

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

INGENIERÍA

Trabajo de Diploma

Título: Viabilidad de un SSFV en una minindustria de Perseverancia, municipio Aguadad de Pasajeros en la provincia de Cienfuegos.

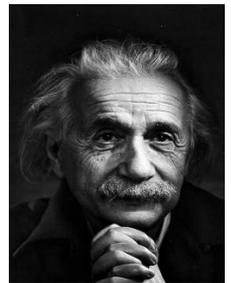
AUTOR: Miguel Angel Herrera Array
Ingeniería Mecánica

Tutora: DrC. Ing. Jenny Correa Soto

Cienfuegos, 2022.

Pensamiento

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."



Albert Einstein. *Físico.* 1879 – 1955

Dedicatoria

A mis padres y a mi familia, quienes me apoyaron durante todos mis años de estudio.

Agradecimientos

A mis profesores.

A mi tutora, la DrC. Ing. Jenny Correa Soto.

A todo aquel que de una forma u otra contribuyó a la realización de esta investigación.

Resumen

En Cuba, la gestión sostenible de las fuentes renovables de energía ocupa un lugar de privilegiado en las agendas políticas y públicas. Teniendo en cuenta el interés del estado de fomentar la utilización de las FRE en el país, se evaluó la factibilidad de un parque fotovoltaico en una minindustria que se encuentra ubicada en el municipio de Aguada de Pasajeros, provincia de Cienfuegos. Se realizó un estudio energético-económico para determinar los beneficios del parque para la minindustria. Para este estudio se utilizaron los softwares de diseño en 3D: PVsyst 7.1 y SketchUp entre otros.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, minindustrias, solar fotovoltaica

Summary

In Cuba, the sustainable management of renewable energy sources occupy a privileged place on political and public agendas. Taking into account the interest of the state in promoting the use of RES in the country, the feasibility of a photovoltaic park in a mini-industry located in the municipality of Aguada de Pasajeros, Cienfuegos province, was evaluated. An energy-economic study was carried out to determine the benefits of the park for the mini-industry. For this study, 3D design software was used: Pvsyst 7.1 and SketchUp, among others.

Keywords: renewable energy sources, mini-industries, photovoltaic solar

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Marco teórico referencial.....	4
1.1 Introducción al capítulo.....	4
1.2 Problemática energética del mundo.....	4
1.3 Situación energética en Cuba.....	9
1.4 Fuentes de energía renovable en Cuba.....	12
1.5 Energía solar fotovoltaica.....	17
1.5.1 Historia.....	18
1.6 Situación actual y perspectivas de la tecnología fotovoltaica en Cuba.....	19
1.7 Partes y funcionamiento de un SSFV.....	21
1.7.1 Radiación solar.....	21
1.7.2 Efecto fotovoltaico.....	26
1.7.3 Celda fotovoltaica.....	29
1.7.4 Módulos fotovoltaicos.....	30
1.7.5 Sistemas fotovoltaicos (SFV).....	31
1.8 Conclusiones parciales del capítulo.....	33
Capítulo 2: Caracterización del lugar de colocación del SSFV y especificaciones del módulo e inversor a utilizar.....	34
2.1 Introducción al capítulo.....	34
2.2 Localización del emplazamiento para el montaje del SSFV.....	34
2.3 Módulo Fotovoltaico seleccionado.....	37
2.4 Inversor seleccionado.....	40
2.5 Caracterización energética de la minindustria.....	41
2.6 Conclusiones parciales del capítulo.....	46
Capítulo 3: Propuesta del SSFV y Análisis económico.....	47
3.1 Introducción al capítulo.....	47
3.2 Análisis mediante PVsyst 7.1.....	47
3.3 Análisis económico.....	52
3.3.1 Tasas a emplear en el análisis económico.....	53

3.3.1	Resultados del análisis económico.	55
3.3.2.1	Inversión de 22269 USD con costo definido por COPEXTEL S.A.	56
3.3.2.2	Inversión con costo definido por China y Francia.	58
3.4	Conclusiones parciales del capítulo.	60
	Conclusiones generales	61
	Recomendaciones.....	62
	Bibliografía	63
	Anexos	1

Introducción

Desde hace unos años, los gobiernos y las instituciones públicas de muchos países han comenzado a aumentar su conciencia, no solo frente a las limitaciones que presentan los recursos naturales, sino también frente a las consecuencias económicas de mantenerse dependientes de la importación de energías primarias de unos países, cuya inestabilidad, puede aumentar los precios de forma imprevisible (Landera, 2017).

La producción de energía, a base de los sistemas tradicionales, se debate en un constante reto de sostenibilidad económica y medioambiental. El incremento del precio de los combustibles fósiles y los gastos asociados a la reducción de impactos, hacen que la producción de energía se convierta en un elemento determinante (Landera, 2017).

Cuba, en la actualidad, produce con el empleo del combustible fósil, el 95 % de su energía eléctrica. Este dato encuentra una economía muy dependiente de la importación y con elevados costos de generación eléctrica (Gallego Landera , Casas Fernandez , Garcia Sanchez, & Rivas Arocha , 2017).

Para Cuba el uso de la energía solar fotovoltaica (FV) constituye un gran aporte en la modificación de la matriz energética. El incremento de la FV se basa, entre otros aspectos, en la disponibilidad de sol y silicio en todo el planeta, su notable abaratamiento, no tiene partes móviles en sistemas fijos, aplicaciones versátiles, amplio rango de potencia, gran accesibilidad, poco riesgo tecnológico y fácil traslado. Además, la FV es de rápida instalación, tiene bajos costos de operación-mantenimiento, se basa en captar radiación estable y predecible, tributa al transporte eléctrico, la intermitencia se enfrenta con soluciones diversas, y puede hacerse sinergia de instalaciones FV centralizadas y distribuidas. La eficiencia continúa en aumento y alcanza el 47% a escala de laboratorio y entre 18 y 22 % a escala industrial (Novygrad, 2021).

La FV muestra hoy uno de los costos más bajos del kWh generado. Algunas de las oportunidades que ofrece para Cuba el aumento de la penetración de la FV en la generación eléctrica del país son: posibles altos niveles de instalaciones FV en todos los sectores del país (parques, industrial, comercial, residencial y social), gradual eliminación de la erogación de divisas por la importación de combustibles fósiles, buen

nivel del potencial solar en todo el archipiélago, comienzo de la estrategia FV, existencia de centros de I+D+I y capital humano. La FV y posibilidad de encadenamientos productivos específicos como producir baterías eléctricas, lo que tributa a la mitigación de la intermitencia FV y al transporte eléctrico (Novygrad, 2021).

De manera especial, el sector electroenergético se posiciona como tema de interés en las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 (PNDES): Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos con especial énfasis en el desarrollo de las fuentes renovables de energía para la transformación productiva local (Ávila, 2021).

En paralelo, el sector electroenergético se instaura como asunto de primer orden en las Prioridades del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el año 2030 en tanto es considerado soporte vital para el desarrollo de la economía y el bienestar de la población en general (Ávila, 2021).

En aras de una introducción mayor de las fuentes renovables de energía (FRE) la energía solar fotovoltaica en Cuba se han construido 72 parques con una potencia instalada total de 226 MW. Esta potencia fotovoltaica tributa a las redes eléctricas del país un total de 310 GWh al año. Sin embargo, el uso de pequeñas redes que permitan garantizar parte del abastecimiento de energía es de gran utilidad.

En la actualidad en Cuba en función de fomentar el desarrollo local, se implementan las minindustrias locales de diferentes sectores, donde el empleo de las FRE es primordial para un funcionamiento estable ante la situación energética actual con un déficit en la generación de energía eléctrica.

En el municipio Aguada de Pasajeros, localidad Perseverancia se encuentra ubicada la minindustria cárnica (La Larguita) que se dedica a la producción de derivados de carne de búfalo.

Esta minindustria entre sus portadores energéticos se encuentra la energía eléctrica que en el 2021 consumió para la generación de su producción 129 968 kWh. Este portador energético que se obtiene mediante conexión a la red y actualmente debido a la contingencia energética que enfrenta el país provoca paralización de la producción y además el uso de una energía limpia puede contribuir a su empleo en otros sectores y

una disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, de ahí la necesidad de evaluar la utilización de la energía solar en la minindustria cárnica.

Todo lo anterior constituye la situación problemática enunciándose como:

Problema Científico.

¿Cómo evaluar la implementación de un parque fotovoltaico en la minindustria cárnica de la UEB Integral Agropecuaria Aguada?

Hipótesis de la investigación.

La evaluación de la implementación de un parque fotovoltaico en la minindustria cárnica de la UEB Integral Agropecuaria Aguada contribuirá a la sustitución de energía procedente de fuentes convencionales por FRE.

Objetivo general:

Evaluar la factibilidad de la implementación de los sistemas fotovoltaicos para satisfacer la demanda eléctrica de la minindustria cárnica.

Objetivos específicos:

- Realizar un estudio documental referente a la situación energética mundial y en Cuba, así como el uso de fuentes de energías limpias en Cuba.
- Proponer el parque fotovoltaico para la minindustria cárnica.

La tesis se estructura, en resumen, summary, introducción y tres capítulos: (1) Se aborda la situación energética actual de Cuba y el mundo, así como generalidades de los sistemas solares fotovoltaicos, (2) Caracterización de la minindustria cárnica y elección del panel e inversor del sistema solar fotovoltaico y (3) Propuesta y análisis económico de sistema solar fotovoltaico, además de conclusiones generales, recomendaciones y anexos.

Capítulo 1: Marco teórico referencial

1.1 Introducción al capítulo

En este capítulo se aborda la situación energética mundial y de Cuba, así como el panorama actual de la energía solar fotovoltaica y perspectivas en el país. Además, se abordan generalices de los sistemas solares fotovoltaicos (SSFV), así como su historia y funcionamiento.

1.2 Problemática energética del mundo

El crecimiento de la población mundial en la última centuria ha sido insólito: se estima que en el año 1930 era de 2,000 millones de personas, para el año 1960 de 3,000 millones y en solo 39 años, esto es en 1999 se duplicó a 6,000 millones. En la actualidad es de más de 7,000 millones y se estima que para el año 2030 será de más de 8,000 millones de seres humanos en el planeta (Estrada Gasca, 2013).

El crecimiento poblacional está estrechamente relacionado con el crecimiento en la demanda de energía mundial. En la actualidad, las fuentes primarias de energía que dominan en el mundo son los hidrocarburos y corresponden al 81.2 % de toda la energía primaria producida y consumida. Los países emergentes (China, India, Brasil, México . . .) y los países menos desarrollados necesitan para su desenvolvimiento tener acceso pleno a las fuentes de energía modernas, entendidas estas como electricidad y carburantes (Estrada Gasca, 2013).

