del software se muestran a continuación en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7

Resultados PvSyst 7.1.

	Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Número total de paneles	44	60	16
Potencia	12,32 kWp	16,8 kWp	4,48 kWp
Superficie ocupada por paneles	71,9 m ²	98 m ²	26,1 m ²
Inversor.			
Modelo	Aotai_ASP-3KTLD	Aotai_ASP-3KTLD	Aotai_ASP-4KTLD
Rango de tensión de trabajo	80-550 V	80-550 V	80-550 V
Potencia nominal unitaria	3 kW	3 kW	4 kW
Número de inversores	4	5	1
Potencia total	12 kW	15 kW	4 kW
Producción del Sistema.			
Energía producida	18,19 MWh/año	24,22 MWh/año	6,62 MWh/año
Factor de rendimiento	74,77 %	74,82 %	74,87 %

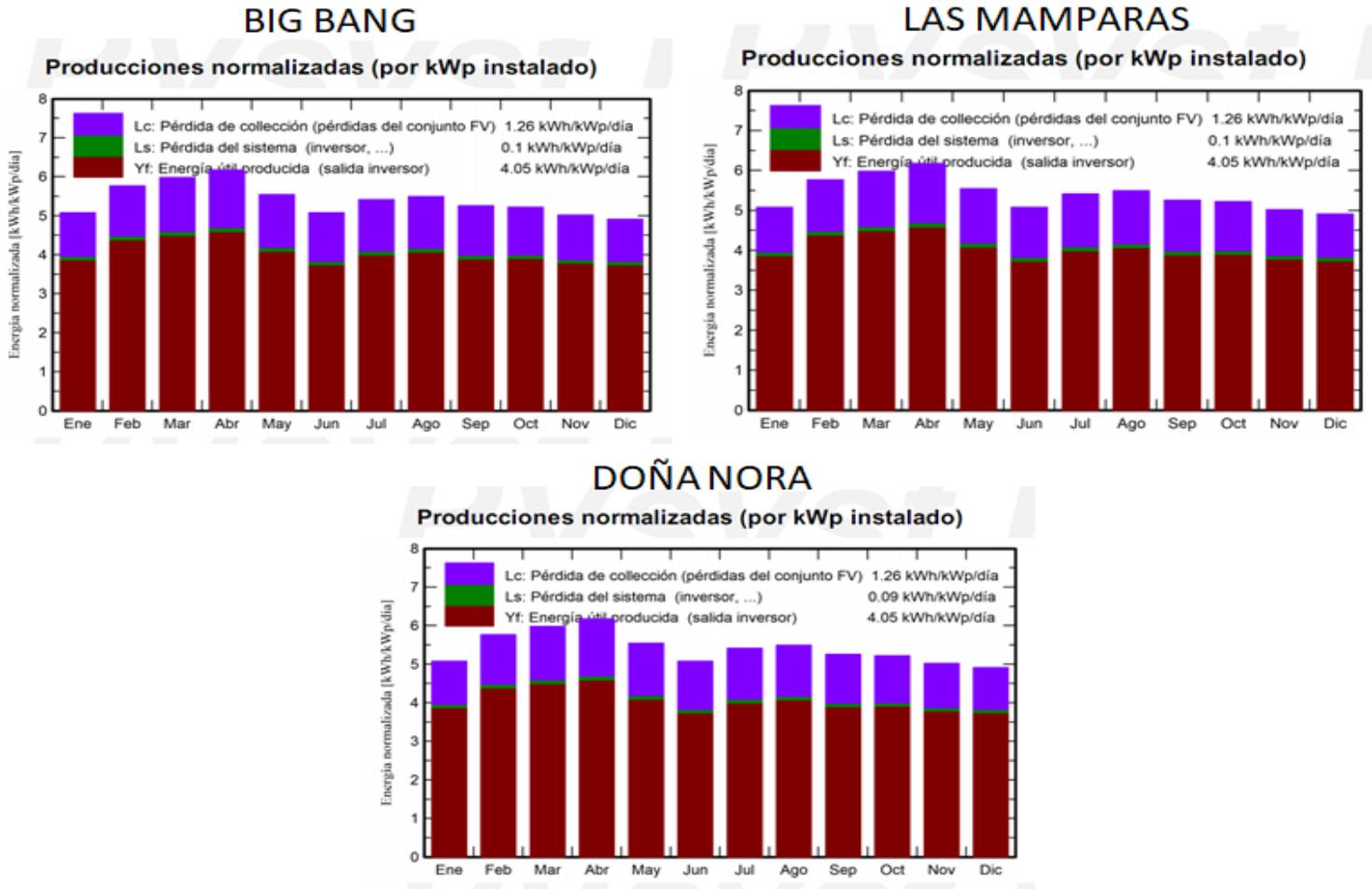
Nota: Elaboración propia a partir de software PVsyst versión 7.1.

La Figura 3.1, muestra las pérdidas globales asociadas a los sistemas, se observa que las mismas son de 1.26 kWh/kWp/día en los tres casos, mientras que la del sistema electrónico de potencia son 0.1 kWh/kWp/día en Las Mamparas y el Big Bang y para el caso de Doña Nora de 0.09 kWh/kWp/día, con una producción de energía útil de 4,05 kWh/kWp/día en los tres restaurantes.



Figura 3.1

Producciones normalizadas en kWp.



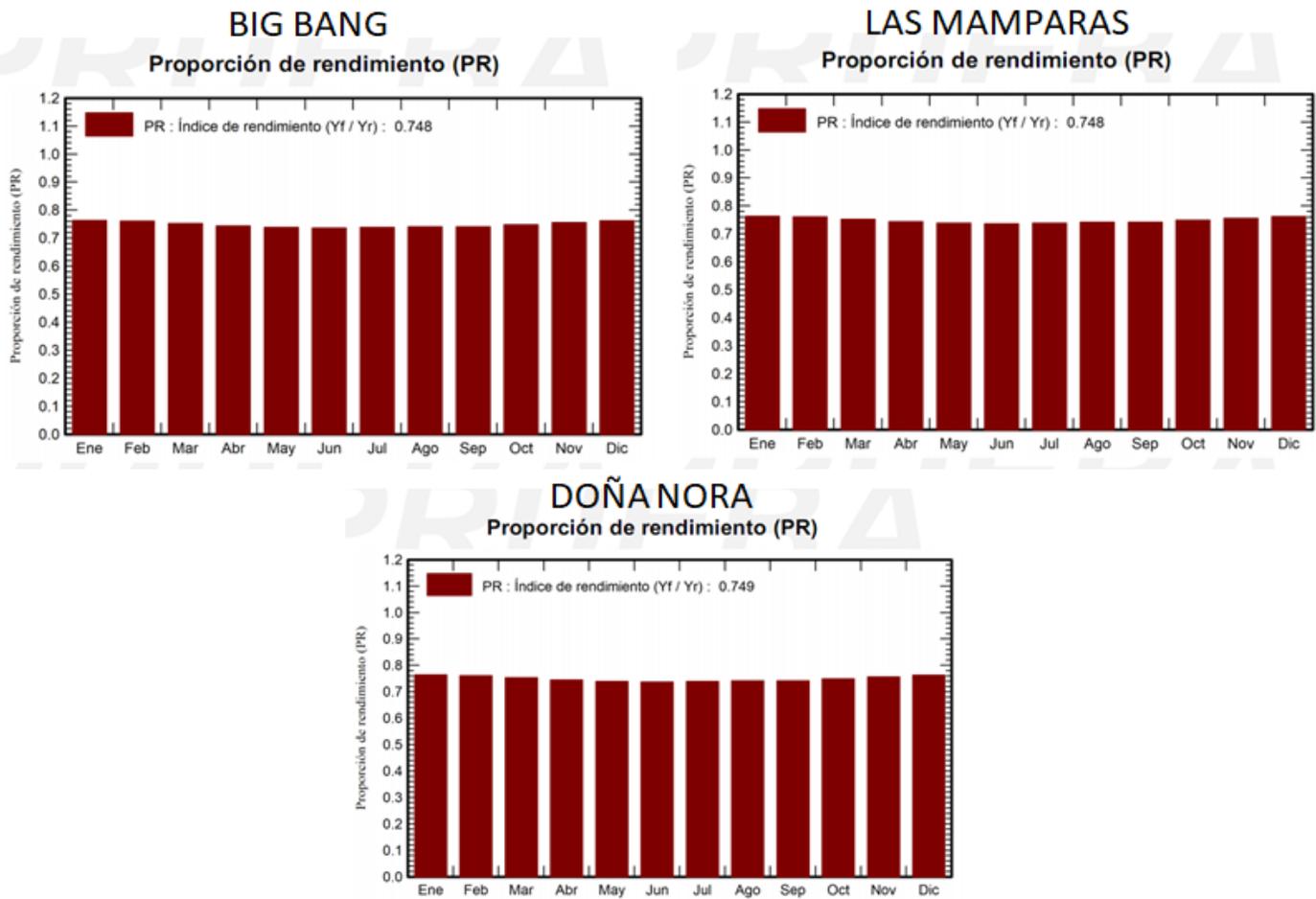
Nota: Resultados del software PVsyst 7.1.

En la Figura 3.2, se observa que el factor de rendimiento es relativamente alto durante el transcurso del año, con valores superiores al 70 %. Es de destacar que en los meses de mayor calor desde mayo a agosto estos valores descienden ligeramente por el incremento de la temperatura del panel y al aumento de la nubosidad. En el Anexo 17 se muestran los Diagramas de Pérdidas arrojados por el software para cada establecimiento teniendo en cuenta varios factores, en los mismos se destaca que las mayores pérdidas en el SSFV están dadas por las temperaturas, las que representan un 12 % aproximadamente en cada caso de estudio y el sistema alcanza un 17, 24% de eficiencia para cada caso de estudio



Figura 3.2

Factor de rendimiento.



Nota: Resultados del software PVsyst 7.1.

La Tabla 3.8 muestra la energía posible a generar mensualmente por el sistema. Estos valores corresponden al comportamiento histórico de los datos almacenados en el simulador PVsyst 7.1 y pertenecientes a los datos de Base del Satélite NASA-SEE 1983 – 2005. Se observa que en los meses de marzo y abril son los que presenta los mayores valores de generación para los tres establecimientos, debido a la radiación solar en dichos meses, por su parte el mes de junio alcanza los menores valores en esta época de año.

**Tabla 3.8**

Resultados de producción de energía por meses.

Meses	Energía generada (MWh). Big Bang	Energía generada (MWh). Las Mamparas	Energía generada (MWh). Doña Nora
Enero	1,478	2,017	0,538
Febrero	1,513	2,064	0,551
Marzo	1,718	2,343	0,625
Abril	1,697	2,316	0,618
Mayo	1,561	2,131	0,569
Junio	1,381	1,885	0,503
Julio	1,526	2,082	0,556
Agosto	1,555	2,121	0,566
Septiembre	1,439	1,964	0,524
Octubre	1,492	2,036	0,543
Noviembre	1,401	1,911	0,510
Diciembre	1,429	1,950	0,520
Promedio mensual de generación	1,516	2,068	0,552
Generación anual	18,190	24,820	6,624

Nota: Elaboración propia.

Para comprobar los resultados obtenidos con el cálculo manual teórico se hace uso de la modelación a través del PVsyst 7.1. Los resultados básicos para el desarrollo de esta comparación se encuentran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9

Comparación entre cálculo manual teórico y simulación.

Campos de comparación	PVsyst	Cálculo Manual	Diferencia (%)
Cantidad módulos			
Big Bang	44	44	0
Las Mamparas	60	60	0
Doña Nora	16	16	0



Energía obtenida (MWh/año)			
Big Bang	18,190	15,95	12,31
Las Mamparas	24,820	21,75	12,36
Doña Nora	6,624	5,79	12,59

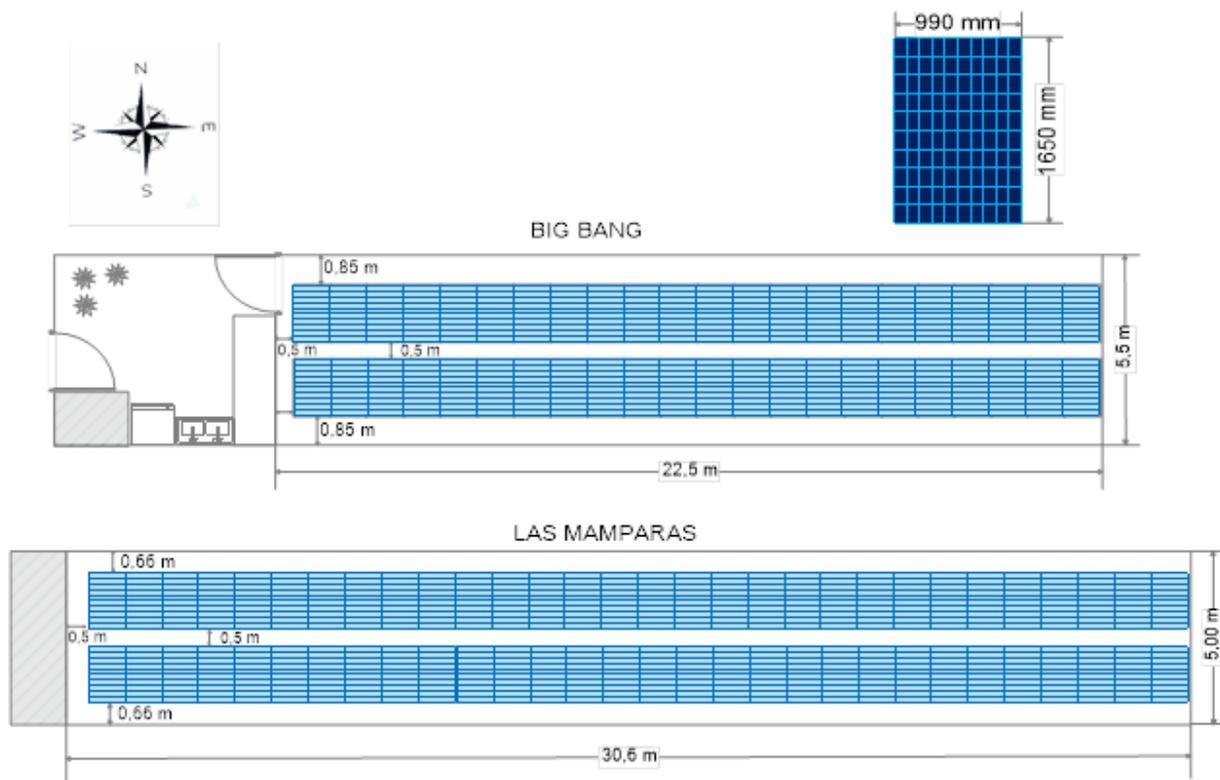
Nota: Elaboración propia.

Se observa que los valores de diferencia calculados son aproximadamente de un 12 %, producto a la exactitud con la que trabaja el software PVsyst 7.1, el que utiliza una mayor cantidad de variables de fuentes meteorológicas, por lo que son utilizados los valores arrojados por el software para los pasos restantes.

Se propone la instalación del sistema fotovoltaico en el techo de las entidades, a fin de darle un mejor aprovechamiento a este espacio. En la Figura 3.3 y 3.4 se muestra como queda dispuesta dicha propuesta en cada establecimiento.

Figura 3.3

Vista aérea de la disposición de los parques solares propuesto en Big Bang y Las Mamparas.

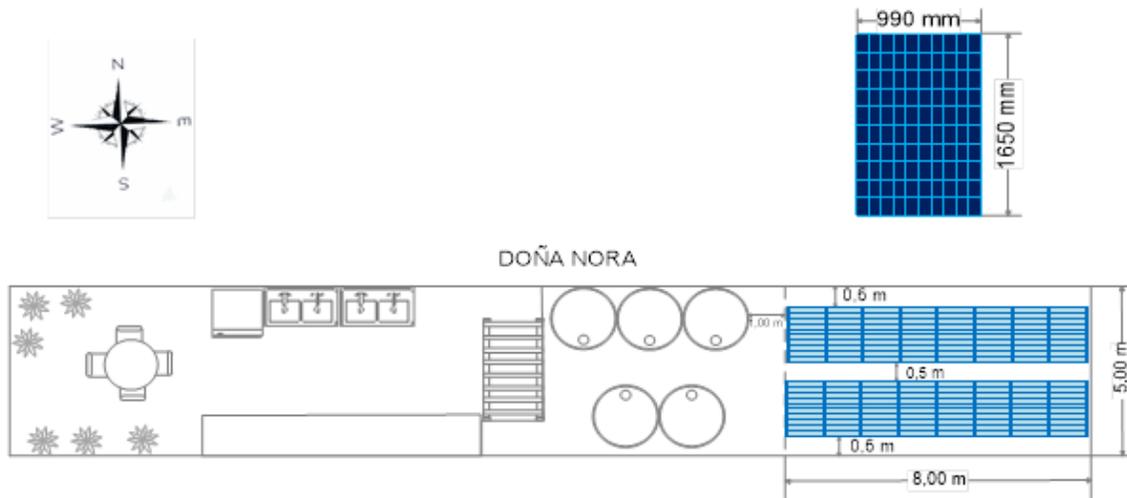


Nota: Elaboración propia.



Figura 3.4

Vista aérea de la disposición del parque solar propuesto en Doña Nora.



Nota: Elaboración propia.

Una vez obtenida la energía generada por el SSFV se analiza en que porcentaje dicho sistema satisface el consumo máximo registrado en las entidades y el consumo promedio de las mismas, mostrado en la Tabla 3.10 se muestra

Tabla 3.10

Porcentaje de energía satisfecha.

	Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Energía Generada (MWh/mes)	1,516	2,068	0,552
% de energía satisfecha para consumo máximo registrado			
Consumo máximo registrado (MWh/mes)	4,001	2,785	2,942
%	37,9%	74,2%	18,7%
% de energía satisfecha para consumo promedio			
Consumo promedio (MWh/mes)	2,289	2,070	1,846
%	66%	99%	30%

Nota: Elaboración propia.



De la tabla anterior se obtienen los porcentajes en que la energía consumida es satisfecha en cada establecimiento, de lo que resalta el SSFV propuesto para el restaurante Doña Nora, que satisface solamente un 18,7% de la energía máxima registrada y un 30% de la energía promedio consumida, esto es debido a que el área disponible en establecimiento es muy pequeña para satisfacer la demanda actual de la instalación. Por su parte en el restaurante Big Bang se satisface un 37,9% del consumo máximo registrado (4,001 MWh/mes), valor muy elevado que responde al primer mes donde el restaurante comienza el rediseño del menú, se comienzan a introducir nuevos equipos consumidores y se desconoce que productos se mantendrían en las ofertas diarias, sin embargo para el consumo promedio del establecimiento se satisface un 66% de la energía consumida. En el restaurante Las Mamparas se satisface en gran medida la demanda del establecimiento con el nuevo SSFV propuesto.

Paso 10: Análisis de costo

Para la realización de la evaluación económica se tiene en consideración todos los gastos asociados a la instalación de la tecnología fotovoltaica en cuanto a: paneles, mesas de fijación, cableado, tornillería e inversores; además de tener en consideración factores como: el impuesto del banco, inflación, 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 recupera la inversión y las ganancias que trae consigo.

Conociendo la generación del SSFV y la tarifa B2 residencial nacional, la que aplica a este sector (CUBADEBATE, 2020), se determina el ingreso por concepto de ahorro para cada entidad. Ver Tabla 3.11.

Tabla 3.11

Cálculo del ingreso por concepto de ahorro de energía eléctrica.

Tarifa B-2		Big Bang		Las Mamparas		Doña Nora	
Costo CUP	Rango kWh	Promedio Generado 1516 kWh/mes	Ingreso Por Concepto De Ahorro CUP	Promedio Generado 2069 kWh/mes	Ingreso Por Concepto De Ahorro CUP	Promedio Generado 552 kWh/mes	Ingreso Por Concepto De Ahorro CUP
0,33	0-100	100	33,00	100	33.00	100	33.00
1,07	101-150	49	52,43	49	52.43	49	52.43
1,43	151-200	49	70,07	49	70.07	49	70.07



2,46	201-250	49	120,54	49	120.54	49	120.54
3,00	251-300	49	147,00	49	147.00	49	147.00
4,00	301-350	49	196,00	49	196.00	49	196.00
5,00	351-400	49	245,00	49	245.00	49	245.00
6,00	401-450	49	294,00	49	294.00	49	294.00
7,00	451-500	49	343,00	49	343.00	49	343.00
9,20	501-600	99	910,80	99	910.80	60	552.00
9,45	601-700	99	935,55	99	935.55		
9,85	701-1000	299	2 945,15	299	2 945.15		
10,80	1001 -1800	526	5 680,80	799	8 629.20		
11,80	1801-2600			280	3,304.00		
Ingreso Por Concepto De Ahorro/MES		11 973,34 CUP 498,89 USD		18 225,74 CUP 759,41 USD		2 053,04 CUP 85,54 USD	
Ingreso Por Concepto De Ahorro/Año		143 680,08 CUP 5 986,67 USD		218 708,88 CUP 9 112,87 USD		24 636,48 CUP 1 026,52 USD	

Nota: Elaboración propia.

Para continuar el análisis económico se toman los valores mencionados en la Figura 1.6 del Capítulo I de la presente investigación, referidos a los costos de instalación de un SSFV en diferentes regiones del mundo. Por lo que se decide trabajar con cuatro variantes, estas son las propuestas por India, Canadá, Rusia (como referentes de los valores más bajos, medio y más altos del mercado) y COPEXTEL en Cuba. Por su parte el Ministerio de Finanzas y Precios, emite la Resolución 319, publicada en la Gaceta Oficial No. 67 Extraordinaria, del 28 de julio de 2021, que exime del pago de los aranceles de aduanas a las personas naturales, por la importación sin carácter comercial que realicen de sistemas solares fotovoltaicos, sus partes y piezas fundamentales, cumpliendo a tales efectos con lo dispuesto por el Ministro de Energía y Minas (MFP, 2021).

Teniendo en cuenta la potencia de cada SSFV y el precio del kilowatt ofrecido por las diferentes variantes se determinan los costos de instalación del SSFV para cada caso de estudio, como se muestra en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12**

Costo de la instalación fotovoltaica para los establecimientos caso de estudio.

	Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
	Potencia Instalada		
	12,32 kWp	16,8 kWp	4,48 kWp
Costo India (USD) 1kW=596 USD	7 342,72 USD	10 012,8 USD	2 670,08 USD
Costo Canadá (USD) 1kW=1275 USD	15 708 USD	21 420 USD	5 712 USD
Costo Rusia (USD) 1kW=1889 USD	23 272,48 USD	31 735,2 USD	8 462,72 USD
Costo Cuba(Copextel) (USD) 1kW=2550 USD	31 416 USD	42 840 USD	11 424 USD

Nota: Elaboración propia.

Otro aspecto necesario para evaluar económicamente la inversión son los valores de las tasas de interés en el país, las mismas se muestran en la Tabla 3.13 de acuerdo con 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 3.13

Valores de las tasas de interés anual.

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

Nota: Tomado de TradingEconomic (2020).

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%.



Una vez obtenido el costo de instalar el SSFV para cada establecimiento y partiendo de los valores anteriores, se realiza un análisis económico que responde a cada una de las propuestas. La Tabla 3.14 muestra los principales resultados obtenidos de dicho análisis para cada establecimiento caso de estudio, lo que se puede observar en el Anexo 18 de la presente investigación.

Tabla 3.14

Evaluación económica de instalar los SSFV para Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

BIG BANG				
Ingreso Por Concepto De Ahorro/Año= 5 986,67 USD				
Gastos de operación y mantenimiento (15% del ingreso por concepto de ahorro)= 898 USD				
Datos	India	Canadá	Rusia	Cuba
Costo de instalación (USD)	7 342,72	15 708	23 272,48	31 416
Depreciación (USD)	293,71	628,32	930	1256
Valor Actual Neto- VAN (USD)	36 852,19	30 004,5	23 812,45	17 146
Tasa Interna de Retorno (TIR)	38%	14%	5%	-2%
Período de recuperación de la Inversión (PRI)	2,5 años	5,5 años	8,5 años	12 años
LAS MAMPARAS				
Ingreso Por Concepto De Ahorro/Año= 9 112,87 USD				
Gastos de operación y mantenimiento (15% del ingreso por concepto de ahorro)= 1366 USD				
Datos	India	Canadá	Rusia	Cuba
Costo de instalación (USD)	10 012,8	21 420	31 735,2	42 840
Depreciación (USD)	400,52	856,8	1 269,4	17 13
Valor Actual Neto- VAN (USD)	57 049,85	47 711,5	39 267,7	30 177
Tasa Interna de Retorno (TIR)	43%	17%	8%	1%
Período de recuperación de la Inversión (PRI)	2,5 años	4,5 años	7,5 años	11 años



DOÑA NORA				
Ingreso Por Concepto De Ahorro/Año= 1 026,52 USD				
Gastos de operación y mantenimiento (15% del ingreso por concepto de ahorro)= = 153 USD				
Datos	India	Canadá	Rusia	Cuba
Costo de instalación (USD)	2 670,08	5 712	8 462,72	11 424
Depreciación (USD)	106,8	228,48	338,5	456
Valor Actual Neto- VAN (USD)	5 163,91	2 673,83	422,18	-2001
Tasa Interna de Retorno (TIR)	15%	-3%	-	-
Período de recuperación de la Inversión (PRI)	5,5 años	13 años	23 años	-

Nota: Elaboración propia.

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en la Tabla 3.14, se puede apreciar gráficamente en las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7 el comportamiento de las posibles inversiones para cada restaurante.

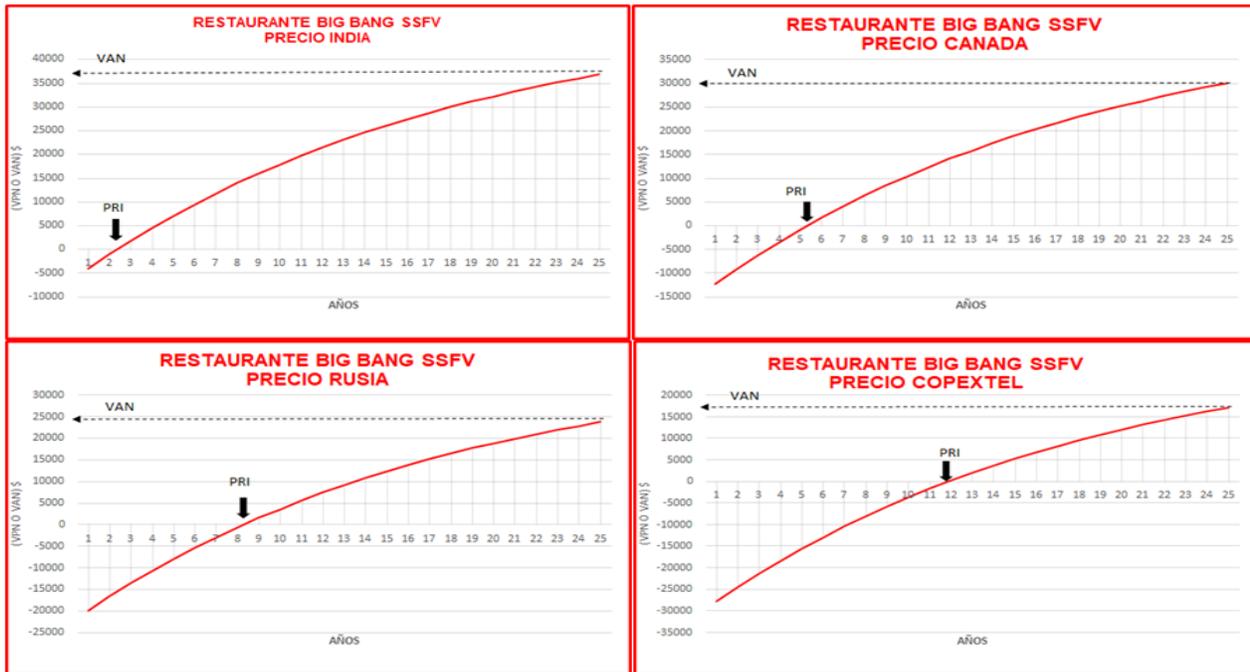
Se puede observar que para el restaurante Big Bang (ver Figura 3.5) todas las opciones son recomendables pues alcanzan valores positivos de VAN, con PRI aceptables para los cuatro casos. Destaca la propuesta de La India con el mayor VAN superior a 30 000 USD y el menor PRI de tan solo 2,5 años. Como segunda opción se propone la oferta de Canadá con un PRI de 5,5 años y VAN superior a la inversión, por lo que es aconsejable realizar esta inversión. Por su parte la oferta propuesta por COPEXTEL es la menos favorable, pues presenta el mayor PRI, siendo de 12 años, mientras que la vida útil de la instalación es de 25 años, también es donde se observa el menor valor de VAN de 17 146 USD.