La demanda energética mundial está en continuo aumento a un ritmo de crecimiento anual del 2.47 %. A medida que crece la población y las economías, millones de personas en todo el mundo disfrutan de los beneficios de un estilo de vida que requiere cantidades de energía cada vez mayores. Según la Administración de Información sobre Energía de los Estados Unidos (Departamento de energía- DOE, 2022) de América, en su escenario de referencia, la demanda mundial de petróleo evolucionara de 87 millones de barriles al día en 2011 a 119 millones de barriles diarios en 2040, es decir se incrementará un 36 % más en ese periodo (Departamento de energía- DOE, 2022). Lo cual es un reto muy grande en términos de inversiones, en particular, en un contexto de declinación de las reservas de lo que se ha llamado el “petróleo fácil”, esto

es, fácil de extraer y transportar, y por ende barato (Departamento de energía- DOE, 2022).

Este contexto de declinación de las reservas del “petróleo fácil” es ya evidente. Muchos de los campos de petróleo y gas del mundo están llegando a su madurez. La producción de crudo toco techo en los Estados Unidos en 1970, en Alaska en 1988, en el Mar del Norte en 1999 y en Cantarell en 2005, no obstante que los grandes descubrimientos más recientes fueron precisamente en esos lugares (en Alaska y en el Mar del Norte en 1967 y en Cantarell en 1971). Los descubrimientos de nuevos yacimientos de fuentes energéticas se dan principalmente en lugares donde los recursos son difíciles de extraer, ya sea por motivos físicos, económicos o incluso políticos. ¿Cuándo tocara techo la producción mundial de este hidrocarburo? Algunos sugieren que ya se alcanzó, otros más sugieren que se alcanzara en los próximos años. A partir de ese momento la producción disminuirá. Cualquiera que sea la fecha, para los expertos petroleros del mundo es claro que este recurso está declinando rápidamente en relación a la escala temporal humana (Estrada Gasca, 2013).

Lo más probable es que mucho antes que se alcance este límite, que eventualmente puede ser extendido por los avances tecnológicos, el juego de la oferta y la demanda petrolera y su impacto en la evolución de los precios del petróleo constituirán los factores determinantes del fin de la era del petróleo. Adicionalmente, es común decir que la producción de gases de efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono debido al uso intensivo de los hidrocarburos, son los precursores del incremento de la temperatura media global y consecuentemente del llamado cambio climático, con todas las consecuencias para los seres humanos que ello implica. Así se establece que el problema energético del mundo actual consiste en que las fuentes principales de energía que usan los seres humanos (los hidrocarburos) han mostrado su finitud y que su uso intensivo tiene un impacto al medio ambiente de dimensiones globales y catastróficas. Esto es, el sistema energético mundial no es sustentable (Estrada Gasca, 2013).

Es urgente una utilización más racional de la energía y la sustitución de los combustibles fósiles por otros tipos de energía primaria. Es inevitable preguntarse si existen fuentes energéticas suficiente que puedan sustituir a las fuentes fósiles y que

permitan la conservación del medio ambiente para un desarrollo sustentable. Este proceso de transición se debe lograr sin tensiones geopolíticas dramáticas por el control de los yacimientos de los hidrocarburos y sin la degradación irreversible del medio ambiente natural, particularmente debida a las emisiones de gas de efecto invernadero. La pregunta es ¿existen las fuentes energéticas que puedan satisfacer esta necesidad? La respuesta es afirmativa; existen las fuentes renovables de energía; la energía solar que en sus diversas manifestaciones directas (radiación solar directa, difusa. . .) o indirectas (biomasa, eólica, hidráulica, mareomotriz. . .) es la fuente de energía más abundante en la Tierra, además de la geotermia.

El consumo energético anual, esto es, la demanda global (DG) de energía primaria es aproximadamente de 425 EJ/año (EJ=exajulio= 10¹⁸ Julios). La energía solar total anual que alcanza la superficie de la Tierra y su atmosfera es 2,895,000 EJ/año (7,000 veces la demanda global en 2004, DG), que representa unas 9 veces el recurso total de todas las demás energías no-renovables, estimado en 325,300 EJ (770 veces la DG); Petróleo: 8,690 EJ (20 DG), Gas: 17,280 EJ (40 DG), Uranio 114,000 EJ (270 DG), Carbón: 185,330 EJ (440 DG) (Estrada Gasca, 2013).

La energía solar en sus manifestaciones directa e indirecta junto con la energía geotérmica también se conocen como energías renovables, esto es, fuentes de energía que por su cantidad en relación a los consumos que los seres humanos pueden hacer de ellas son consideradas inagotables y su propio consumo no afecta el medio ambiente. Las únicas fuentes que a largo plazo pueden satisfacer la demanda mundial de los seres humanos en forma sustentable, en el presente o en el futuro, son las fuentes renovables de energía. Por lo que, en este periodo transitorio hacia un sistema energético sustentable, el uso racional y eficiente de las actuales fuentes energéticas y las energías alternativas: energías renovables (ER) y energía nuclear, son la solución al problema energético planteado (Estrada Gasca, 2013).

El mundo está al borde de una gran crisis energética, con países de todo el mundo afectados por precios extremadamente altos y volátiles, particularmente de los combustibles fósiles. Esta situación ha actuado como crisol de las tendencias recientes en la Los precios altísimos y el creciente descontento social están presionando a muchos gobiernos. Sin embargo, incluso las decisiones relacionadas con la energía a

corto plazo pueden tener importantes consecuencias a largo plazo. En este contexto, las mejores políticas mezclarán urgencia y estrategia. Sin tales políticas, existe el riesgo de que algunos países, especialmente aquellos que no cuentan con la financiación adecuada, puedan, bajo presión, establecer un rumbo hacia una energía costosa y con altas emisiones en el futuro mercado energético. Durante los dos años anteriores, el mercado de la energía experimentó una extrema volatilidad de los precios, como durante la pandemia, cuando se redujo la demanda y se contrajo la oferta; el consiguiente aumento de la demanda superó la oferta (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

La guerra en Ucrania ha afectado aún más el suministro de combustibles fósiles y el mercado en general, en el que la Federación Rusa es el principal exportador de gas natural y el segundo mayor exportador de petróleo. El aumento de los precios de la energía puede excluir a muchos países en desarrollo, con un alto nivel de impacto en los ciudadanos más vulnerables, de los mercados energéticos. Tal situación ya está afectando los logros obtenidos con tanto esfuerzo en la provisión de acceso a la energía y la reducción de la pobreza energética, y el progreso ya se había retrasado debido a la pandemia. A esta dinámica se suma la crisis alimentaria y financiera también vivida en estos países por la guerra en Ucrania y la pandemia, que han ejercido una importante presión social y fiscal sobre los países. Una potencial “lucha por el combustible”, a la que solo puedan acceder los países que paguen el precio más alto, sería devastadora para un sistema multilateral basado en la confianza y la proporcionalidad (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

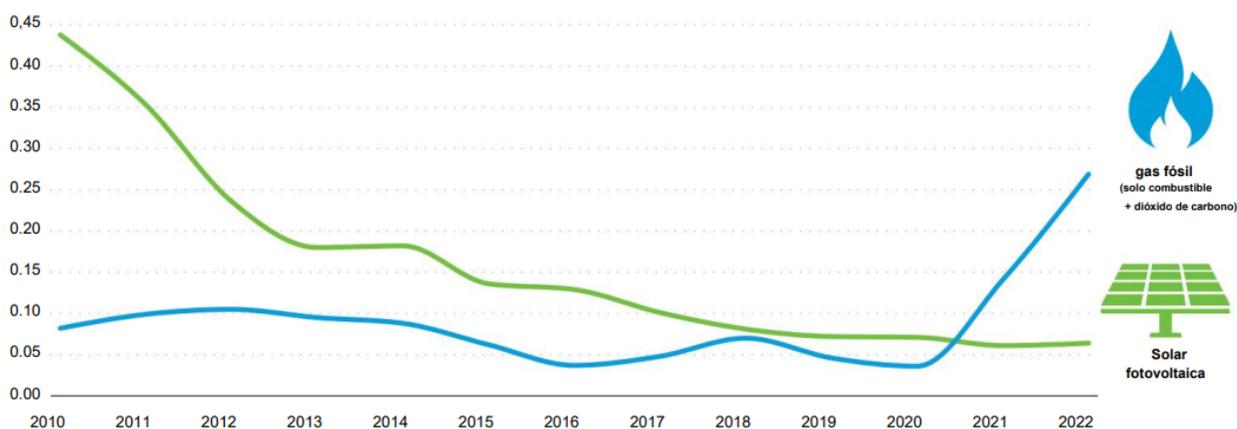
En esta coyuntura, la comunidad internacional debe hacer un balance conjunto de cómo gestionar la crisis de una manera que garantice el cumplimiento del objetivo del Acuerdo de París de no superar un aumento global de 1,5 °C por encima de las temperaturas preindustriales. La acción multilateral es fundamental, pero cada país y región deberá desarrollar una respuesta personalizada, de acuerdo con la capacidad humana actual, la infraestructura, el acceso a la financiación y los desafíos localizados (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

En el corto plazo, los países, especialmente los países desarrollados, deben buscar gestionar la demanda de energía. Esto puede lograrse mediante la implementación de

nuevas tecnologías y cambios de comportamiento relacionados con el uso de calefacción, refrigeración y movilidad. La eficiencia energética y la reducción de la demanda tienen el beneficio adicional de ser las intervenciones más rápidas y rentables a través de las cuales mitigar los impactos de los precios de la energía en el plazo inmediato. Se presionará a los países en desarrollo para garantizar que la energía que tienen impulse a las empresas a sostener la economía y también llegue a todos los ciudadanos, apuntando a las poblaciones vulnerables, para brindar soluciones para acceder y costear la energía. Los altos precios de la energía por sí solos aumentan la presión para reducir la demanda, pero se necesitan las políticas adecuadas para garantizar que dicha reducción sea controlada, estratégica y equitativa (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

Las medidas a mediano y largo plazo en la política e inversión energética del gobierno deben alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París. La crisis ha enfatizado la necesidad de resiliencia energética y un impulso para las fuentes de energía renovable (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

Figura 1: Energía solar fotovoltaica frente a gas fósil, Europa (dólares por kWh).

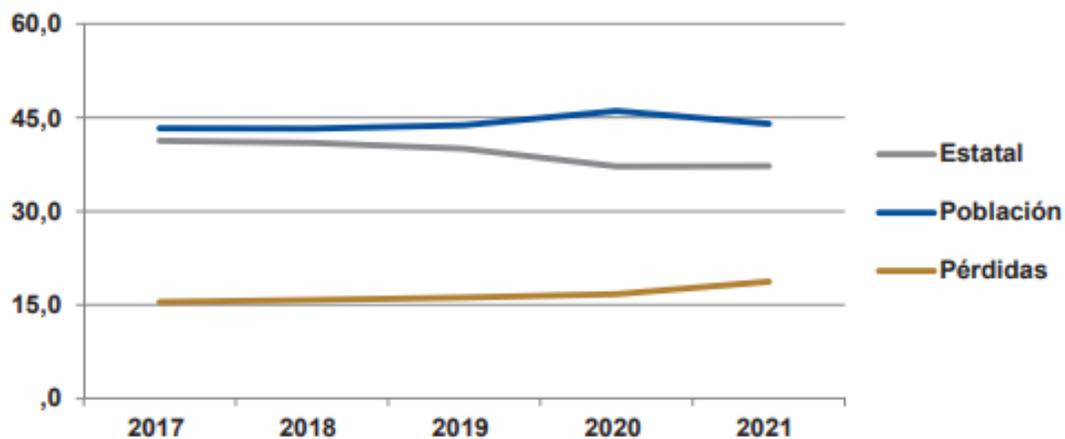


Nota: (Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, 2022).