En la Figura 3.6 se observan los cuatro escenarios para el restaurante Las Mamparas, donde la oferta de La India continua siendo la más tentativa con tan solo 2,5 años de PRI y valores de Van superiores a 50 000 USD. Mientras que la oferta propuesta por COPEXTEL es la menos favorable al igual que en caso anterior, pues el PRI es el mayor siendo de 11 años, también es donde se observan menores valores de VAN, siendo de 30 177 USD.



Figura 3.5

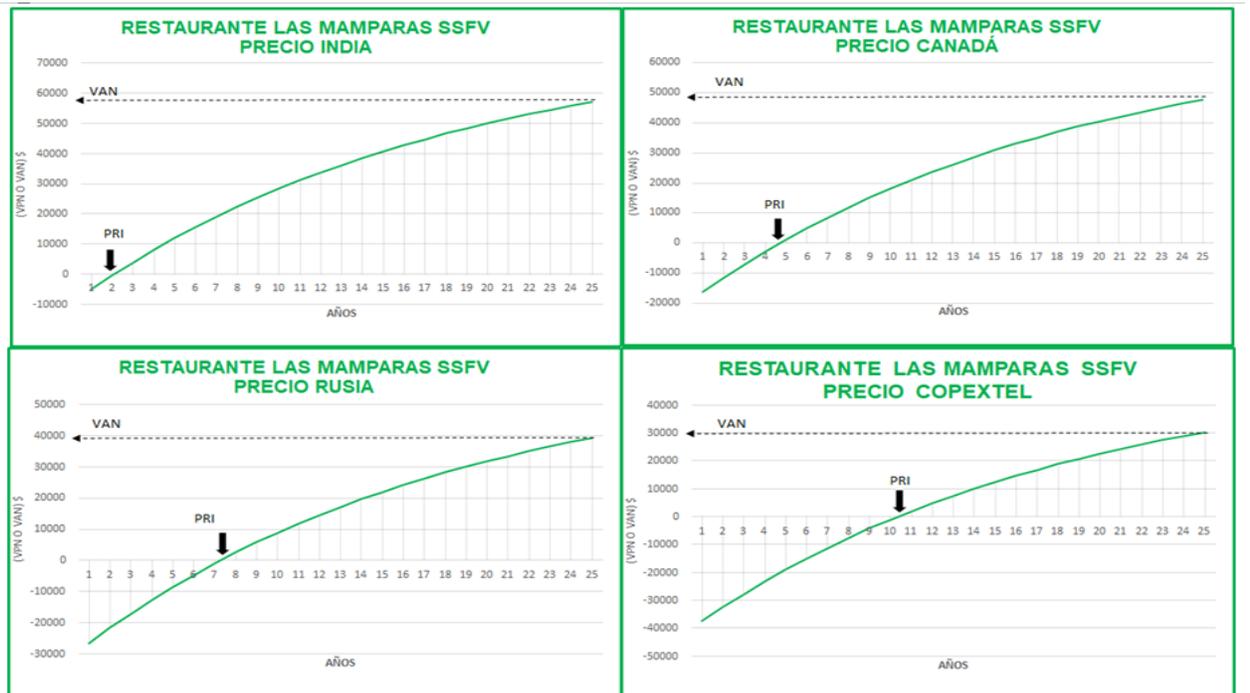
Análisis económico de las posibles inversiones para la instalación del SSFV- Big Bang.



Nota: Elaboración propia.

Figura 3.6

Análisis económico de las posibles inversiones para la instalación del SSFV- Las Mamparas.



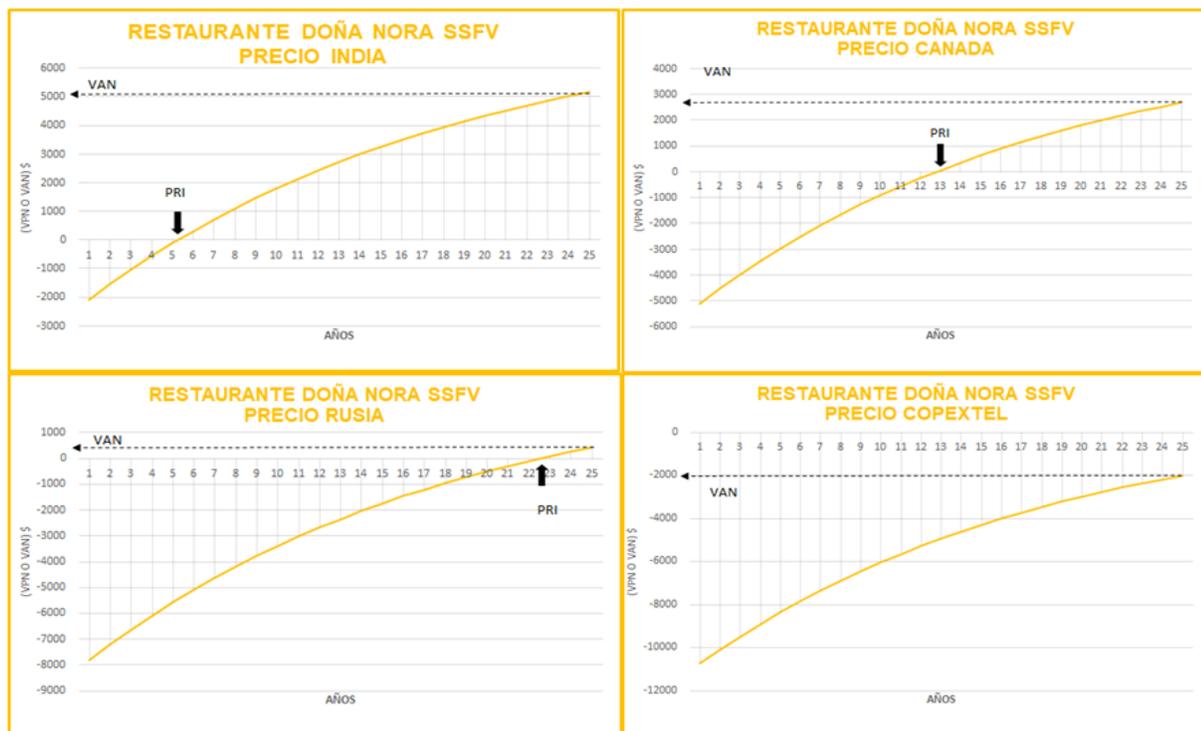
Nota: Elaboración propia.



En el caso de Doña Nora (ver Figura 3.7) se observa que las propuestas de Rusia y COPEXTEL no son favorables, pues la inversión no se recupera en los 25 años de vida útil de la instalación para el caso de COPEXTEL y para el caso de Rusia se recupera a los 23 años y alcanza valores muy bajos y negativos de VAN, las opciones recomendadas para este caso son las propuestas por La India y Canadá, las mismas presentan un PRI de 5 y 13 años respectivamente y los valores de VAN son 5 163,91 USD para la propuesta de La India y 2 673,83 USD para la propuesta de Canadá. Este establecimiento es el que menor área disponible presenta para el parque solar lo que trae consigo que el posible ingreso por concepto de ahorro para dicha inversión alcance valores muy bajos con respecto al costo de la misma.

Figura 3.6

Análisis económico de las posibles inversiones para la instalación del SSFV- Doña Nora.



Nota: Elaboración propia.

Del análisis anterior se obtiene que para las tres entidades la opción más favorable es la ofrecida por La India, con los mayores valores de valor actual neto y menor período de recuperación de la inversión. Sin embargo; la oferta actual de COPEXTEL en Cuba es el



menos favorable para los establecimientos, pues presenta las valores más bajos de VAN y el mayor PRI, aun así aceptable para los restaurantes Big Bang y Las Mamparas.

Otro elemento a tener en cuenta en el análisis económico de instalación de los SSFV y de gran importancia para el país, es el costo evitado por la generación con combustibles fósiles. Se conoce que en Cuba el costo de generar 1kWh mediante la quema de combustibles fósiles es de 6,00 cup (UNE, 2020), por lo que se determina el costo evitado teniendo en cuenta dicho valor y la energía a generar por el parque solar en los restaurantes casos de estudio. En la Tabla 3.15 a continuación se muestran los resultados obtenidos en cada entidad.

Tabla 3.15

Costo evitado por la generación con combustibles fósiles.

BIG BANG	LAS MAMPARAS	DOÑA NORA
Costo evitado por concepto de combustible fósil:		
Consumo(kWh/mes)* costo de generación (\$/kWh)* Meses al año		
1 516 kWh/Mes*6 CUP/kWh*12 Mes/año	2 069 kWh/Mes*6 CUP/kWh*12 Mes/año	552 kWh/Mes*6 /kWh*12 Mes/año
109 152,00 CUP/año 4 548,00 USD/año	148 968,00 CUP/año 6 207,00 USD/año	39 744,00 CUP/año 1 656,00 USD/año
297 864,00 CUP/año 12 411,00 USD/año		
Costo evitado x Vida útil de la instalación		
109 152,00 CUP/año*25 años= 2 728 800 CUP 4 548,00 USD/año*25 años= 113 700 USD	148 968,00 CUP/año*25 años=3 724 200 CUP 6 207,00 USD/año*25 años= 155 175 USD	39 744,00 CUP/año*25 años= 993 600 CUP 1 656,00 USD/año*25 años= 41 400 USD
7 446 600 CUP 310 275 USD		

Nota: Elaboración propia.



La tabla anteriormente mostrada permite observar que si se instalaran los SSFV en las entidades de estudio el costo evitado al país por la utilización de combustible fósil sería de 12 411 USD al año, lo que representa un total de 310 275 USD en los 25 años de vida útil de la instalación fotovoltaica.

Paso 11: Análisis medioambiental

Este aspecto es de gran importancia, debido al 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, los cuales tienen marcadas influencias negativas en la contaminación ambiental; la fomentación del uso de la tecnología fotovoltaica es una de las principales fuentes energéticas de gran impacto para la reducción de emisiones de CO₂ hacia la atmósfera.

Por lo que se parte de determinar la cantidad de combustible dejado de quemar si se instalaran los parques solares en las entidades caso de estudio, para esto es necesario conocer la energía generada por los parques solares a instalar:

- Restaurante Big Bang 18 190 kWh/año
- Restaurante Las Mamparas 24 828 kWh/año
- Restaurante Doña Nora 6 624 kWh/año

En la Tabla 3.16 se muestran los resultados obtenidos para determinar el combustible ahorrado en cada caso de estudio.

Tabla 3.16

Cálculo de combustible ahorrado de los parques solares para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo combustible ahorrado		
$Combustible\ ahorrado = \frac{E * g}{1000}$		
18190*0,236/1000 =4,3 t/año	24828*0,236/1000 =5,86 t/año	6624*0,236/1000 =1,56 t/año

Nota: Elaboración propia.



Una vez obtenido el combustible ahorrado de acuerdo a la energía generada en cada caso, se determina la cantidad de CO₂ no emitido a la atmósfera si los parques solares fuesen instalados. En la Tabla 3.17 se muestran dichos resultados teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

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

Tabla 3.17

Cálculo de combustible ahorrado de los parques solares para los restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora.

Big Bang	Las Mamparas	Doña Nora
Cálculo CO₂ no emitido		
$CO_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} * k}{\rho}$		
(4,3*3,119)/(0,9781) =13,71 t/año	(5,86*3,119)/(0,9781) =18,69 t/año	(1,56*3,119)/(0,9781) =4,97 t/año

Nota: Elaboración propia.

Se determina que el combustible ahorrado al año con la instalación de parques solares en los tres establecimientos es de 11,72 t/año, la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera es de 37,37 t/año entre los tres establecimientos, lo que evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del sistema fotovoltaico.



Conclusiones parciales

Al término del presente capítulo se arriba a las siguientes conclusiones

1. Quedo propuesto el proyecto de instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red, el cual está compuesto por un total de 120 paneles solares, distribuidos en 3 establecimientos privados.
2. El SSFV es capaz de generar en los establecimientos Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora 1,516 MWh/mes, 2,068 MWh/mes y 0,552 MWh/mes respectivamente, lo cual satisface un 37,9 %, 74,2% y 18,7% de la máxima demanda de los restaurantes.
3. Se demostró que la propuesta de La India es recomendable desde el punto de vista económico para los tres restaurantes Big Bang, Las Mamparas y Doña Nora ya que el periodo de recuperación de la inversión es de 2,5 y 5,5 años, mientras que la oferta cubana de COPEXTEL es la menos recomendable para los tres establecimientos pues los valores alcanzados por el VAN son menores que el costo de inversión para los tres casos.
4. Desde el punto de vista ambiental, el proyecto es muy beneficioso, pues posibilita un ahorro de 11,72 toneladas de combustible al año y evitando la emisión de 37,37 toneladas de CO₂ al año hacia la atmósfera.

CONCLUSIONES





Conclusiones generales

Al término de la presente investigación se arriba a las siguientes conclusiones

1. El desarrollo científico y tecnológico que sobre las fuentes renovables de energía muchos países desarrollados han logrado, fundamentalmente, a su elevada importancia y beneficios para el cuidado del medio ambiente y además como una alternativa viable y económicamente factible es un tema de elevada relevancia. En particular la energía solar como un tipo de fuente renovable ha mantenido un crecimiento sostenido, su alta demanda y la disminución de los costos de manera considerable en el tiempo hacen que los sistemas de energía solar sean altamente utilizados.
2. La generación eléctrica en Cuba en su mayoría es mediante combustibles fósiles con una demanda que aumenta cada año; resulta imprescindible para el país la búsqueda de alternativas para la producción de energía limpia, previéndose para el 2030, 700 MW, una participación de un 24% de FRE en la matriz eléctrica utilizando el desarrollo de parques solares y logrado incrementar la potencia instalada.
3. En el municipio de Cienfuegos, el consumo promedio de electricidad en un establecimiento sector privado es 2,5 veces el consumo promedio de una vivienda perteneciente al sector residencial, siendo el servicio gastronómico el que mayor incidencia posee atendiendo a las cargas significativas que plantean los equipos que en estos se utilizan (hornos, split, neveras y refrigeradores).
4. El estudio de prefactibilidad demuestra las particularidades del uso del sistema solar fotovoltaico; es factible para los tres restaurantes realizar la inversión propuesta por La India, recuperando la inversión en 2,5 y 5,5 años, sin embargo la propuesta de COPEXTEL no es la más recomendada pues el VAN es menor que el costo de inversión.
5. El análisis ambiental demuestra la factibilidad del proyecto destacando el ahorro de combustible y evitando la emisión de 37,37 toneladas de CO₂ al año hacia la atmósfera.

RECOMENDACIONES





Recomendaciones.