1.3 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. En los años noventa, en el mercado mundial, por una tonelada de azúcar se adquiría algo más de 1.4 toneladas de petróleo. La producción nacional de petróleo aumenta posteriormente, lo que ha sido de gran ayuda; pero aún no es suficiente, debido a su gran peso y alto contenido azufre, y el mismo es quemado en las termoeléctricas con la finalidad de generar electricidad. El país ha mantenido una producción bruta de electricidad con poco crecimiento durante los años 2017-2021, como se muestra en la Figura 1.1 según las publicaciones en los anuarios estadísticos de Cuba (Hernández, 2021).

Figura 1.1: Estructura del consumo de energía eléctrica. (%)



Nota: (ONEI, Anuario Estadístico de Cuba 2021, 2021).

En la Figura 1.1 se observa que el sector residencial presenta el mayor consumo en el país con un promedio de 45% al año con un constante crecimiento cada año, mientras que el sector estatal solamente consume como promedio 37% al año y con valores similares en los años de estudio. A continuación, y 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.

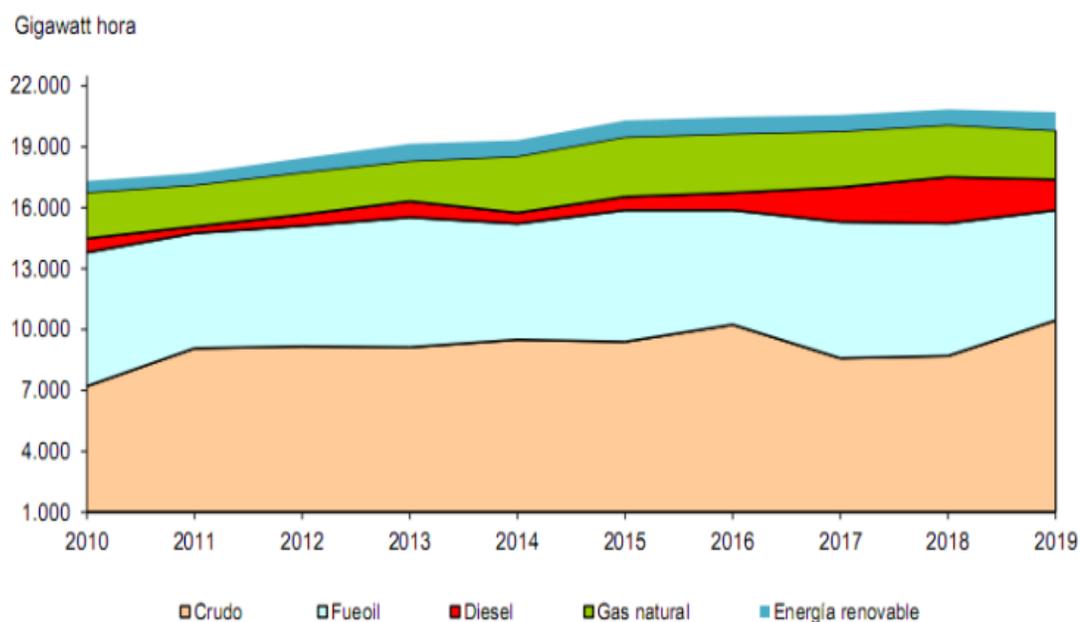
Se observa en la Figura 1.2 que la generación ha aumentado lentamente, destaca el año 2018 con un aumento de consumo de diésel y disminución en la quema de crudo, produciendo para ese año 21 000 GWh, mientras que en el 2019 la generación alcanza valores de aproximadamente 20 800 GWh. Por su parte, el 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.

La provincia de Cienfuegos (la tercera más pequeña del país) se caracteriza como una provincia industrial y de alto consumo energético. Solo en el año 2014 el consumo de energía eléctrica supero los 3 000 000 MW/h, de ellos 55,5 % corresponde al sector estatal y el 44,5 % al sector privado (siendo de este 42,9 % al sector residencial) (Nfumu, 2017).

En la provincia se han llevado a cabo ambiciosos proyectos de instalación de parques fotovoltaicos para el incremento de la capacidad de generación y conexión a la red de distribución (Nfumu, 2017).

Figura 1.2 Participación en la generación bruta de electricidad por tipo de combustible fósil y FRE 2010-2019.

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



Nota: (ONEI, Anuario estadístico de Cuba 2019, 2019).

En el año 2016 se acciona en el municipio de Cienfuegos diseñando un procedimiento para el diagnóstico energético local con el objetivo de conocer las características energéticas de generación y consumo del municipio con alcance al diagnóstico sector residencial; se evidencio la tendencia al aumento del consumo y todo sustentado sobre el uso de combustibles fósiles. Considerando el mes de julio de mayor consumo en este sector un solo mes representa 155.22 GWh, que representan un subsidio del país equivalente a 13 Millones de pesos. Lo que hace una necesidad el empleo de FRE en la matriz energética de generación y consumo municipal, y que de ser considerada gestión de la energía por el gobierno local (Nfumu, 2017).

Cuba presenta actualmente una crisis energética derivado a la falta de combustible y al mal estado técnico en que se encuentran los sistemas de generación térmicas, debido a esto existe en el país un déficit energético debido a falta de capacidad de generación.

Este déficit oscila entre los 600 MW y los 1500 MW aproximadamente, agravándose durante los picos de demanda de energía eléctrica.

Debido a esto el país toma medidas encaminadas fundamental al ahorro energético tanto en el sector estatal como en el privado:

- Identificar aquellas actividades que se puedan cambiar de horario, principalmente las que sean en horario pico.
- Priorizar el diésel hacia el transporte público y de carga, y a actividades destinadas al consumo.
- Evitar el uso del diésel en las inversiones, en la medida de lo posible.
- Centralizar la asignación de diésel, a partir del trabajo colectivo del Consejo de ministros, para ubicar los recursos en los renglones más importantes.
- Respalda el 100% del consumo de los servicentros. Los ajustes se están haciendo en el sector productivo.

Actualmente el país está otorgando financiamiento para nuevas inversiones en el sector energético lo que prevé una recuperación gradual de la capacidad de generación fundamentalmente dirigidas a la adquisición de piezas de repuesto para las plantas térmicas y los grupos electrógenos diésel, así como el alquiler de plantas eléctricas flotantes. Con esto se prevé un posible incremento de unos 900 MW antes de que finalice el año 2022.

1.4 Fuentes de energía renovable en Cuba

En el país urgente impulsar proyectos para el cambio de la matriz energética hacia el empleo de fuentes de energías renovables (FRE). El país cuenta desde el 2014 con una Política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y su uso eficiente, a fin de garantizar una transición segura, amigable con el medio ambiente, y la racionalidad en el empleo de los recursos. Durante el 2021 las FRE aportaron 994 mil mega watt hora (MWh) de energía limpia, con lo cual se dejó consumir 273 mil toneladas de combustible fósil y se dejó de emitir a la atmósfera 800 mil toneladas de CO₂ (Reinaldo, 2022), lo cual se ilustra en la figura 1.3.

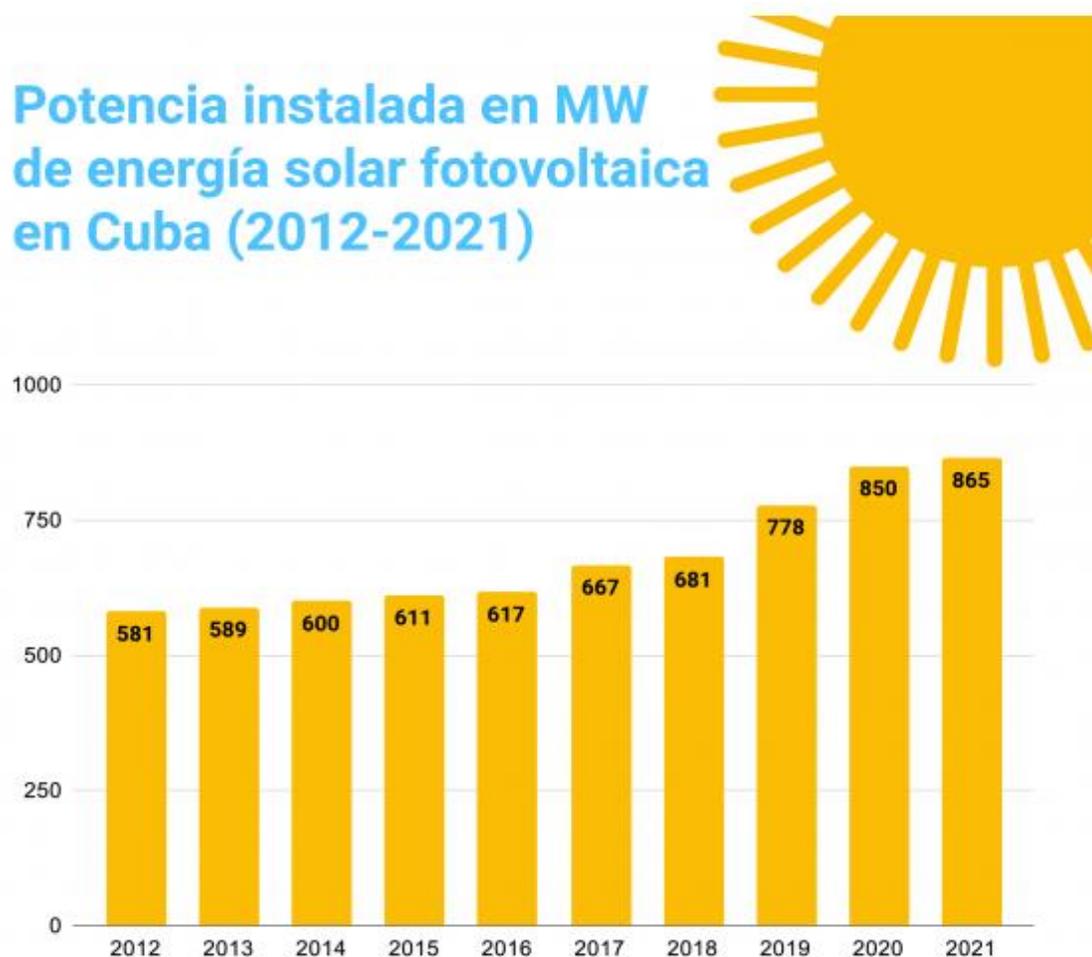
Figura 1.3: Aporte de las FRE al país.



Nota: (Reinaldo, 2022).