1. En correspondencia con la estrategia nacional y el uso y desarrollo de las FRE continuar analizando la factibilidad de utilización de esta fuente renovable de energía y otras en correspondencia con las potencialidades en el territorio, en particular para el sector privado. Para continuar con la utilización de la energía solar en particular se deberá atender los siguientes aspectos:
 - posibilidades para disminuir el costo de la instalación o de financiamiento.
 - cálculos de resistencia mecánica de cubierta de edificaciones a solicitudes de cargas de sistemas fotovoltaicos.
 - estudios para la incorporación de calentadores solares al sector privado como parte de la propuesta del uso de energía solar.
2. Perfeccionar el registro de la información sobre todos los establecimientos privados de la provincia entre diferentes instituciones involucradas en el tema -Ministerio del trabajo y seguridad social, la Oficina nacional de administración tributaria (ONAT) y la Empresa Eléctrica

BIBLIOGRAFÍA





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. *ReserchGate*.
- Alvarez, R. (2018). *Estudio de variantes para estructuras soportes de paneles solares en la CUJAE*. Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”].
- Aureliano, G. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio municipio de Cienfuegos, Consejos Populares Buena Vista, Tulipán y La Barrera*. [Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos].
- Autosolar. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica>
- Ávila, F. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio municipio de Cienfuegos, Consejos Populares Caonao, Pepito Tey y Guaos*. [Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos].
- Banyeres, L. J. (2019). *Generación de energía solar fotovoltaica*. Marcombo.
- Barón Cangrejo, D. A., y Amaya Hernández, C. E. (2020). Diseño de un sistema solar fotovoltaico para suplir la iluminación en vallas publicitarias de la empresa Efectimedios SA.
- Barón, D. A., y Amaya, C. E. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico para suplir la iluminación en vallas publicitarias de la empresa Efectimedios SA* Universidad Distrital Francisco José De Caldas].
- 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*.
- Benito, G., y Ruiz, K. (2018). *Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio*, Meta UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS].
- Berrío, L., y Zuluaga, C. (2014). Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: unarevisión en el contexto energético mundial. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 369-396.
- Bjork, I., Connors, C., Welch, T., Shaw, D., y Hewitt, W. (2014). *PROMOVIENDO EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES*. www.naruc.org/international



- Buenaventura, M., Fierro, Y., y Segura, C. D. (2019). *Evaluación del potencial energético, solar fotovoltaico de las cubiertas de los edificios de la sede ciencia de la salud de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio* Universidad Cooperativa de Colombia].
- Calderón, M. (2019). Sistemas Solares Fotovoltaicos para autoconsumo. *Revista científica Ingeniería y Ciencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar*, 2(16).
- Campillo. (2018). *Diagnóstico energético al municipio de Cienfuegos* [Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos].
- Cantero, A. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio Consejos Populares San Lázaro, Centro Histórico y Reina*. Universidad de Cienfuegos].
- Carbonell, M. (2020). *Precios y costes de paneles fotovoltaicos* <https://Coste paneles fotovoltaicos 2020.htm>
- Carratalá, P., y Sales, E. (2017). Herramientas de soporte para instalaciones fotovoltaicas. *Universitat Juame*.
- CEEMA. (2020). Potencialidades de generación fotovoltaica en cubiertas de naves de la Empresa de Tecnología de Avanzada de la Construcción, MICALUM Cienfuegos.
- CEPAL. (2013). *Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe* (CAF, Ed.).
- CEPAL. (2020). Estrategia Energética Sustentable 2030 de los países del SICA. *Sistema de Integración centroamericana*. www.cepal.org/es/publications
- Cerdá, D. (2020). *Diseño de la instalación eléctrica para una electrolinera con aporte de energía solar fotovoltaica* Universidad Politecnica de Valencia].
- Chivelet, N. M. (2011). Los módulos fotovoltaicos en la edificación: posibilidades y directrices de diseño. *Técnica industrial*(296), 26-35.
- Gaceta Oficial Ordinaria de la República de Cuba, (2012).
- Construcción, M. d. I. (1978). *Sistema Constructivo Girón. Especificaciones Técnicas*. CEDITEC.
- Cornejo, H. (2014). Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura. *Repositorio Institucional Pirhua*.
- Cortés, C. L. C., Gómez, G. S. G., Londoño, F. B., Quintero, S. X. C., y González, N. G. (2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales. *TecnoLógicas*, 23(47),



1-21.

Contrato de servicios—cuentas asociadas a tarjetas red para colaboradores, (2011).

Tasas de Interés activas para créditos de pesos cubanos aplicables a personas naturales y jurídicas, (2012).

Cubadebate. (2019). Cuba impulsa parques solares para elevar cuota de energía renovable. *Cubadebate*.

https://Anuncian_nuevas_medida_para_el_trabajo_por_cuenta_propia_en_Cuba%20%200_Cubadebate.htm#.XLX9a9jB_IU

CUBADEBATE. (2020). Modifican tarifas eléctricas para el sector residencial y precios del gas licuado de petróleo. *Cubadebate*.

<https://ModificantarifaseléctricasparaelsectorresidencialypreciosdelgaslicuadodepetróleoCubadebate.htm>

Cubahora. (2019). Energía renovable: presente y futuro del desarrollo sostenible. *CUBAHORA*.
de las Heras León, M. (2018). *Mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. ENAE0108. IC Editorial.

Dután, G. R. (2019). Impacto sobre las protecciones eléctricas al instalar sistemas solares fotovoltaicos en una red de distribución con nivel de potencia de 0.460 KWp. *Universidad católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8247>

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].

Espinosa, M., Céspedes, A., y Doval, Y. (2020). La Agenda 2030, las estrategias energéticas en España y Cuba. Calidad de vida de los adultos mayores. *Novedades en Población*, 66-81.

Europe, S. P. (2019). Global Market Outlook For Solar Power 2019–2023. *Solar Power Europe, Brussels, Belgium, Tech. Rep.*

Europe, S. P. (2020). Global Market Outlook For Solar Power 2020–2024. *Solar Power Europe, Brussels, Belgium, Tech. Rep.*

Extremera, D. (2019). Cuba: Entran en vigor nuevas normas jurídicas para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía. *Cubadebate*.
<https://ModificantarifaseléctricasparaelsectorresidencialypreciosdelgaslicuadodepetróleoCubadebate.htm>



- Fernández, L. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio municipio de Cienfuegos, Consejos Populares Pastorita, Pueblo Griffo y Paraíso*. [Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos].
- Finalé, P. (2019). Costos de sistemas solares fotovoltaicos. Cienfuegos: COPEXTEL S.A.
- Flores, R. (2015). *Tipos de energía solar*. Cosas de tecnología. <https://www.tecnocosas.es/tipos-energia-solar/>
- Fuertes, A. (2019). *Dimensionamiento de una instalación de energía solar fotovoltaica en un instituto de educación secundaria* Universitat Politècnica de València].
- García. (2016). *Diagnóstico del mercado de paneles solares en Cuba*. <https://www.gestiopolis.com/diagnostico-del-mercado-paneles-solares-cuba/>
- García. (2019). *Implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red en la empresa INPUD* Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas].
- García. (2019). La energía que renueva a Cuba. *Granma*.
- Gómez, A. (2020). *Metodología e implementación de detección de falla para un sistema fotovoltaico basado en datos* Uniandes].
- 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. Facultad de Ingeniería ...].
- González, D. (2016). *Análisis para la conexión de PSFV de Rodas y otros propuestos a la red de la barra de Yaguaramas* [Tesis de Grado, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas].
- Granma. (2019). Hospital santiaguero posee mayor parque fotovoltaico sobre cubierta de Cuba. *Granma*.
- Guerrero, J. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (S. A. EDITORIAL SÍNTESIS, Ed.).
- Guzmán, M., Soto, C. R., Águila, I., y Torres, J. M. (2017). Procedimiento para instalación de un sistema fotovoltaico sobre techos en la corporación cuba ron sa. *Centro azúcar*, 44(1), 70-81.
- Hernández, C., Monteagudo, J., Dala, H., y Jiménez, R. (2020). Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en hotel universitario de posgrado en la Universidad de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*.
- IRENA. (2015). *Renewable Cost Database* <https://www.irena.org/costs>
- IRENA. (2017). *Almacenamiento de electricidad y energías renovables: costos y mercados hasta 2030*. <https://Almacenamientodeelectricidadyenergíasrenovablescostosymercadoshasta2030.h>



tm

- 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). *Renewable power generation costs in 2019*
- IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*.
<https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
- Labrador, L. (2018). Cuba apuesta por el cambio en su matriz energética. *Granma*.
- Laino, L. D. (2008). Un Análisis de la Política Energética en Cuba. *Población y Desarrollo*(35), 45-62.
- Looney, B. (2020). *Full report–BP statistical review of world energy 2020*. BP plc, London.
- López. (2009). *Guía de integración solar fotovoltaica*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- López, Puente, R., Bon, R., y Moller, J. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca* [Tesis de Maestría, Chihuahua].
- López, H., Puente, R., Bon, R., y Moller, J. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca*. Chihuahua.
- López, J. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red en la Empresa Viettel Perú SAC ubicado en Trujillo-La Libertad* UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”].
- López, W. G. (2018). *Diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito* Quito].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20127>
- Marin, D. (2018). *Integración arquitectónica de sistemas solares activos y pasivos en edificios industriales. Caso estudio Cuenca - Ecuador* [Trabajo previo a la obtención del título de Arquitecto, Universidad De Cuenca].
- Marin, I., Whitmarsh, A., Calderón, I., Taboas, A., y Gutierrez, I. (1986). *Sistema Constructivo Girón*. La Habana: Centro de Información de la Construcción.
- Marín, L. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo y mejora del rendimiento de una instalación de energía solar para producción de ACS*.
- Menéndez, M. (2020). *Cuba en el camino de renovar su matriz energética*.
<https://Cubaenelcaminoderenovarsumatrizenergética-Cuba-Opciones->



- SemanarioeconómicoyfinancierodeCuba.htm
- Mesones, P. F. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante "El zarco" ubicado en la ciudad de Cajamarca* UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"].
- MFP. (2021). Se exonera del pago de arancel la importación sin carácter comercial de sistemas fotovoltaicos por personas naturales. *Ministerio de Finanzas y Precios*.
- MINEM. (2019). *Energías Renovables*. Retrieved from <https://www.minem.gob.cu/>.
- Montero, J. (2016). *Arquitectura y energía fotovoltaica. Integración arquitectónica de la energía fotovoltaica* [Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid].
- Morales, C. H., Yanes, J. P. M., Dala, H. E., y Borges, R. J. (2020). Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en Hotel Universitario de Posgrado en la Universidad de Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 12(6), 163-169.
- Mosquera, P. (2021). El 39% de la potencia instalada en 2020 en todo el mundo tiene al sol como protagonista. *Renewable energy magazine*. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-39-de-la-potencia-instalada-en-20210723>
- Muñoz, E. (2017). *Energía solar. São Paulo*.
- Nación, P., y Morrone, A. (2019). *Energía solar fotovoltaica*.
- Nápoles, O. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio municipio de Cienfuegos, Consejos Populares Gloria, Juanita I y Juanita II* [Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos].
- Navarro, S., y Romero, E. (2020). *Simulación y análisis energético de sistemas solares fotovoltaicos para generación distribuida en el Distrito Metropolitano de Quito* Universidad de Quito].
- NC 283: 2003. DENSIDAD DE MATERIALES NATURALES, ARTIFICIALES Y DE ELEMENTOS DE CONSTRUCCION COMO CARGA DE DISEÑO. ONN, La Habana, Cuba.
- Newsolar. (2018). *Proyectos Solares Fotovoltaicos conectados a la red. (On Grid)*. <https://newsolar.cl/proyectos-solares-fotovoltaicos-conectados-a-la-red/>
- OBRERO, J. (2011). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. McGraw-Hill, <http://www.mcgrawhill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Obrero, J. (2011). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. In. McGraw-Hill, <http://www.mcgrawhill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Ochoa, L. (2018). *Diseño preliminar de un sistema solar fotovoltaico conectado a la*



- red(SFVCR) para la Base de Aseguramiento del Banco Popular de Ahorro (BPA) de la provincia de Cienfuegos* [Tesis de grado, Universidad de Cienfuegos].
- ONEI. (2016). Electricidad en Cuba indicadores seleccionados. Oficina Nacional de estadística e Información.
- ONEI. (2017). Electricidad en Cuba indicadores seleccionados. Oficina Nacional de estadística e Información.
- ONEI. (2018). Electricidad en Cuba indicadores seleccionados. Oficina Nacional de estadística e Información.
- ONEI. (2019). Electricidad en Cuba indicadores seleccionados. Oficina Nacional de estadística e Información.
- ONEI. (2020). Electricidad en Cuba indicadores seleccionados. Oficina Nacional de estadística e Información.
- Ortiz, J. D. (2013). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, 7(1), 103-117.
- Palacios, S. (2019). Análisis de las ventajas competitivas del uso de energía solar fotovoltaica en el proceso educativo de la IE Cristo Rey–Talara–2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49243>
- Parrado, C. (2019). *Procedimiento para la mejora de la calidad de los servicios gastronómicos en restaurantes del sector no estatal* Universidad de Cienfuegos]. Cuba.
- Pérez, P. (2013). *Instalación fotovoltaica en nave industrial para autoconsumo conectada a la red eléctrica* Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia: UPC].
- Perpiñán, O. (2018). Energía solar fotovoltaica. *Online*]. Disponible en <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>. [Accedida: 10-Aug-2018].
- PNUD. (2019). Fuentes Renovables de Energía como apoyo al Desarrollo Local (FRE-DL). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Universidad de Sancti Spíritus (UNISS).
- Potosinos, U. (2019). Energía solar fotovoltaica. *revupotosinos Universitarios Potosinos*, 25.
- Radiorebelde. (2019). Zona Especial de Desarrollo Mariel estimula empleo de energías renovables. *RadioRebelde*. <https://www.radiorebelde.cu/boletin/zona-especial-desarrollo-mariel-estimula-empleo-energias-renovables-20190620/>
- Ramírez, E. B. R., Siabato, A. I. B., y Orduz, M. G. (2017). Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia. *RIAA*, 8(1), 239-248.
- Ramos, G. (2021). Cuba aprueba importación de sistemas fotovoltaicos por personas naturales.



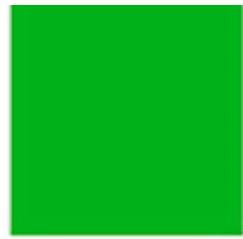
Granma.