La principal fuente utilizada en el país es la solar fotovoltaica, tecnología que cuenta con una potencia instalada de 238 MW en parques solares, que son capaces de producir la energía eléctrica consumida por unas 200 mil familias cubanas. Igualmente se tienen instalados un total de 1188 bombeos solares, “sobre todo para el agua que se emplea en la ganadería, aunque también para la población y riego”, de un plan que ronda los 7 mil; de 2644 plantas de biogás, y de 34 mil calentadores solares de agua. Se tienen instalados además 12 MW de energía solar fotovoltaica en las cubiertas de industrias y edificios estatales, la presencia de más de 160 mil viviendas que reciben electricidad en la nación a partir de la instalación módulos solares fotovoltaicos; y de unos 600 vehículos eléctricos que circulan en el país, que se abastecen de paneles solares y entre los que destacan las flotas de empresas como ETECSA y Aguas de La Habana (Reinaldo, 2022).

Figura 1.4: Potencia instalada de energía solar fotovoltaica en Cuba.



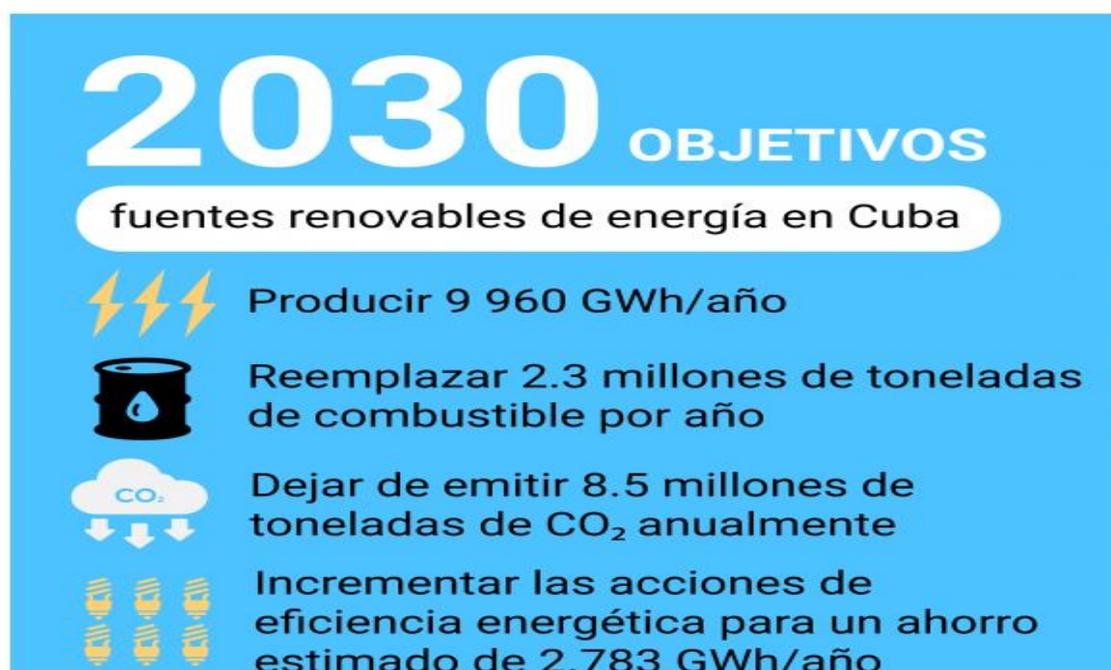
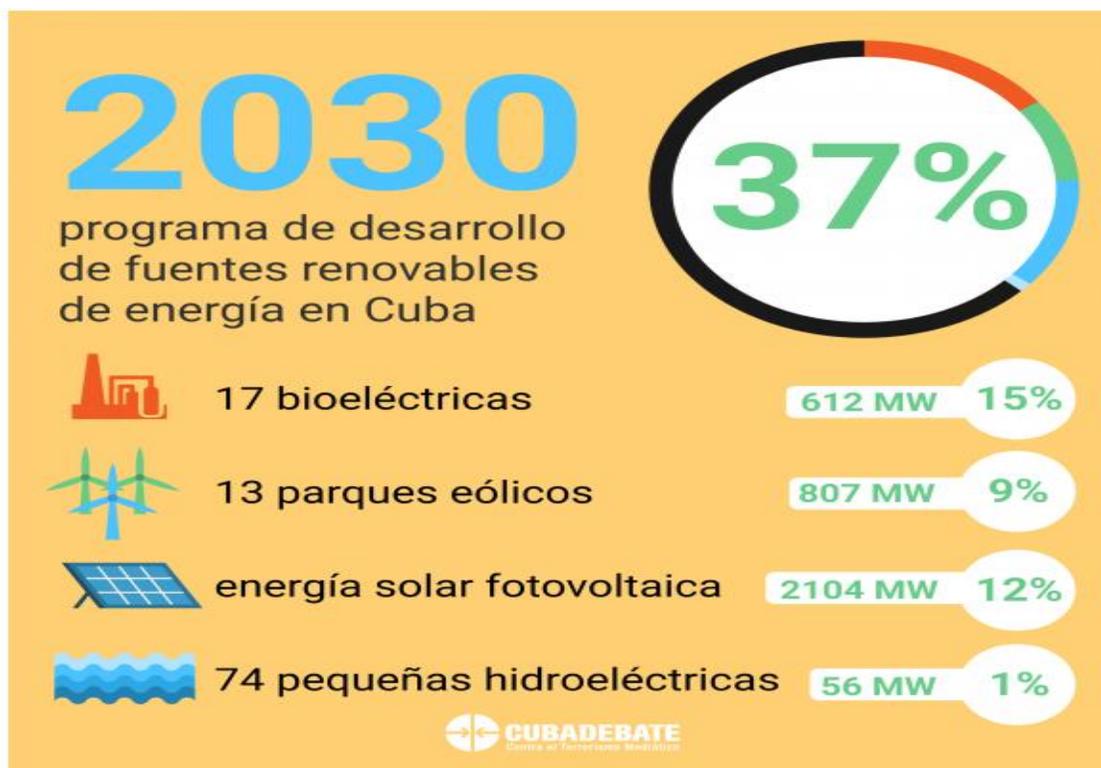
Nota: (Reinaldo, 2022).

Aun conscientes de estar muy distantes de lo que se quiere y se puede lograr en este camino, las proyecciones futuras es lograr el cambio total de la matriz energética del país logrando la participación del 100 % de las fuentes renovables de energía, “para lo cual se estima serán necesarios instalar más de 10 mil MW en solar fotovoltaica, unos 1800 MW en energía eólica y aprovechar la biomasa cañera y forestal para la instalación de 612 MW”.

Se debe aclarar que la Política es integral por lo que abarcará todos los sectores de la economía incluyendo la ejecución con prioridad de un programa de eficiencia energética. En ese camino, el gobierno cubano se trazó alcanzar para 2030 el 24 % de

generación eléctrica mediante las energías limpias, pero posteriormente se actualizó hasta ubicarla en un 37 %.

Figura 1.5: Programa y Objetivos de FRE para 2030.



Nota: (Reinaldo, 2022).

No obstante, la aspiración mayor es alcanzar el 100 % y ello demanda grandes volúmenes de inversiones, pero también la articulación de todos los actores económicos de la mayor de las Antillas para finalmente alcanzar la independencia de los combustibles fósiles.

Recientemente el presidente cubano Miguel Díaz-Canel, aseguró que “la manera más efectiva para un país pobre, sin recursos y sin combustibles fósiles, es utilizar las FRE para el desarrollo de la nación, sobre todo la solar fotovoltaica”.

El tema energético es una prioridad debido a la tensa situación actual marcada por el deterioro de las plantas de generación térmica.

Figura 1.6: Potencia instalada en Cuba de FRE (2012-2021). (GWh)



Nota: (Reinaldo, 2022).

Figura 1.7: Otras Tecnologías de FRE instaladas en Cuba.

Tecnologías	Instalado	Necesario
Bombeo solar	1 188	7 000
Biogas	2644	5 000
Plantas de gas	3	60
Biodiesel	5	
Luces Led Alumbrado Público	28 000	222 000
Luces Led Residencial	7.7 mill	17 mill
Calentadores solares	34 000	166 000
Pequeñas hidroeléctricas	3	30
Transportación eléctrica	2 flotas	
Cocinas de inducción	855 000	1.8 mill
Paneles fotovoltaicos en la industria	12 MW	800 MW
Gas Licuado	30 municipios	1.7 mill de consumidores
Electrificación rural con paneles fotovoltaicos	16 280 hogares	66 590 hogares con módulos de 2 kW

Nota: (Reinaldo, 2022).

1.5 Energía solar fotovoltaica

El avance científico y tecnológico ha permitido crear un dispositivo que capta la radiación solar y la convierte directamente en electricidad. Se llama celda solar fotovoltaica. El término fotovoltaico se compone del vocablo griego phōs que significa «luz», y «voltaico», que se relaciona con la creación de una tensión eléctrica. En síntesis, fotovoltaico significa electricidad obtenida a partir de la luz. La energía eléctrica que se obtiene a partir de la conversión directa de la energía de la radiación solar recibe el nombre de «energía solar fotovoltaica» (Ávila, 2021).

Las celdas solares son usadas en relojes digitales y calculadoras. También producen la electricidad requerida por una vivienda o una escuela, interconectando varias celdas para formar un panel solar fotovoltaico, pues una sola celda solar produce una corriente y tensión eléctrica pequeñas. Los paneles se agrupan para formar módulos y así obtener la tensión y la corriente eléctrica requeridas para aplicaciones específicas. El

módulo fotovoltaico, las baterías que almacenan la energía eléctrica, el inversor, el regulador de carga y los cables de conexión, forman un sistema fotovoltaico (SFV) (Ávila, 2021).

1.5.1 Historia

El físico francés A. E. Becquerel descubrió en 1839 el «efecto fotovoltaico», base del funcionamiento de las celdas solares. Este consiste en la creación de una fuerza electromotriz (tensión eléctrica) en un semiconductor, debido a la absorción de la radiación luminosa. Edmond Becquerel, construyó la primera celda fotovoltaica experimental de la historia, mientras trabajaba en una pila electrolítica con electrodos de platino, y comprobó que la corriente subía en uno de los electrodos cuando éste se exponía al Sol (Ávila, 2021).

El siguiente paso se dio en 1873, cuando el ingeniero eléctrico Willoughby Smith describió el efecto fotovoltaico de una celda de selenio en un ensayo titulado “Efecto de luz en selenio durante el paso de una corriente eléctrica”, que fue publicado en la revista Nature. Esto abrió el camino para que Charles Fritts construyera la primera celda fotovoltaica sólida en 1883, hecha de selenio con una capa de oro. Tenía una eficiencia de apenas el uno por ciento. “Esta celda”, reportó Fritts, “produce una corriente que es continua, constante y de una fuerza considerable... no sólo por la exposición a la luz solar, sino también por la luz difusa del día e incluso por la luz de la lámpara» (Ávila, 2021).

El efecto fotoeléctrico fue descubierto, en 1887, por Heinrich Hertz, al observar que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad.

Una explicación más coherente de este concepto fue elaborada por Albert Einstein, quien propuso una nueva teoría cuántica de la luz y explicó el efecto fotoeléctrico en 1905, en un estudio llamado “Heurística de la generación y conversión de la luz”, con el cual ganó el Premio Nobel de Física en 1921.

En 1954 se desarrolló la primera celda fotovoltaica funcional y comercializable, en los Laboratorios de la compañía telefónica Bell. Poco tiempo después, estos dispositivos

encontraron aplicación práctica en los primeros satélites artificiales lanzados por la Unión Soviética y EEUU. En las casi siete décadas que han transcurrido desde que la creación de la primera celda en los laboratorios Bell, la tecnología fotovoltaica y sus aplicaciones han experimentado un espectacular avance (Ávila, 2021).

1.6 Situación actual y perspectivas de la tecnología fotovoltaica en Cuba

En Cuba, aunque aún con cifras relativamente modestas, también ha habido un crecimiento notable de la participación de la energía solar fotovoltaica en la generación eléctrica del país. Según las cifras Ministerio de Energía y Minas (Ministro de Energía y Minas, 2022), se han construido 72 parques con una potencia instalada total de 226 MW. Esta potencia fotovoltaica tributa a las redes eléctricas del país un total de 310 GWh al año, una cifra considerablemente mayor a la que se tenía hace una década. Con esa generación de electricidad limpia se sustituyen aproximadamente 81 mil toneladas de combustible anualmente (Ministro de Energía y Minas, 2022).

Esta cantidad de energía eléctrica es equivalente a la que requiere el servicio eléctrico de más de 289 mil viviendas en el horario pico del mediodía. Adicionalmente se han instalado también unos 12 MW de potencia fotovoltaica en techos de varias instituciones.

Además, que están instalados 24081 paneles solares fotovoltaicos aislados en instituciones sociales como escuelas, policlínicos y consultorios médicos, así como en viviendas aisladas, entre otros (Ministro de Energía y Minas, 2022).

En la Industria Nacional se cuenta con la Empresa de Componentes Electrónicos “Ernesto Che Guevara” de Pinar del Río que fábrica paneles fotovoltaicos con una capacidad de producción anual de 15 MW para dar servicio al programa de montaje de los Parques Solares Fotovoltaicos. Además, fabrica sistemas de bombeo fotovoltaico, cargadores solares de baterías, sistemas de alumbrado y otros equipos domésticos que utilizan paneles fotovoltaicos para captar y transformar la energía que llega desde el Sol (Información, Anuario Estadístico de Cuba 2021, 2021).

La potencia fotovoltaica instalada actualmente en el país es alrededor del 35 % de los 700 MW, que inicialmente se planificaron que existirán para el año 2030. En una

proyección más reciente se espera que esa cifra pueda superar los 2000 MW, por lo que el trabajo a desarrollar para cumplir con esa meta deberá ser arduo y sostenido. En lo referente al marco regulatorio, la tecnología fotovoltaica ha sido particularmente beneficiada a partir de leyes y resoluciones ministeriales que se han tomado para facilitar su importación por las personas naturales. Aunque con una dilación de dos años, la entrada en vigor del Decreto Ley 345 “Del desarrollo de las fuentes renovables de energía y el uso eficiente de la energía”, constituye un hito nacional en la promoción de las fuentes renovables de energía y en específico la fotovoltaica (ONEI, Anuario Estadístico de Cuba 2021, 2021).

A partir de lo regulado en la norma jurídica antes mencionada, las personas naturales pueden convertirse en productores independientes de electricidad si deciden adquirir e instalar un sistema fotovoltaico siempre que su vivienda posea las condiciones requeridas para ello. Por otro lado, la Resolución 208/ 2021 del ministro de Energía y Minas, aprueba en el Resuelvo Primero, la importación de tecnologías que generan o funcionan con fuentes renovables de energía, sus partes y piezas, sin establecer límites de cantidad para la importación de los equipos, partes y piezas fundamentales (Ávila, 2021).

Esta decisión, obviamente, también incluye a la tecnología fotovoltaica y favorece su importación por las personas naturales. Sin embargo, el Resuelvo Segundo se refiere a bombas fotovoltaicas, alumbrado solar y sistemas de aire acondicionado solar. Aunque si se declaran explícitamente los calentadores solares y los biodigestores entre las tecnologías que la resolución favorece con importación libre del pago de arancel aduanal, no se mencionan explícitamente los paneles fotovoltaicos (y los restantes componentes de un sistema fotovoltaico) para generar electricidad sino como parte de otros sistemas tecnológicos (Ávila, 2021).

Las personas naturales tienen seis opciones para participar en la explotación de la tecnología fotovoltaica para generar electricidad. Ya se mencionó arriba la creación de facilidades para importar estos sistemas incluyendo la exoneración del pago del arancel aduanal establecido. Otra de ellas es la contratación de potencia fotovoltaica (Ávila, 2021).

La potencia fotovoltaica a contratar se financia haciendo un depósito a la cuenta en Moneda Libremente Convertible creada por la Unión Eléctrica (UNE) para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el país. En el caso de la modalidad de contratación de potencia fotovoltaica mediante el desembolso de MLC, solo los altos consumidores de electricidad recuperarían su inversión en un tiempo razonable. La cantidad mínima a contratar es de 0,5 kW/h, para lo cual el cliente deberá transferir 750 USD a la citada cuenta de la UNE (Ávila, 2021).

También existe la opción de pagar en moneda nacional. Las cifras a desembolsar son en general altas. La utilización de la tecnología fotovoltaica inició su despegue en Cuba, y las perspectivas son que su penetración en el Sistema Eléctrico Nacional siga en aumento en los próximos años. Ello nos aportaría independencia energética, reduciría la elevada huella de carbono de nuestra generación eléctrica y ayudaría a reducir de forma gradual, los gastos en divisas en que se incurre para garantizar la generación eléctrica del país (Ávila, 2021).

1.7 Partes y funcionamiento de un SSFV

1.7.1 Radiación solar

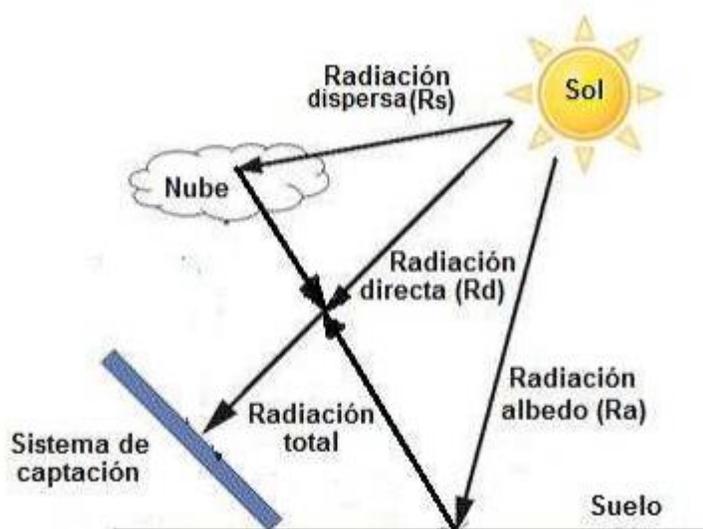
La radiación solar es la energía electromagnética que surge en los procesos de fusión del hidrógeno contenido en el Sol. La energía solar que en un año llega a la Tierra a través de la atmósfera es aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la Tierra fuera de la atmósfera de la cual 70% llega al mar y la energía restante (1.5×10^{17} kW-h) a tierra firme. La radiación solar recolectada fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a 1353 W/m^2 , variable durante el año en un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es de aproximadamente 1000 W/m^2 , en condiciones óptimas de Sol a mediodía y en un día de verano despejado (Loeza Salcedo, Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o dispersa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un ángulo de incidencia único y preciso, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Cuando la radiación directa no incide sobre una superficie a causa de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras debido a la contribución de

la radiación dispersa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos (FV), que pueden funcionar en algunos casos solamente con radiación dispersa. Una superficie inclinada puede recibir la radiación reflejada por el terreno, por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo. Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo (figura 1.8) recibida por una superficie dependen de:

- Las condiciones meteorológicas: En un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina la componente directa que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.
- La inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: Una superficie horizontal recibe la radiación dispersa máxima si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie.
- La presencia de superficies reflectantes: Debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación albedo aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno. (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012)

Figura 1.8: Componentes de la radiación solar terrestre.



Nota: (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

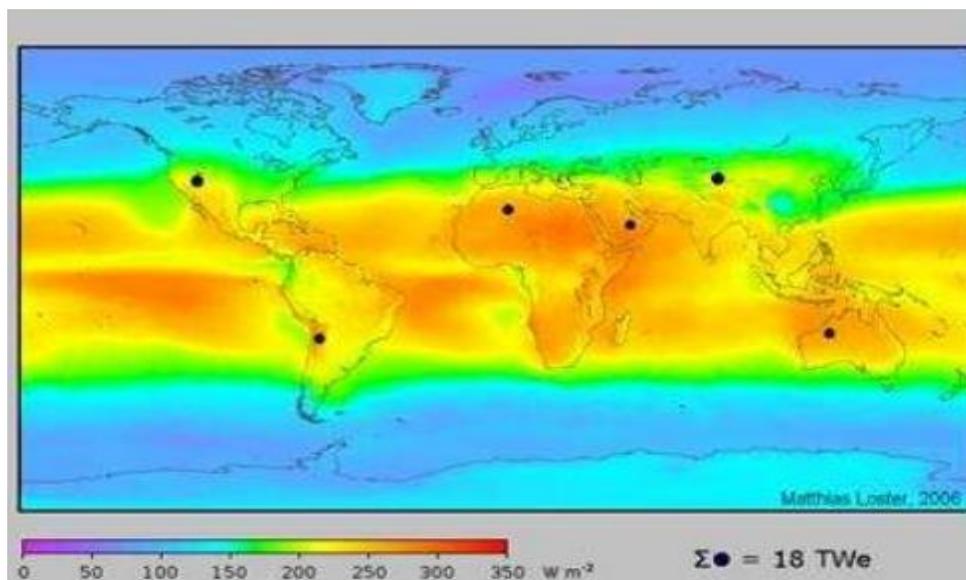
La relación entre la radiación dispersa y la total, varía en función del lugar, ya que, al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente albedo. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar. La posición óptima se obtiene cuando la superficie está orientada al Sur, esto maximiza la radiación solar captada recibida durante el día, con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar. La radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$R_t = R_d + R_s + R_a \quad (1)$$

Donde: R_d es la radiación directa, R_s es la radiación dispersa y R_a corresponde a la radiación de albedo como se muestra en la figura 1.8.

El aprovechamiento de la energía del Sol está condicionado por la intensidad de radiación que se recibe en la Tierra (figura 1.9). La radiación varía según la latitud del lugar, el momento del día, las condiciones atmosféricas y climatológicas. La unidad métrica utilizada para la radiación es el W/m^2 que expresa la cantidad de energía que llega a un área de un metro cuadrado (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Figura 1.9: Intensidad de radiación solar a nivel mundial.



Nota: (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

El fenómeno de la radiación solar permite obtener la energía del sol para ser aprovechada de distintas formas y por distintos dispositivos, como son:

- Energía fototérmica: Cuando la radiación solar es aprovechada para el calentamiento.
- Energía fotovoltaica: Cuando la radiación solar se aprovecha para la generación de electricidad a través del efecto FV.