- Ribeiro, J. (2015). *Integración de sistemas fotovoltaicos en edificios de oficinas en bajas latitudes: estudio del balance energético aplicado a Brasil* [Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid].
- Rodríguez. (2002). Evolución y cambios en el Sector Energético de Cuba en los años noventa. *Revista Momento Económico*(121).
- Rodríguez. (2019). *Integración de las potencialidades energéticas al desarrollo local del municipio de Cienfuegos* [Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos].
- Rodríguez, M., Vázquez, A., Vilaragout, M., Sarmiento, A., Díaz, R., Santos, A., y Sánchez, G. (2012). Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de FV conectados a la red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos. *Informe Técnico, Archivo de datos digitales del CIPEL*, 35-36.
- Rodríguez, S. (2016). *Procedimiento para el diagnóstico energético en los municipios. Caso de estudio en el municipio de Cienfuegos, consejos populares de Punta Gorda y Junco Sur.* [Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos].
- Rodríguez, S. (2019). *Integración de las potencialidades energéticas al desarrollo local del municipio de Cienfuegos* [Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos].
- Romero, A. (2020). *Diseño de una instalación de energía solar fotovoltaica de conexión a red para cuina M® en Valencia* Universidad de Valencia].
- Sabogal, C. C., y León, E. (2018). *Estudio de factibilidad para implementar proyectos para generación solar fotovoltaica en pequeñas empresas colombianas con el fin de acceder a los beneficios de la Ley 1715 de 2014* Universidad Distrital Francisco José De Calda].
- Santacruz, J. (2017). Análisis de inversión basado en indicadores de evaluación VAN y TIR y aplicación del sistema de amortización francesa.
- Santos, R. D., Gerard, H., Fernández, M. C., y Acosta, B. (2012). 'Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica, Su Diseño. presentado en II Congreso Cubano de Ingeniería Eléctrica, La Habana, Cuba,
- Solar, E. (2020). *Energía Solar. Acceso em*, 15(03).
- Solar, E. (2020). *Solar Cells Manufacturers Directory*. <https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/35317>
- Solar, M. (2010). Guía de Integración Solar Fotovoltaica. *MadridSolar*. www.madrid.org
- Solargis. (2018). Map, Global Horizontal Irradiation.
- Stapleton, G., y Neill, S. (2012). *Grid-connected solar electric systems: the earthscan expert handbook for planning, design and installation*. Routledge.



- Stolik, D. (2014). La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba. *Economía y Desarrollo*, 152(2), 69-86.
- Stolik, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba* (Cubasolar, Ed.).
- Stolik, D. (2021). VIGILANCIA TENOLOGICA FV 11.
- SYSTEMS, C. R. T. (2020). *Sistema solar fotovoltaico en techo*. <https://www.crtsgroup.com/es/>
- Tarazona, Y. (2020). Estudio de Viabilidad de un Sistema Solar Fotovoltaico que Genera Electricidad Para dar Iluminación a las Viviendas Rurales del Municipio de El Playón. *Universidad de Santander*. <https://udes-dspace.metabiblioteca.com/handle/001/4866>
- Torres Casas, J. D. (2019). *Planificación solar urbana y diseño de sistemas solares fotovoltaico en viviendas de la provincia de Ferreñafe, para satisfacer la creciente demanda eléctrica UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"]*.
- TradingEconomic. (2020). *Cuba - Tasa de inflación*. <https://es.tradingeconomics.com/cuba/inflation-cpi>.
- UNE. (2020). A partir del primero de enero se aplicará nueva tarifa a la factura eléctrica en el sector residencial. <https://www.facebook.com/Empresa-El%C3%A9ctrica-Holgu%C3%ADn-371456596632965>
- Uzquiano, C., Sullivan, M., y Sandy, X. (2015). *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las Comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*.
- Vallejo, D., Dávila, R., Soria, R., y Ordóñez, F. (2020). Evaluación del potencial técnico y económico de la tecnología solar fotovoltaica para la microgeneración eléctrica en el sector residencial del Distrito Metropolitano de Quito. *Revista Técnica" energía"*, 17(1), 80-91.
- Vargas, J., y Ortega, J. (2020). Evaluación técnico ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico. *Publicaciones e Investigación*, 14(1), 1-16.
- Veloz, G. (2020). Con uso de paneles fotovoltaicos en los sectores residencial y estatal, Holguín incrementará la generación de electricidad *Granma*.
- Yilén, C. (2019). Fuentes de energía renovables : más desarrollo, más eficiencia. *CUBAHORA*.

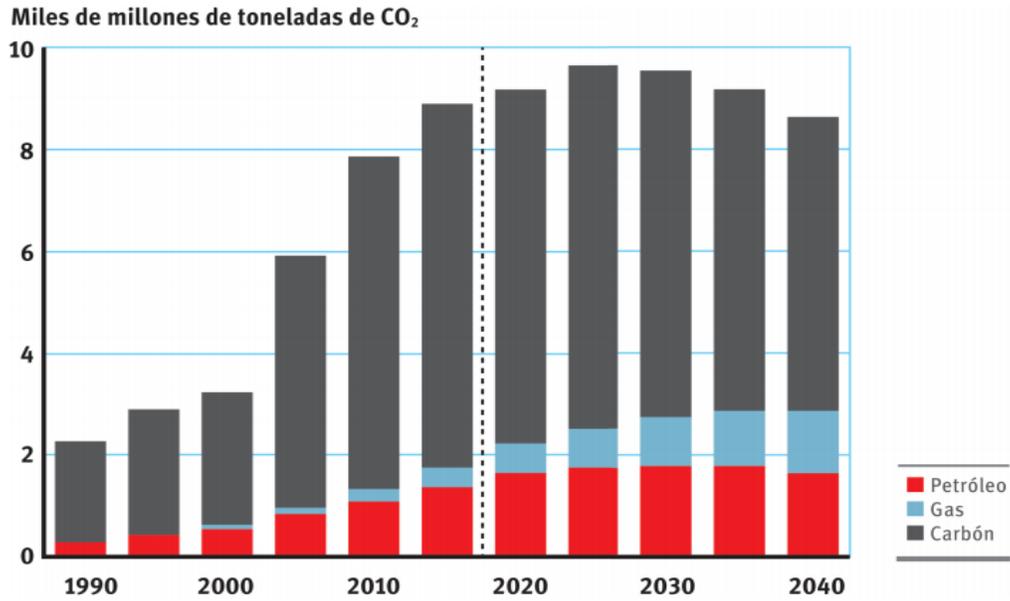
ANEXOS





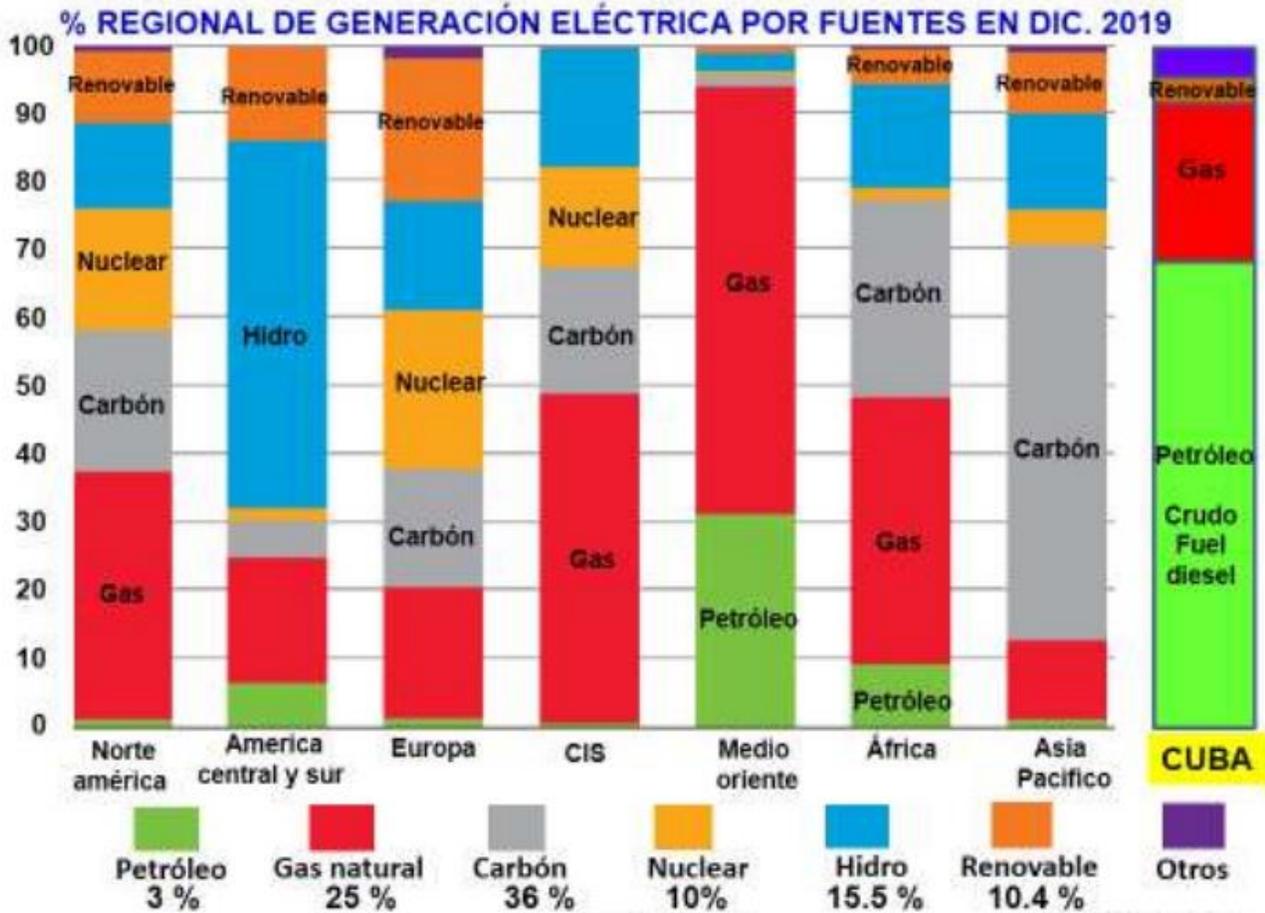
Anexos

Anexo 1: Evolución y pronóstico de las emisiones fósiles de CO₂ (1990-2040). Fuente: (Stolik, 2019).





Anexo 2: Energía producida en las diferentes regiones del mundo a partir de diferentes fuentes. Fuente: (Stolik, 2021)



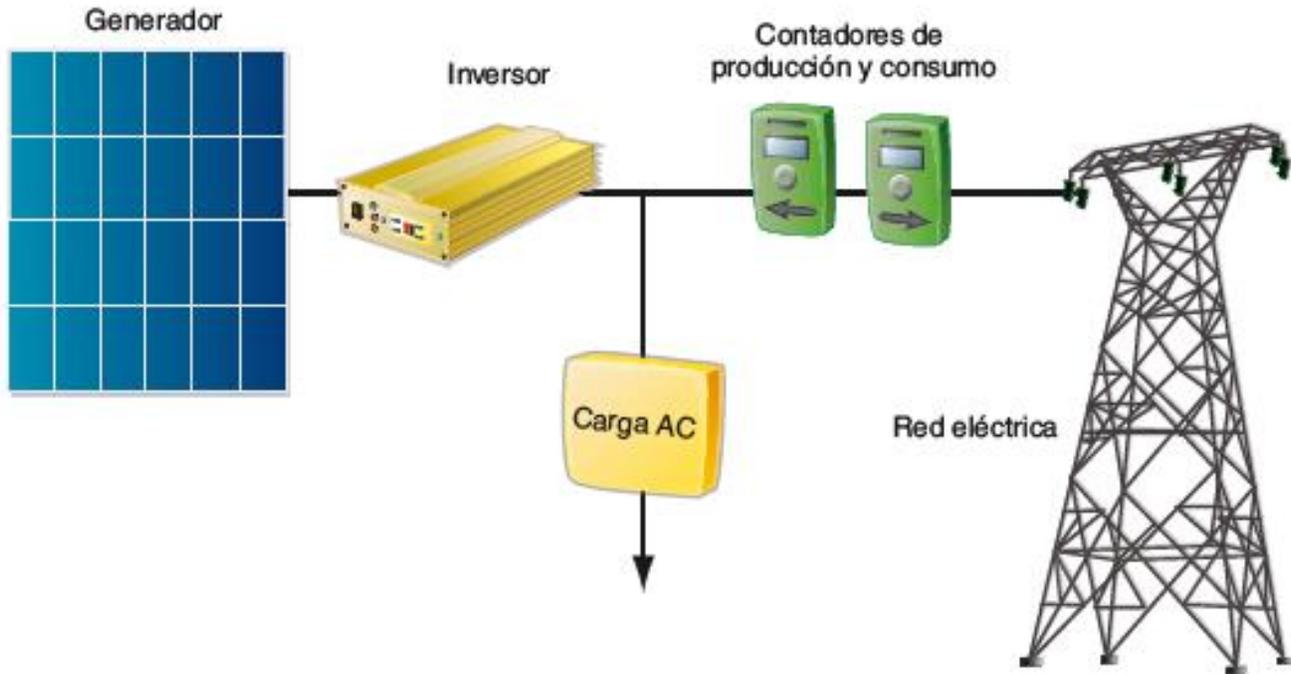


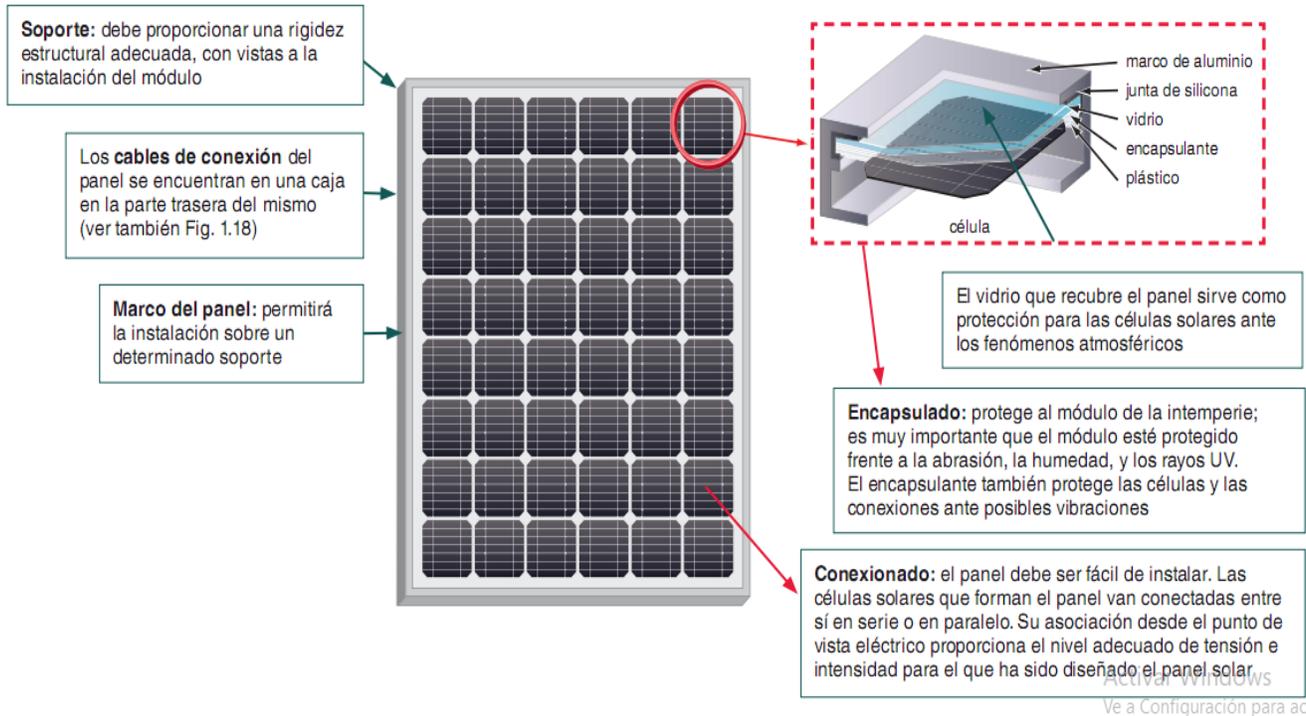
Anexo 3: Sistema Solar Fotovoltaico Aislado. Fuente: (Obrero, 2011)