Cuba tiene una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio como lo muestra la figura (1.9) la zona norte es de las más soleadas del mundo con una radiación media anual de aproximadamente 5 kWh/m². Por lo que es uno de los países a nivel mundial que presenta condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de este tipo de energía, sin embargo, este potencial no se ha aprovechado ampliamente.

Figura 1.10: Potencial de Sistema Fotovoltaico.



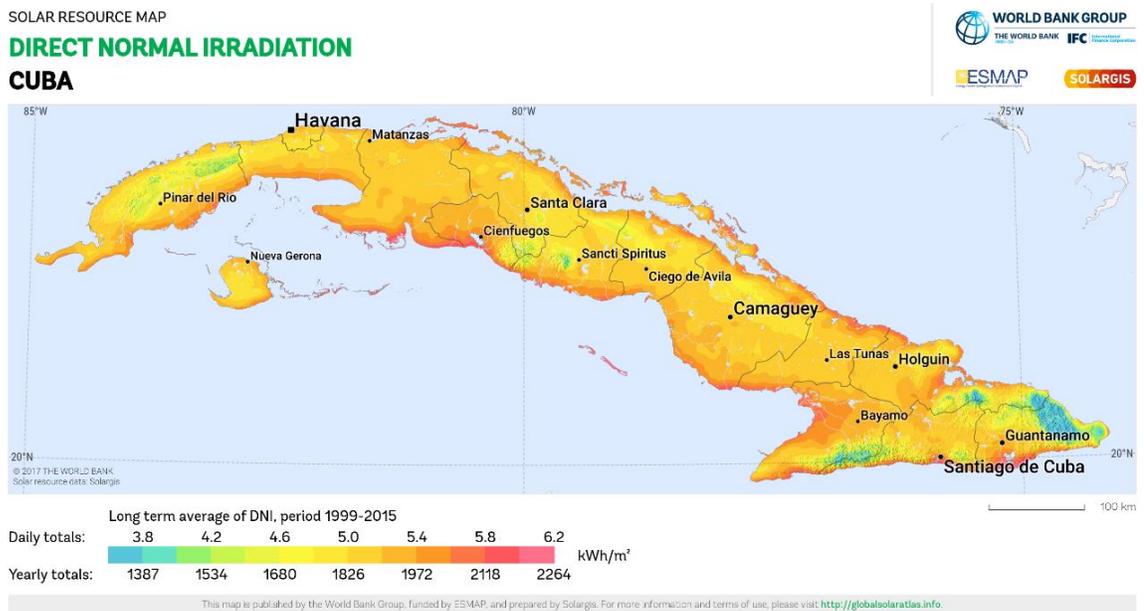
Nota: (Group, 2017).

Figura 1.11: Radiación horizontal global.



Nota: (Group, 2017).

Figura 1.12: Radiación normal directa (Group, 2017).



Nota: (Group, 2017).

1.7.2 Efecto fotovoltaico

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto FV. El objeto físico en el que este fenómeno tiene lugar es la celda solar, que es un diodo con la característica esencial de tener una superficie de unas decenas de cm^2 . Para describir el efecto FV se emplea conceptualmente el funcionamiento del diodo unión n-p (figura 1.13), el elemento más utilizado para la realización de las celdas solares es el silicio (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

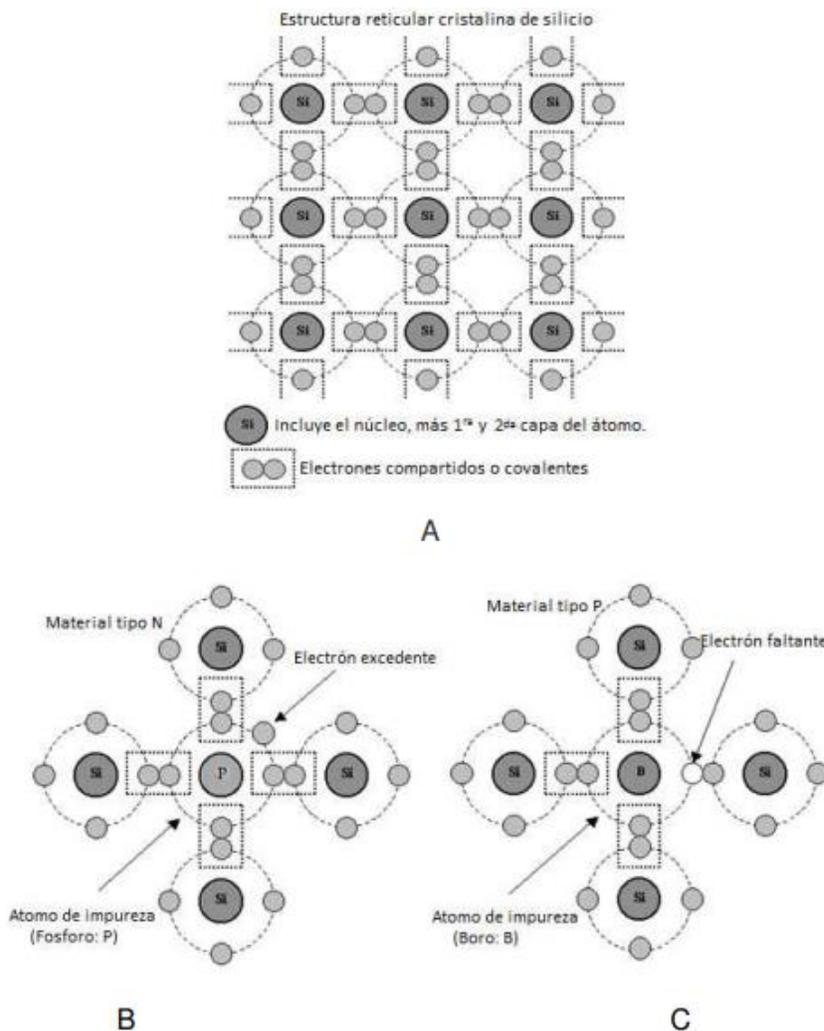
Figura 1.13: Símbolo del diodo.



Nota: (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

El silicio tiene 14 electrones de los que 4 son de valencia, disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro, cada átomo está unido de forma covalente con otros 4 átomos, así que dentro del cristal en consecuencia del enlace químico no hay electrones libres. Algunos átomos de silicio en cristal se sustituyen con átomos de fósforo, elemento que tiene 5 electrones de valencia: 4 serán utilizados para enlaces químicos con átomos adyacentes de silicio, mientras que el quinto puede ser separado del átomo de fósforo mediante energía térmica y así tener libertad de movimiento. De forma análoga, si la sustitución se realiza con átomos de boro, que sólo tiene 3 electrones de valencia, faltará un electrón para completar los enlaces químicos con los átomos adyacentes de silicio. Este electrón que falta actúa como si fuera un electrón positivo y se llama agujero o hueco, (figura 1.14).

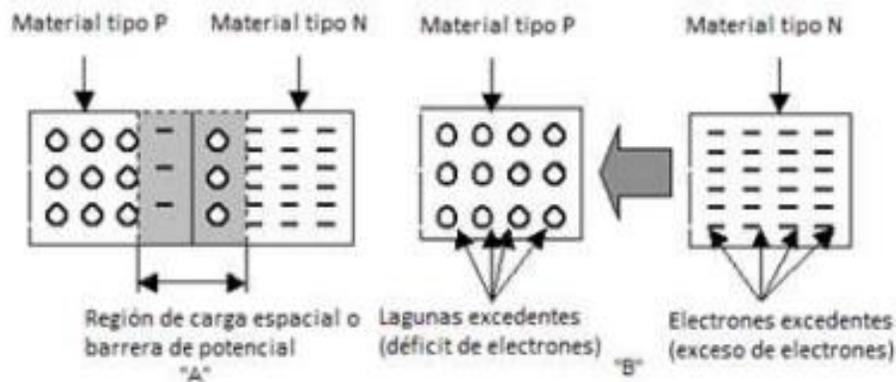
Figura 1.14: Comportamiento del silicio en una celda solar. A, estructura de Si; B, estructura del Si con P; C, estructura del Si con B.



Nota: (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

En el enlace con fósforo, los portadores de carga libres son negativos y el material es llamado de tipo “n”, mientras en la sustitución de átomos de silicio con átomos de boro, los portadores de carga son positivos y el material es llamado de tipo “p” (figura 1.14 “B”). La unión “n-p” se realiza uniendo una barra de material de tipo “n” con una barra de material de tipo “p” (figura 1.14 “A”).

Figura 1.15: Estado de equilibrio de una unión “n-p”.



Nota: (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Los electrones libres en el material “n” verán a la izquierda una región en la que no existen electrones libres y habrá un flujo de estos portadores hacia la izquierda en el intento de restablecer el equilibrio. De forma análoga, los huecos verán a su derecha una región en la que no hay huecos y habrá un flujo de cargas positivas hacia la derecha. Por consiguiente, en la región de unión de los dos materiales se ha creado un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los huecos y los electrones continúan difundándose hacia lados opuestos. El proceso continúa hasta que el potencial eléctrico alcanza un tamaño que impide la posterior difusión de electrones y huecos. Cuando se alcanza este equilibrio se habrá creado un campo eléctrico (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

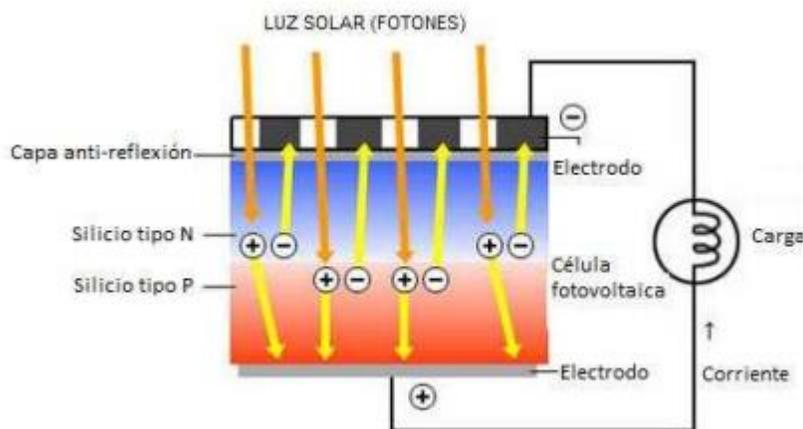
Por lo que el efecto FV se da de la siguiente forma: Si un fotón (partícula que constituye un rayo solar) entra en la zona “p” del material con una energía mayor que la barra de potencial será absorbida y creará una pareja electrón-hueco. El electrón liberado se moverá hacia la derecha a causa del potencial eléctrico. En cambio, si un fotón entra en la zona “n”, el hueco creado se moverá hacia la izquierda. Este flujo producirá una acumulación de cargas positivas en la izquierda y de cargas negativas en la derecha, dando origen a un campo eléctrico. Cuantos más fotones llegan a la unión, los campos tienden a anularse el uno con el otro, hasta llegar al punto en el que ya no haya un campo interno que separe cada pareja electrón hueco. Esta es la condición que

determina la tensión a circuito abierto de la celda FV. Finalmente, poniendo unos electrodos (contactos metálicos) sobre la superficie de la celda se puede utilizar el potencial creado (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

1.7.3 Celda fotovoltaica

La celda FV es un dispositivo formado por una lámina delgada de material semiconductor. Una celda FV tiene un espesor entre 0.25 mm y 0.35 mm y es de una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximada de 100 cm². Para la realización de las celdas el elemento más utilizado es el silicio usado por las industrias electrónicas cuyo proceso de fabricación presenta costos muy altos por la pureza del Si requerida en esta aplicación. Actualmente, el material más eficiente es el silicio mono-cristalino que presenta características y duración en el tiempo superior a cualquier otro material utilizado para el mismo fin; la conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la celda FV (figura 1.16) (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Figura 1.16: Sección de una celda Fotovoltaica.