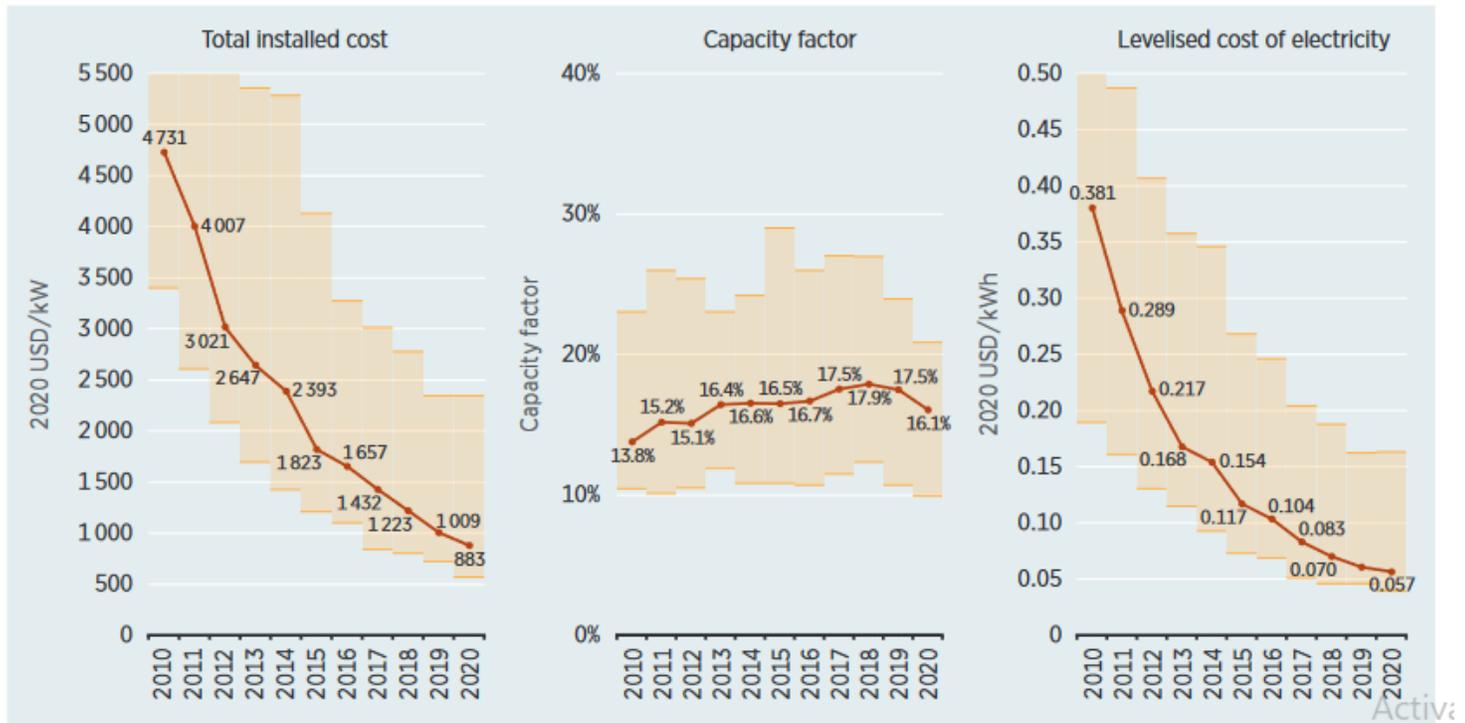
Anexo 4: Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red. Fuente: (Obrero, 2011)



**Anexo 5: Constitución de un módulo fotovoltaico. Fuente: (Obrero, 2011)**

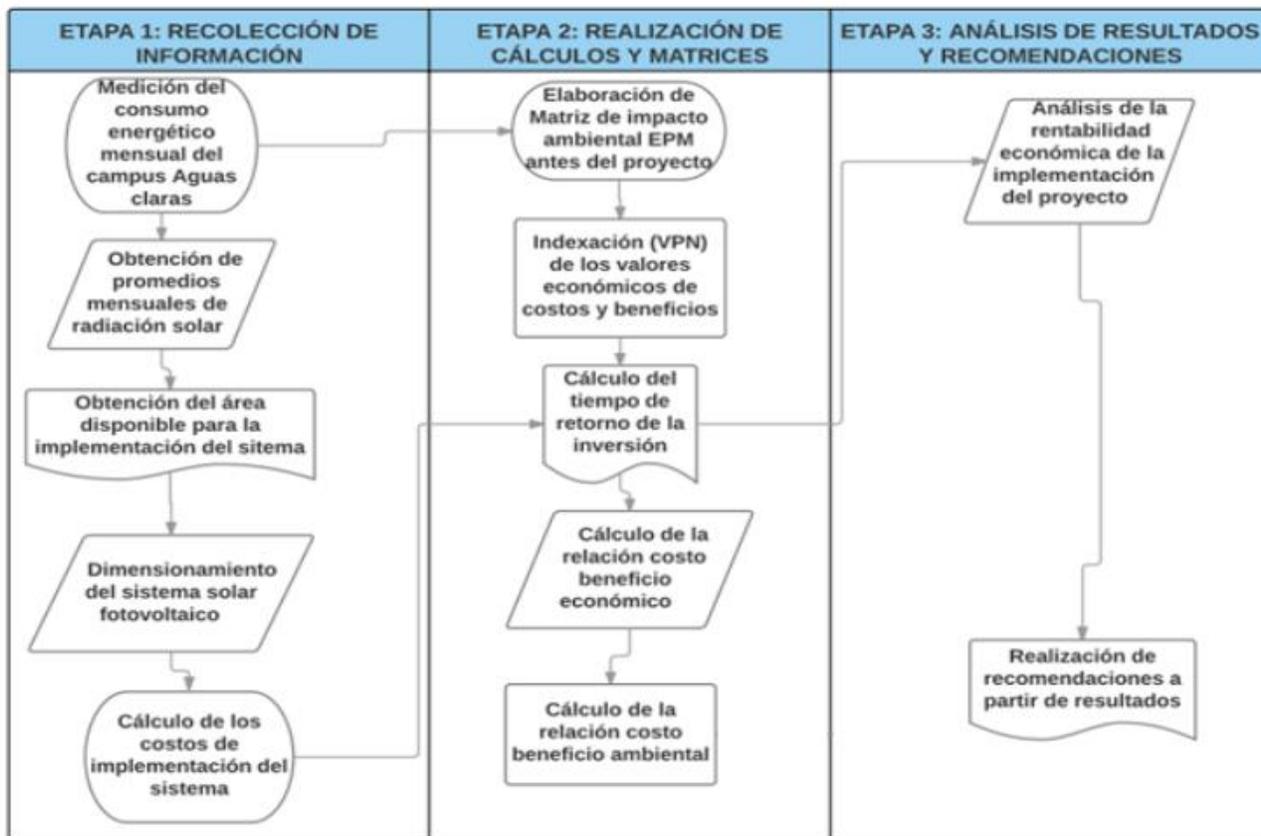


Anexo 6: Promedio ponderado global de costos totales de instalación, factores de capacidad y costo nivelado de electricidad para fotovoltaica, 2010-2020. Fuente: (IRENA, 2021).





Anexo 7: Ruta metodológica para el cálculo de un SSFV. Fuente: (Benito y Ruiz, 2018)





Anexo 8: Pasos para el diseño de un SSFV. Fuente: (Ochoa, 2018)

Para el diseño del sistema se desarrollan los siguientes pasos

- 1. Cálculo del generador fotovoltaico**
- 2. Orientación de los paneles.**
- 3. Inclinação de los paneles.**
- 4. Distancia mínima entre filas de módulos**
- 5. Determinación del número de paneles a montar en el techo del almacén**
- 6. Capacidad de generación**
- 7. Generación de electricidad anual**
- 8. Selección del inversor**



Anexo 9: Pasos a seguir para el diseño del SSFV. Fuente: Elaboración propia a partir de Becerra (2019).

- Selección del módulo fotovoltaico
- Determinación de la inclinación y orientación de los paneles
- Cálculo de la distancia mínima entre paneles
- Cálculo del número máximo teórico de paneles
- Cálculo de la energía generada
- Cálculo de la potencia instalada
- Determinación de la disposición de potencia /área
- Selección del inversor
- Determinación del número de inversores
- Comprobación de cálculo manual mediante simulación de Software
- Análisis de costo



Anexo 10: Secuencia de cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico. Fuente: (Hernández et al., 2020)

N°	Parámetro (Unidad)	Ecuación	Observaciones.
1	Selección del panel fotovoltaico.	(sin ecuación) s/e	Recomendación del fabricante en Cuba.
2	Angulo de inclinación del panel (β)	s/e	El ángulo (β)=Latitud del lugar. Para Cienfuegos $\beta=22^\circ$. La Unión Eléctrica en Cuba considera $\beta=15^\circ$.
3	Cálculo de la componente de la altura (h) del panel (m)	$h = L * \text{sen } \beta$	
4	Cálculo de la distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo medido horizontalmente. (b) (m).	$b = L * \text{cos } \beta$	
5	Cálculo del ángulo de incidencia del rayo solar respecto a tierra (θ) (Grados)	$\theta = 180 - 90 - \beta$	
6	Cálculo distancia entre borde superior panel anterior y borde inferior panel posterior (a) (m)	$a = h / \text{tg. } \theta$	Se toma igual a 0,5m para que sirva de pasillo para limpieza y mantenimiento.
7	Cálculo de la distancia mínima entre paneles (d_{min}) (m)	$d_{\text{min}} = a + b$	Se considerará $d_{\text{min}} = 2,00$ m para el montaje del sistema
8	Cálculo del número máximo de filas de paneles	$\# \text{ máx. filas} = \text{Ancho del edificio} / \text{Distancia entre paneles.}$	Se decide colocar 3 filas de paneles.
9	N°. Máximo de paneles por filas.	$\# \text{ máx. paneles por filas} = \text{long. edif.} / \text{ancho del panel.}$	Se limitan a 40 paneles por fila.
10	Número máx. de paneles en la edificación. (N° máx. de paneles)	$N^\circ \text{ máx. paneles} = N^\circ \text{ de filas} * N^\circ \text{ de paneles por filas}$	
11	Cálculo de la energía generada. (Eu.) Energía útil generada (kWh/día)	$Eu = 0,654 * HSP * P_n * N$	Dónde: Eu. - Energía útil generada (kWh/día); 0,654. Factor que toma en cuenta rendimientos y suciedad; HSP. - Hora Solar Pico de la región. (Para Cienfuegos es 5,6) P_n . - Potencia nominal del panel FV. (kW/panel) N.- Número de paneles.
12	Cálculo de la potencia instalada. (P_{inst}) (KWp)	$P_{\text{inst}} = N * (P_n / 1000)$	
13	Disposición (Area/Potencia) (m^2/kW)	$A / Pot = \text{Area Edif.} / Pot. \text{ Instalada}$	(Ver tabla 3)
14	Cálculo del número de inversores.	$N^\circ \text{ de Inversores} = Pot. \text{ Demandada} / Pot. \text{ Inversor}$	Se decide incluir dos inversores del tipo Sunny Tripower 25000TL. Ver figura 3 y características técnicas en el anexo 1.



Anexo 11: Metodología para el cálculo de un SSFV. Fuente: (Correia, 2020)

Metodología de cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)

Para el cálculo, diseño e instalación del sistema fotovoltaico se requiere seguir una serie de pasos, los cuales nombraremos y explicaremos en qué consisten:

1. Determinación de la carga instalada y energía consumida;
2. Selección del módulo fotovoltaico e inversor;
3. Definición del área adecuado para la instalación;
4. Cálculo de orientación, inclinación, sombras y distancias entre paneles;
5. Determinación de la cantidad de paneles y del número de inversores;
6. Selección de baterías (en el caso sistema autónomo);
7. Cableado
8. Instalación de paneles fotovoltaicos (Anclaje).