Nota: (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Otros materiales para la realización de las celdas FV son:

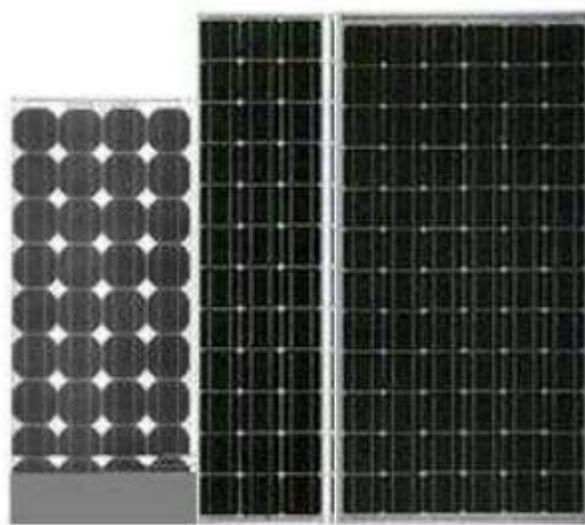
- Silicio Mono-cristalino con rendimiento energético desde 15% hasta 17%.
- Silicio Poli-cristalino con rendimiento energético desde 12% hasta 14%.

- Silicio Amorfo con rendimiento energético menor del 10%.
- Otros materiales son: Arseniuro de galio, di seleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

1.7.4 Módulos fotovoltaicos

Las celdas FV constituyen un producto intermedio de la industria FV, proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Por lo que estas son ensambladas para constituir una estructura única: los módulos FV. El módulo FV es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las celdas FV. Los módulos pueden tener diferentes tamaños desde 0.5 m² hasta 1.3 m² y constan normalmente de 36 celdas conectadas eléctricamente en serie (figura 1.17) (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Figura 1.17: Módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.



Nota: (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Las características eléctricas principales de un módulo FV son las siguientes:

- Potencia pico: Potencia suministrada por el módulo en condiciones normalizadas de prueba).
- Radiación solar: 1000 W/m².

- Temperatura: 25 °C.
- Corriente nominal: Corriente máxima suministrada por el módulo.
- Tensión nominal: Tensión máxima suministrada por el módulo.

Los módulos formados tienen una potencia entre los 50 Wp y 150 Wp, según el tipo y la eficiencia de las celdas que lo componen. El peso de los módulos se considera de 15 kg/m²; en su caso, la estructura de soporte de los módulos pesa otros 10 kg/m². Los efectos del viento se suponen en algunos casos una carga adicional. Si los módulos se instalan en tejados y terrazas, el peso de los módulos no suele representar ningún problema, pero siempre es recomendable consultar la normativa vigente de edificación, aunque raramente habría que reforzar las estructuras. En el caso de edificios nuevos o de reformas importantes, el módulo FV se puede integrar en el edificio facilitando su instalación, optimizando su rendimiento y reduciendo costos (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

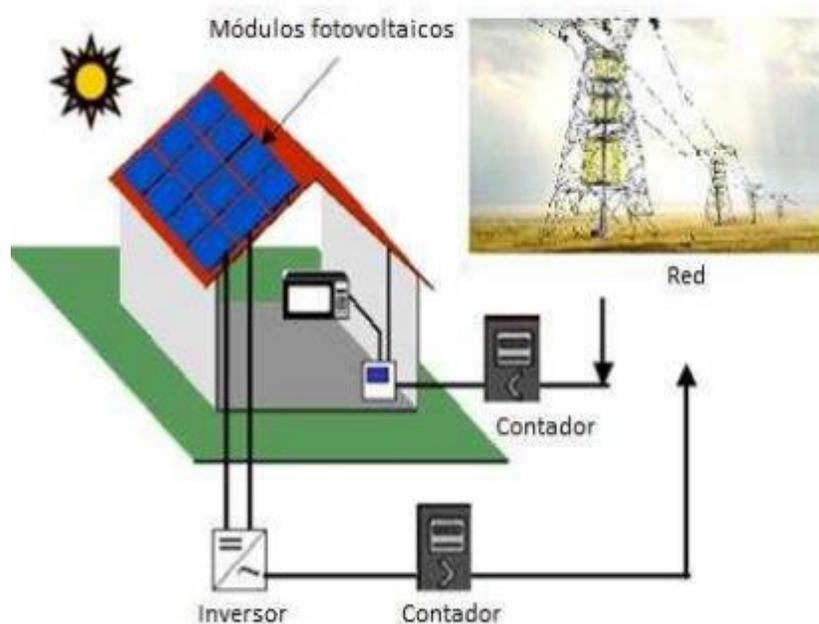
Los módulos FV generan electricidad durante todo el año, mientras se tenga radiación solar. Normalmente en verano es cuando más electricidad genera, debido a la mayor duración del tiempo soleado, aunque la inclinación de los módulos también es importante. En los días nublados también se genera electricidad, aunque el rendimiento energético se reduce proporcionalmente a la reducción de la intensidad de la radiación. La vida de los módulos FV está entre 25 y 30 años; en el mercado se tienen módulos con garantías de 10, 15 y 20 años. Estos componentes nunca dejan de generar electricidad, aunque por lo menos en 10 años las celdas FV reducen su potencia en un 10% (Loaeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

1.7.5 Sistemas fotovoltaicos (SFV)

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, por lo que un SFV está formado por el conjunto de paneles FV, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable. Los SFV generan electricidad a partir de la intensidad de la radiación solar, no del calor; por lo que el frío no representa ningún problema para el aprovechamiento.

Los paneles FV pueden ser conectados en serie, en paralelo o la combinación adecuada para obtener la corriente y tensión eléctrica necesaria para una determinada aplicación. Los módulos FV que forman el SSFV (figura 1.18), están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar. La cantidad de energía producida por un SFV varía durante el año en función de la radiación de la localidad y de la latitud de la misma (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Figura 1.18: Sistema fotovoltaico conectado a la red.



Nota: (Loeza Salcedo , Ramiro Carmona, & Tenorio Caselin, 2012).

Para cada aplicación, el SSFV tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Carga eléctrica.
- Potencia pico.
- Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.
- Características arquitectónicas específicas del edificio.
- Características eléctricas específicas de la carga.
- Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

1.8 Conclusiones parciales del capítulo.

1. En la actualidad la crisis energética mundial donde la volatilidad de precios del petróleo y su acceso se hace más difícil, del que la que Cuba no está exenta; el uso de las FRE reviste de importancia, especialmente la energía solar cual en el país tiene una alta potencialidad.
2. En Cuba ha habido un incremento en los últimos años en cuanto a la potencia instalada de SSFV, sin embargo, dista bastante de la capacidad necesaria para suplir parte significativa de la demanda energética del país dado a que el país en su Plan de Desarrollo para el 2030 planea suplir un 37 % de la demanda eléctrica con FRE de las cuales el 12 % sería utilizando SSFV.

Capítulo 2: Caracterización del lugar de colocación del SSFV y especificaciones del módulo e inversor a utilizar

2.1 Introducción al capítulo

En este capítulo se realiza una descripción de la minindustria cárnica teniendo en cuenta su posición geográfica y particularidades constructivas, así como una caracterización energética de la misma. Además, se presenta el módulo y el inversor a emplear para el análisis del SSFV.

2.2 Localización del emplazamiento para el montaje del SSFV

La UEB Integral Agropecuaria Aguada, está ubicada en el Batey Perseverancia del Municipio Aguada de Pasajeros Provincia de Cienfuegos a 10 Km de la cabecera municipal, a los 20°21'20" de latitud Norte y los 80°40'20" de longitud Oeste en la llanura de Cienfuegos.

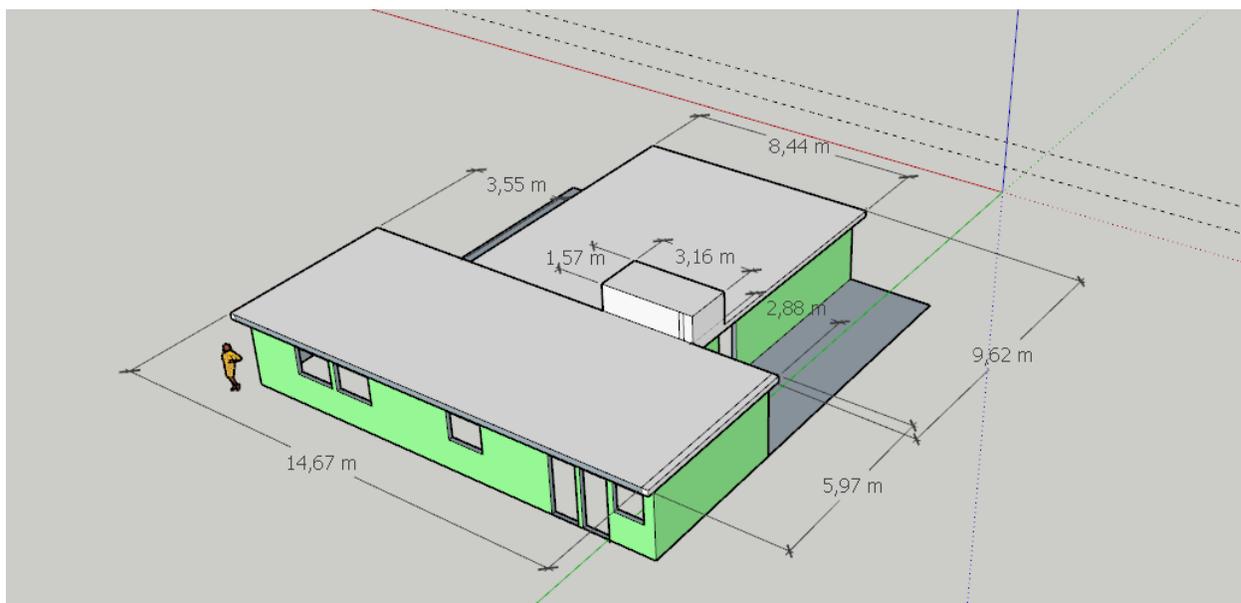
Posee una superficie geográfica de 11 513,96 ha con área agrícola de 26 451.65 ha, de ellas cultivos varios 1529,8 ha, en ganadería 9571.98 ha, en forestal 1941,98 ha, de ellas forestada 1380,7 ha. Cuenta con dos minindustrias una dedicada a la venta al turismo, Centro Cárnico "La Larguita" y otra fundamentalmente a otras empresas y a la población que es la de Minindustria Láctea que cuenta también con una línea de Dulces y Conservas.