Anexo 12: Comparación entre metodologías para el cálculo de un SSFV. Fuente: Elaboración propia

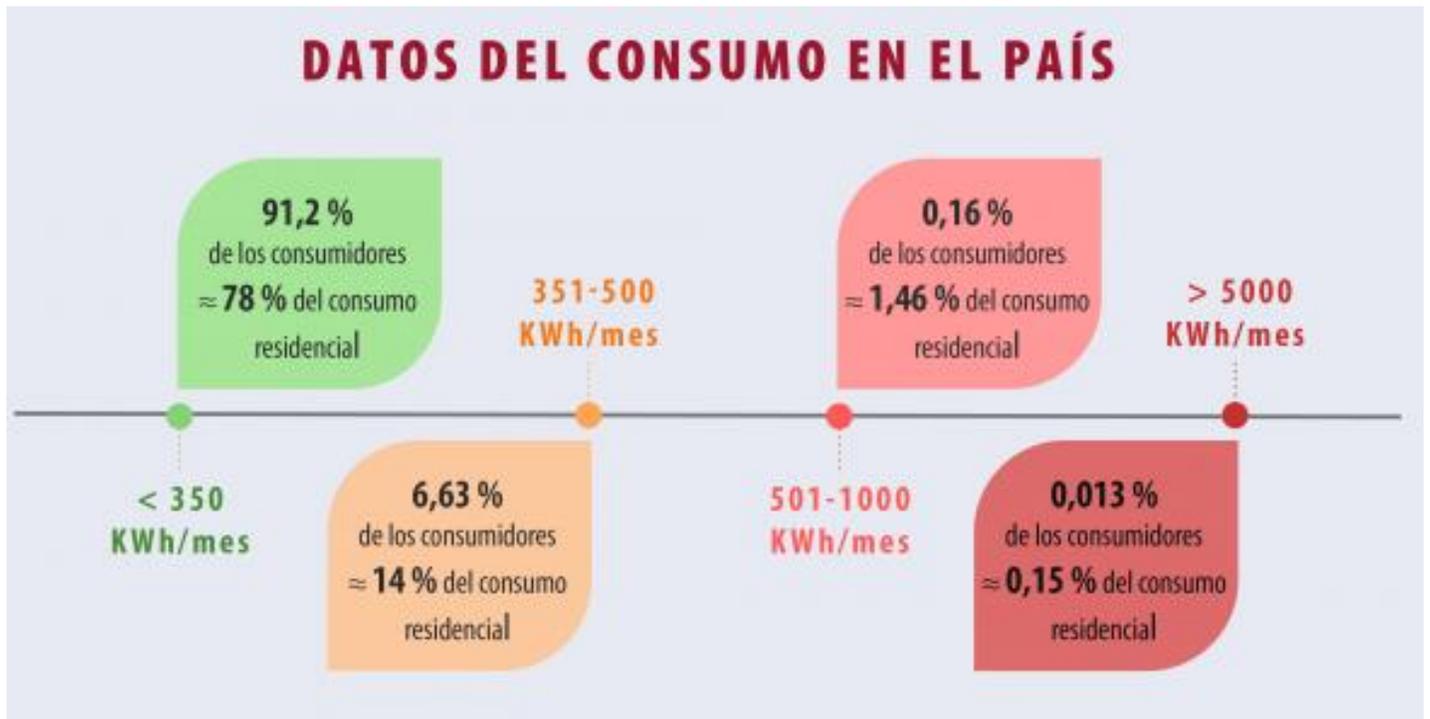
	(Ayora, 2003)	(Benito y Ruiz, 2018)	(Ochoa, 2018)	(Becerra , 2019)	(Hernán dez et al., 2020)	(Correia , 2020)
Cálculo de generación	x		x			
Cálculo de acumulación	x					
Cálculo de regulación	x					
Medir consumo		x				x
Obtener promedios de radiación		x				
Obtener área disponible		x				x
Seleccionar panel fotovoltaico				x	x	x
Dimensionar SSFV		x				
Orientación de paneles			x	x	x	x
Inclinación de paneles			x		x	x
Distancia mínima entre filas			x	x	x	
Comprobación de distancias				x		
Determinar número de paneles			x	x	x	x
Capacidad de generación			x	x	x	
Calculo de la potencia instalada				x	x	
Seleccionar inversor			x	x		x
Determinar número de inversores				x	x	x
Determinar relación potencia área				x	x	
Cálculos de costos de implementación		x	x	x		
Elaborar matriz de impacto ambiental		x				
Valores económicos costo-beneficio		x		x		
Calculo de PRI		x				
Relación costo-beneficio ambiental		x				



Análisis de rentabilidad		x		x		
Realizar recomendaciones		x				
Seleccionar baterías						x
Cableado						x
Instalación						x



Anexo 13: Comportamiento del sector residencial en Cuba. Fuente: (CUBADEBATE, 2020)





**Anexo 14: Levantamiento de equipos con sus consumos diarios aproximados. Fuente:
Elaboración propia**

Restaurante Big Bang

Area	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo De Uso Diario (H)	Energía Consumida (Kw/D)
Salon	S.Exhibidor 1	1	164	10	1,64
	S.Exhibidor 2	1	250	6	1,5
	S.Ventiladores	6	50	8	2,4
	S.Bombillo Led	11	8	5	0,44
	S.Televisor	2	200	10	4
	S.Batidora	1	250	1	0,25
	S.Nevera	1	150	24	3,6
	S.Cafetera	1	600	1	0,6
	S.Glacear	1	220	24	5,28
	S.Equipo De Musica	1	80	12	0,96
Cocina	C.Microondas	1	800	1	0,8
	C.Bomba De Agua	2	700	2	2,8
	C.Freidora	1	1 100	2	2,2
	C.Lampara	2	40	5	0,4
	C.Batidora	1	250	2	0,5
	C.Calentador	2	110	24	5,28
	C.Olla	1	1 000	1	1
	C.Plancha	1	850	1	0,85
	C refrigeradorA	1	250	24	6
	C refrigeradorB	1	350	24	8,4
C.Sandwichera	1	600	1	0,6	
Baño	B.Lampara	2	40	5	0,4
Dulcería	D.Horno Electrico	1	2 500	12	30



	D.Refrigerador	2	250	24	12
	D.Mezcladora 1	1	325	4	1,3
	D.Mezcladora 2	1	400	2	0,8
	D.Batidora	1	200	2	0,4
	D.Split	1	1 000	10	10
Elaboracion	E.Nevera	1	350	24	8,4
	E.Refrigerador	1	250	24	6
Otras	O.Bombillo Led	6	8	6	0,288
	O.Lampara	2	40	4	0,32
	O.Split	1	1 000	6	6
	O.Tv	1	150	1	0,15
Total					125.558

Restaurante Las Mamparas.

Area	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo De Uso Diario(H)	Energía Consumida (Kw/D)
Salón	S.Ventiladores	6	50	8	2,4
	S.Bombillo Led	8	8	5	0,32
	C.Microondas	1	800	1	8,4
	S.Batidora	1	250	1	0,25
	S.Nevera	1	150	24	3,6
	S.Cafetera	1	600	1	0,6
	S.Glacear	1	300	24	7,2
	S.Equipo De Musica	1	80	12	0,96
	C.Bomba De Agua	2	700	2	2,8
	C.Freidora	1	1100	2	2,2
	C.Lampara	4	40	5	0,8
	C.Batidora	1	250	2	0,5



	C.Refrigerador	3	110	24	7,92
	C.Olla	1	1000	1	1
	C.Plancha	1	850	1	0,85
	C.Sandwichera	1	600	1	0,6
Baño	B.Lampara	2	40	6	0,48
Elaboracion	E.Nevera	1	400	24	9,6
	E.Refrigerador	1	300	24	7,2
Otras	O.Bombillo Led	6	8	6	0,288
	O.Lampara	2	40	4	0,32
	O.Split	1	1000	6	6
	O.Televisor	3	200	14	8,4
	O.Refrigerador	1	110	24	2,64
Total					75,328

Restaurante Doña Nora

Area	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo De Uso Diario(H)	Energía Consumida (Kw/D)
Salón	S,Ventiladores	5	50	8	2
	S,Bombillo Led	10	8	5	0,4
	C,Microondas	1	800	1	2,8
	S,Batidora	2	250	1	0,5
	S,Nevera	1	150	24	3,6
	S,Cafetera	1	600	1	0,6
	S,Glaciar	1	300	24	7,2
	S,Equipo De Musica	1	80	10	0,8
Cocina	C,Bomba De Agua	2	780	2	3,12
	C,Freidora	1	1200	2	2,4
	C,Lampara	4	40	5	0,8
	C,Batidora	1	250	2	0,5



	C,Refrigerador	2	450	24	21,6
	C,Olla	2	1000	1	2
	C,Plancha	1	850	1	0,85
Baño	B,Lampara	2	40	6	0,48
Otras	O,Bombillo Led	5	8	6	0,24
	O,Lampara	4	40	4	0,64
	O,Split	2	1000	6	12
	O,Televisor	1	200	14	2,8
	O,Refrigerador	1	110	24	2,64
Total					67,97



Anexo 15: Mapa de Irradiación global horizontal en Cuba. Fuente: (Solargis, 2018).

MAPA DE RECURSO SOLAR

IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL
CUBA



Este mapa está publicado por el Grupo Banco Mundial, financiado por ESMAP, y preparado por Solargis. Para más información y términos de uso, por favor visite <http://globalciaratlases.info>.



Anexo 16: Características inversor ASP-4-5KHF Aotai Electric de 5kW. Fuente: (ENF Solar, 2020)

String-HF Transformer Isolation

ASP-4/5KHF



Features



Flexible design

Small size, light weight, support manual installation, reduce user installation and maintenance cost.
Multi-communication interface: RS485, CANbus
Convection without fan



Efficient conversion

Max. efficiency is up to 96%; Euro. efficiency is up to 95%
Total current THD <2%
Wide DC voltage input range, max. is up to 550V



Grid friendly

Active and passive anti-islanding protection
Continuously adjustable active power (0-100%) function

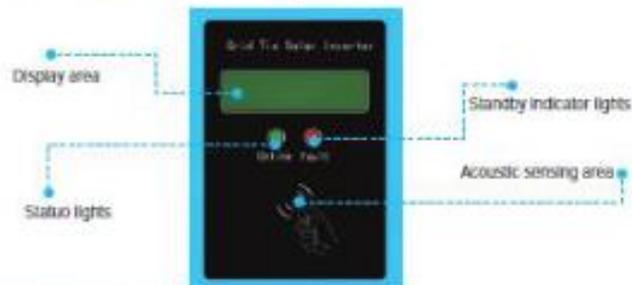
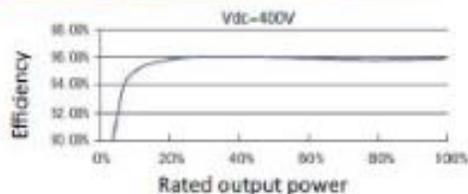


Excellent qualities

CQC Gold Sun Certification, TUV Certification, SAA Certification, CE Certification



Efficiency Curve



Technical Data

Input	4KHF	5KHF
Max. DC input power	4400W	5250W
Max. DC input voltage	600V	
Max. DC input current	16.7A	18.8A
MPPT voltage range	200-550V	
Recommended MPPT operating voltage	400V	
No. of MPPT	1	
Max. no. of strings per MPPT	2	
Output		
Rated output power	4000W	5000W
Max. output power	4.4KVA	5.25KVA
Max. output current	20A	22.8A
Rated grid voltage	230V	
Grid voltage range	180-260V/95	
Rated grid frequency	50Hz/60Hz	
Grid frequency range	47-51.5Hz/57-61.5Hz	
THD	< 2% (Under the rated power)	
Power factor	> 0.99 (Under the rated power)	
DC current injection	< 0.5% (Under the rated power)	

System data	4KHF	5KHF
Max. efficiency		96%
Euro. efficiency		95%
Humidity range		0-95% non-condensing
Cooling type		Air cooling
Temperature range		-25+60°C
Power consumption at night		< 2W
Max. working altitude		2000m
Display		Two line LCD/Two LEDs/ One voice operated switch
Communication Interface		RS485/CAN bus/WIFI (optional)
Mechanical data		
Dimensions (WxHxD)		408x380x160mm
Weight		7.4Kg
Protection class		IP65
Standard		
Grid-connected standard		NB/T32004-2013; GB/T19964-2012
Safety standard		NB/T 32004-2013; IEC 62109-1/2
Electromagnetic compatibility		IEC 61000-6-2/4



Anexo 17: Diagramas de Pérdidas para los caso de estudio. Fuente: Software PVsyst 7.1



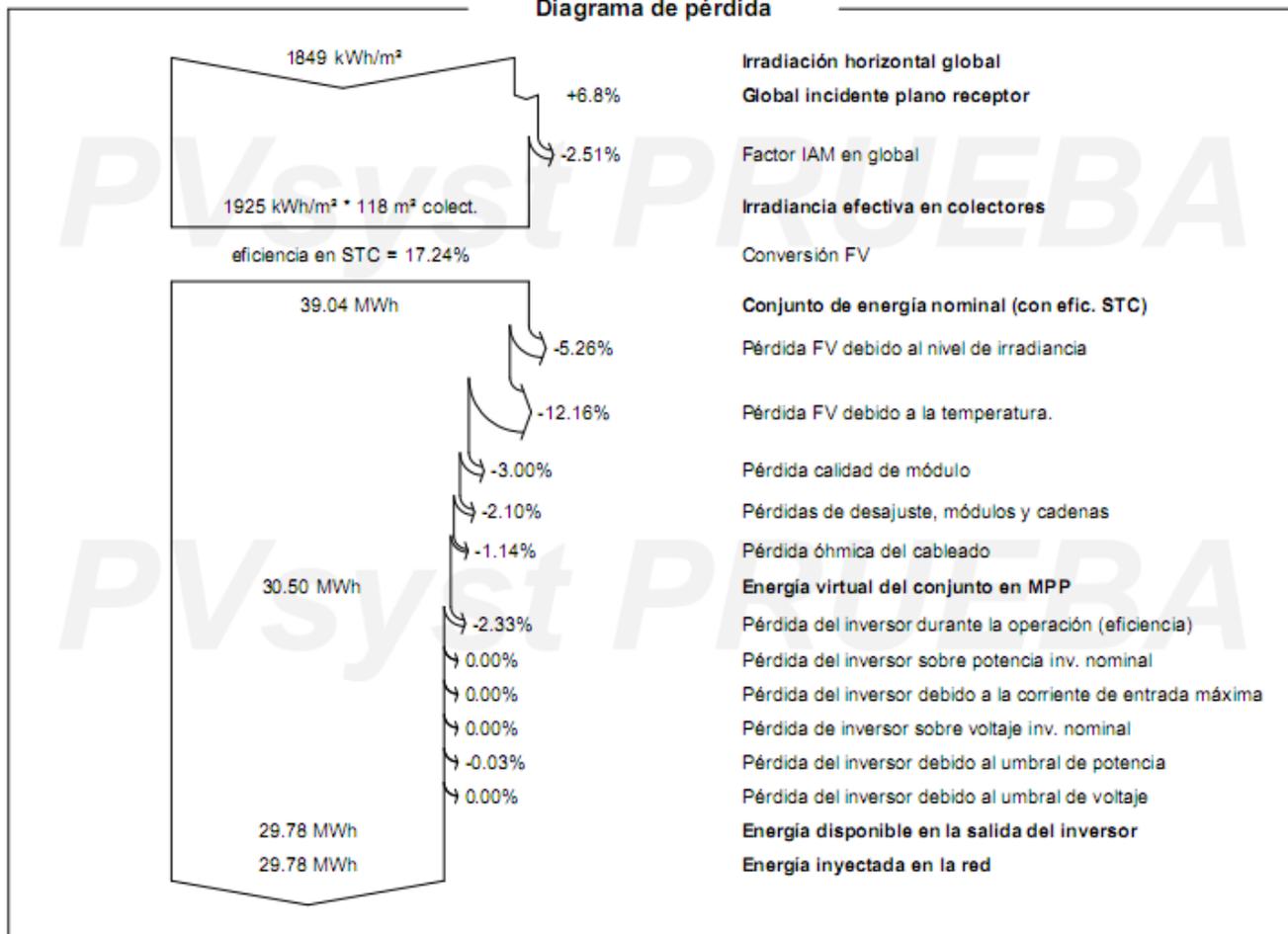
Proyecto: Restaurante Big Bang

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.1.0

Fecha de simulación:
02/12/20 17:53
con v7.1.0

Diagrama de pérdida





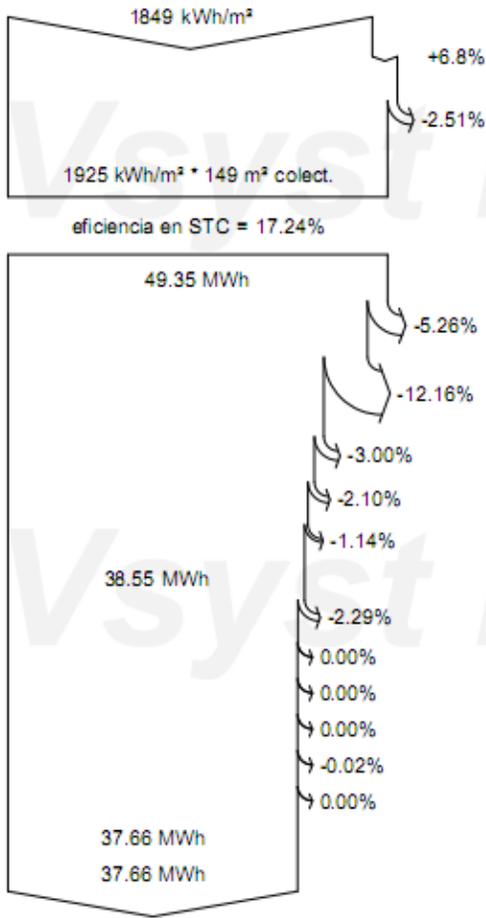
Proyecto: Restaurante Las Mamparas

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.1.0

Fecha de simulación:
02/12/20 18:04
con v7.1.0

Diagrama de pérdida



- Irradiación horizontal global
- Global incidente plano receptor
- Factor IAM en global
- Irradiancia efectiva en colectores
- Conversión FV
- Conjunto de energía nominal (con efíc. STC)
- Pérdida FV debido al nivel de irradiancia
- Pérdida FV debido a la temperatura.
- Pérdida calidad de módulo
- Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas
- Pérdida óhmica del cableado
- Energía virtual del conjunto en MPP
- Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)
- Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal
- Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima
- Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal
- Pérdida del inversor debido al umbral de potencia
- Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje
- Energía disponible en la salida del inversor
- Energía inyectada en la red



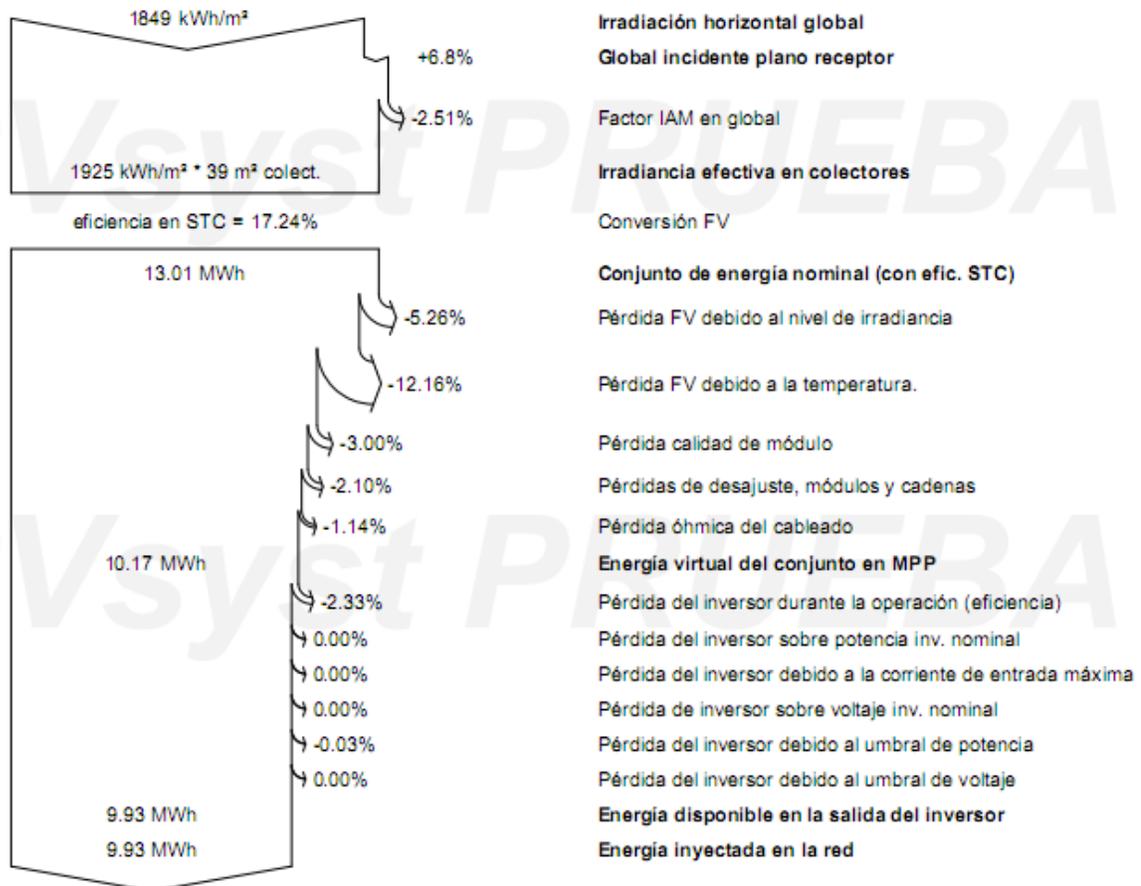
PVsyst V7.1.0

Fecha de simulación:
08/12/20 22:06
con v7.1.0

Proyecto: Restaurante Doña Nora

Variante: Nueva variante de simulación

Diagrama de pérdida





Anexo 18: Cálculos económicos de los SSFV. Fuente: Elaboración propia

PROYECTO DE SSFV BIG BANG - INDIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		5986.67	5986.67	5986.67	5986.67	5986.67
Gastos (G), \$		898.0005	898.0005	898.0005	898.0005	898.0005
Costo inversión (Ko)	-7342.72					
Tasa de descuento (r) , %	7342.72	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f) , %		5	5	5	5	5
Margen de rieSgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		293.7088	293.7088	293.7088	293.7088	293.7088
Flujo de caja (Fc), \$		3410.43326	3410.43326	3410.43326	3410.43326	3410.43326
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		3221.73182	3043.47135	920.97044	870.012562	821.874215
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-7342.72	-4120.9882	-1077.5168	35160.3037	36030.3162	36852.1904
TIR		38%				

PROYECTO SSFV BIG BANG- CANADA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		5986.67	5986.67	5986.67	5986.67	5986.67
Gastos (G), \$		898.0005	898.0005	898.0005	898.0005	898.0005
Costo inversión (Ko)	-15708					
Tasa de descuento (r) , %	15708	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f) , %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		628.32	628.32	628.32	628.32	628.32
Flujo de caja (Fc), \$		3527.54718	3527.54718	3527.54718	3527.54718	3527.54718
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		3332.36575	3147.98384	952.596469	899.888702	850.097289
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-15708	-12375.634	-9227.6504	28254.573	29154.4617	30004.559
TIR		14%				

PROYECTO DE SSFV BIG BANG-RUSIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		5986.67	5986.67	5986.67	5986.67	5986.67
Gastos (G), \$		898.0005	898.0005	898.0005	898.0005	898.0005
Costo inversión (Ko)	-23272.48					
Tasa de descuento (r) , %	23272.48	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f) , %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		930.8992	930.8992	930.8992	930.8992	930.8992
Flujo de caja (Fc), \$		3633.4499	3633.4499	3633.4499	3633.4499	3633.4499
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		3432.40881	3242.49145	981.194968	926.904828	875.618596
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-23272.48	-19840.071	-16597.58	22009.9212	22936.826	23812.4446
TIR		5%				



PROYECTO DE SSFV BIG BANG - CUBA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		5986.67	5986.67	5986.67	5986.67	5986.67
Gastos (G), \$		898.0005	898.0005	898.0005	898.0005	898.0005
Costo inversión (Ko)	-31416					
Tasa de descuento (r), %	31416	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		1256.64	1256.64	1256.64	1256.64	1256.64
Flujo de caja (Fc), \$		3747.45918	3747.45918	3747.45918	3747.45918	3747.45918
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		3540.10988	3344.23336	1011.9826	955.988965	903.093489
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-31416	-27875.89	-24531.657	15287.2585	16243.2475	17146.341
TIR		-2%				

PROYECTO DE SSFV LAS MAMPARAS-INDIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		9112.87	9112.87	9112.87	9112.87	9112.87
Gastos (G), \$		1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305
Costo inversión (Ko)	-10012.8					
Tasa de descuento (r), %	10012.8	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		400.512	400.512	400.512	400.512	400.512
Flujo de caja (Fc), \$		5175.03988	5175.03988	5175.03988	5175.03988	5175.03988
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		4888.70164	4618.20667	1397.49363	1320.16942	1247.12361
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN,	-10012.8	-5124.09836	-505.89169	54481.892	55802.0614	57049.185
TIR		43%				

PROYECTO DE SSFV LAS MAMPARAS - CANADA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		9112.87	9112.87	9112.87	9112.87	9112.87
Gastos (G), \$		1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305
Costo inversión (Ko)	-21420					
Tasa de descuento (r), %	21420	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		856.8	856.8	856.8	856.8	856.8
Flujo de caja (Fc), \$		5334.74068	5334.74068	5334.74068	5334.74068	5334.74068
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		5039.56609	4760.7237	1440.62003	1360.90961	1285.60962
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN,	-21420	-16380.434	-11619.71	45064.9866	46425.8962	47711.5058
TIR		0.17043064				



PROYECTO DE SSFV LAS MAMPARAS - RUSIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		9112.87	9112.87	9112.87	9112.87	9112.87
Gastos (G), \$		1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305
Costo inversión (Ko)	-31735.2					
Tasa de descuento (r) , %	31735.2	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		1269.408	1269.408	1269.408	1269.408	1269.408
Flujo de caja (Fc), \$		5479.15348	5479.15348	5479.15348	5479.15348	5479.15348
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		5175.98844	4889.59771	1479.61799	1397.74979	1320.4114
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-31735.2	-26559.212	-21669.614	36549.5522	37947.302	39267.7134
TIR		8%				

PROYECTO DE SSFV LAS MAMPARAS- CUBA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		9112.87	9112.87	9112.87	9112.87	9112.87
Gastos (G), \$		1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305	1366.9305
Costo inversión (Ko)	-42840					
Tasa de descuento (r) , %	42840	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riego, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		1713.6	1713.6	1713.6	1713.6	1713.6
Flujo de caja (Fc), \$		5634.62068	5634.62068	5634.62068	5634.62068	5634.62068
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		5322.85354	5028.33668	1521.60113	1437.40997	1357.87717
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-42840	-37517.146	-32488.81	27382.285	28819.6949	30177.5721
TIR		1%				

PROYECTO DE SSFV DOÑA NORA - INDIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		1026.52	1026.52	1026.52	1026.52	1026.52
Gastos (G), \$		153.978	153.978	153.978	153.978	153.978
Costo inversión (Ko)	-2670.08					
Tasa de descuento (r) , %	2670.08	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riego, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		106.8032	106.8032	106.8032	106.8032	106.8032
Flujo de caja (Fc), \$		604.53342	604.53342	604.53342	604.53342	604.53342
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		571.084202	539.485751	163.251226	154.218432	145.685428
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-2670.08	-2098.9958	-1559.51005	4864.00624	5018.22467	5163.9101
TIR		15%				



PROYECTO DE SSFV DOÑA NORA - CANADA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		1026.52	1026.52	1026.52	1026.52	1026.52
Gastos (G), \$		153.978	153.978	153.978	153.978	153.978
Costo inversión (Ko)	-5712					
Tasa de descuento (r) , %	5712	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		228.48	228.48	228.48	228.48	228.48
Flujo de caja (Fc), \$		647.1203	647.1203	647.1203	647.1203	647.1203
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		611.314723	577.490292	174.7516	165.082483	155.948365
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-5712	-5100.6853	-4523.195	2352.83146	2517.91395	2673.86231
TIR		3%				

PROYECTO DE SSFV DOÑA NORA-RUSIA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		1026.52	1026.52	1026.52	1026.52	1026.52
Gastos (G), \$		153.978	153.978	153.978	153.978	153.978
Costo inversión (Ko)	-8462.72					
Tasa de descuento (r) , %	8462.72	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riego, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		338.5088	338.5088	338.5088	338.5088	338.5088
Flujo de caja (Fc), \$		685.63038	685.63038	685.63038	685.63038	685.63038
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		647.694016	611.856695	185.151054	174.906529	165.22884
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-8462.72	-7815.026	-7203.1693	82.0489741	256.955503	422.184343
TIR		#NUM!				

PROYECTO DE SSFV DOÑA NORA-CUBA						
Año	0	1	2	23	24	25
Ingresos (I), \$		1026.52	1026.52	1026.52	1026.52	1026.52
Gastos (G), \$		153.978	153.978	153.978	153.978	153.978
Costo inversión (Ko)	-11424					
Tasa de descuento (r) , %	11424	8	8	8	8	8
Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5
Margen de riego, %		3	3	3	3	3
Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35
Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25
Resultados						
Año	0	1	2	23	24	25
Depreciación (Dep), \$		456.96	456.96	456.96	456.96	456.96
Flujo de caja (Fc), \$		727.0883	727.0883	727.0883	727.0883	727.0883
Tasa de descuento real (R)		0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143	0.02857143
Tasa de descuento real con margen (D)		0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143	0.05857143
Factor de descuento (Fdesc.)		0.94466937	0.89240021	0.270045	0.25510324	0.24098821
Flujo de caja descontado (Fd), \$		686.858043	648.853752	196.346558	185.482579	175.21971
Flujo descontado acumulado (Fda),VPN, \$	-11424	-10737.142	-10088.288	-2362.5556	-2177.0731	-2001.8533
TIR		#NUM!				