Figura 2.1: Vista satelital Centro Cárnico “La Larguita”
(22°21'36.149"N80°46'54.6172"W)



Por otra parte, la minindustria Centro Cárnico “La Larguita” tiene una orientación noreste, con una cubierta de hormigón de una superficie de 168,7 m².

Figura 2.2: Dimensiones de la cubierta de la edificación.



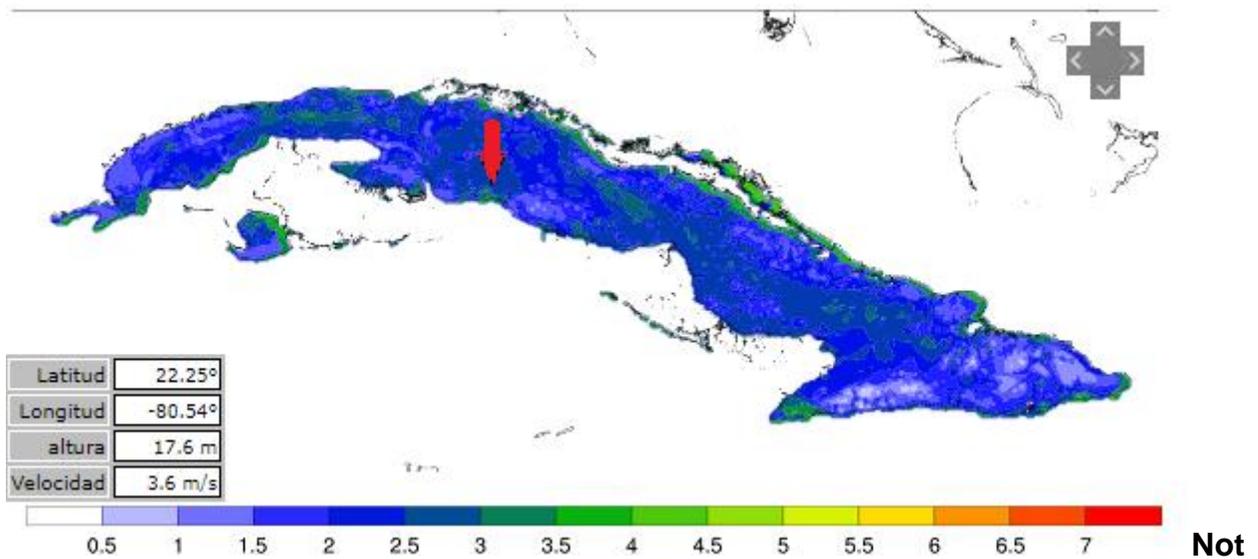
Nota: Elaboración propia.

Tabla 2.1: Valores medios anuales donde está ubicada la minindustria.

Valores medios anuales		
Temperatura del aire	24,5	°C
Humedad Relativa	76,7	%
Radiación solar diaria	5,06	kWh/m ² /día
Presión atmosférica	101,3	kPa.
Velocidad del viento	4,1	m/s
Temperatura del suelo	25,3	°C
Días Grado de calentamiento	0	°C-d
Días Grado de enfriamiento	5 290	°C-d anual

Nota: (Peña, 2021).

Figura 2.3: Velocidad promedio del viento en la zona de análisis.

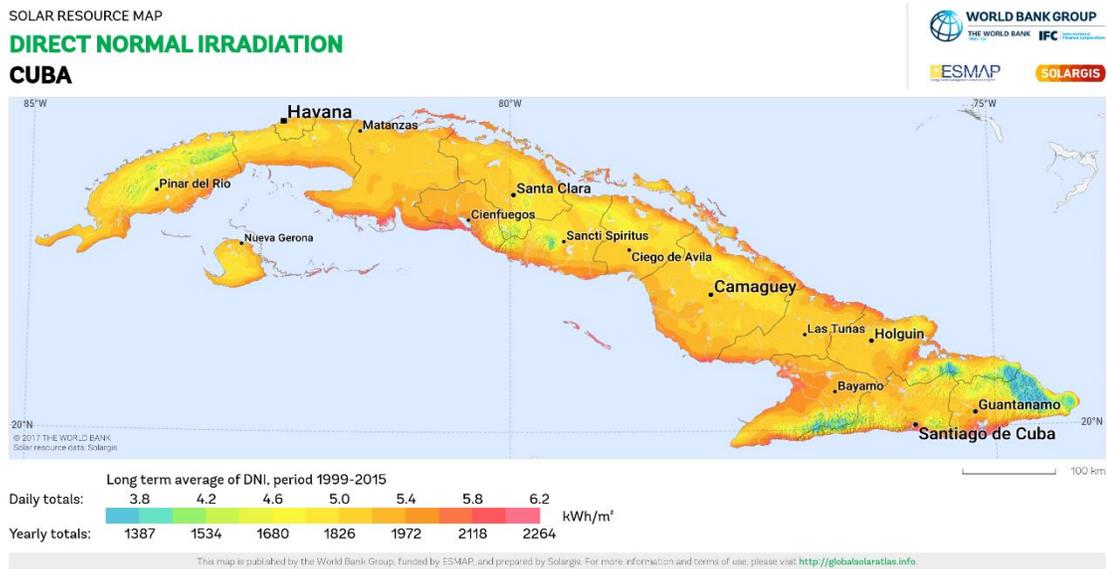


a: (Instituto de Meteorología de la República de Cuba , 2022)

La irradiación es uno de los datos importante a considerar en el diseño de la instalación ya que dicha irradiación solar son su fuente de energía. Se podría considerar que son directamente proporcional, si la temperatura se mantuviese constante. Los módulos fotovoltaicos son la herramienta que permiten convertir la energía recibida en forma de fotón a energía eléctrica (Peña, 2021).

El módulo debe situarse en posición perpendicular al sol porque de esta manera la mayor cantidad de radiación es captada.

Figura 2.4: Presenta el nivel de radiación para el emplazamiento donde se ubicarán los paneles fotovoltaicos.



Nota: (Group, 2017).

2.3 Módulo Fotovoltaico seleccionado

Los módulos fotovoltaicos se componen de células fotovoltaicas, las cuales se encargan de transformar la energía procedente de la luz. Dependiendo de cómo sea la forma de dichas células se pueden clasificar en distintos tipos de módulos fotovoltaicos. Los más comunes son los siguientes: Módulos con células de silicio monocristalino, compuestos por un único tipo de cristal de silicio.

Teóricamente se consideran módulos con mayor rendimiento (11% - 16%). 39 módulos de silicio policristalino, formados por diversos cristales de silicio unidos entre sí. Con menor rendimiento que los anteriores (10% - 14%) pero también más económicos.

- Módulos Thin film, con una capa fina de silicio. Con un rendimiento bastante inferior una vez se estabiliza al transcurrir un año de funcionamiento. Eficiencias entorno al 4%-7%. Tiene la ventaja de su bajo coste. La Figura 2.5 presenta el módulo fotovoltaico

disponible, este módulo fotovoltaico DSM-270 es de fabricación nacional en la empresa de componentes electrónicos (Peña, 2021).

El módulo fotovoltaico serie DSM– 270 está compuesto por 60 celdas solares de formato 156.75mm x 156.75mm, conectadas en serie. El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de 3,2mm por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo y una adherencia perfecta con el EVA (Numen Solar, 2022).

Figura 2.5: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico serie DSM– 270.

Especificaciones técnicas		
Celda	Celda Solar de Silicio Multicristalino 156.75mm x 156.75mm	
No. de celdas y conexiones	60 (6X10)	
Dimensiones del módulo	1650mm x 990mm x 40mm	
Cubierta frontal	Vidrio templado	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	18,1 Kg	
Características eléctricas		
Modelo	DSM-270	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	38.0	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	32,1	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	9.11	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	8,42	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	270	
Tolerancia [%]	±3	
STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5		
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85°C	
Voltaje máximo del sistema	1000 VDC	
Valor máximo del fusible de la serie	15A	
Parámetros térmicos		
NOCT	[°C]	45±2
Coefficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.04478
Coefficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.30537
Coefficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.41004

Nota: (Numen Solar, 2022).

Se asegura que la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos se mantendrá en (Numen Solar, 2022):

- 90% a los 10 años
- 80% a los 25 años
- 10 años de garantía contra defectos de fabricación.

Los módulos DSM cumplen con todos los requerimientos establecidos en las normas internacionales (Numen Solar, 2022):

- IEC 61215
- Edición 2, IEC 61730
- Clase de protección II.

Figura 2.6: Módulo fotovoltaico serie DSM– 270.



Nota: (Numen Solar, 2022).

2.4 Inversor seleccionado

El inversor seleccionado es del fabricante Senergytec de modelo SE 10KTL-D3.

Tabla 2.2: Especificaciones del inversor.

Fabricante	Senergytec
Modelo	SE 10KTL-D3
Unidad Nom. Potencia	10.00 kW
Número de inversores	2 * MPPT 50% 1 unidades
Potencia total	10.0 kW
Voltaje de funcionamiento	160-850 V
Potencia máx. (=>25°C)	11.00 kW
Proporción Pnom (CC:CA)	1.03

Nota: (Base de datos de PVsyst 7.1)

Figura 2.7: Inversor SE 10KTL-D3.



Nota: (senergytec ,2022).

2.5 Caracterización energética de la minindustria

La minindustria cárnica cuenta con un consumo anual de aproximadamente 130 MWh y un consumo mensual de aproximadamente 11200 kWh, tiene contratada la tarifa eléctrica M1-A asignada al sector no residencial.

En dicha entidad los horarios laborales son de 8 am a 4 pm de lunes a viernes, sin embargo, los fines de semana continúan en operación los equipos de refrigeración de los productos cárnicos.

En la Tabla 2.3 se muestra el censo de carga de los equipos instalados y de su consumo eléctrico en el transcurso de un mes.

Tabla 2.3: Censo de carga de la minindustria cárnica.

Equipos de consumo eléctrico	Cantidad	Potencia (Watts)	Tiempo de Operación (Hrs)	Consumo total diario (kWh)	Consumo total MENSUAL (kWh)
Equipos de refrigeración y climatización					
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-541-301	2	10236	18	368,496	11054,88
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-404	1	8500	18	153	4590
Cámara de congelación (TECHNOBLOCK) Modelo: CBM-200 BY	3	3100	18	167,4	5022
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STL024Z014-11	1	1950	18	35,1	1053
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STM022Z014/41	1	1980	18	35,64	1069,2
Split (MIDEA) modelo : MFA1-96CRN1	1	1700	8	13,6	299,2
Split (TCL) modelo : TAC-12CSA	3	1250	8	30	660
Equipos de Oficina					
Computadoras de escritorio	1	18,6	8	0,1	3,3
Ventilador pequeño	1	27,586	8	0,2	4,9
Equipos de producción y luminaria					
Bomba de agua	1	800	4	3,2	70,4
Luminaria interior (lámparas de 20 W)	14	20	8	2,2	49,3
Luminaria interior (lámparas de 40 W)	10	40	8	3,2	70,4
Luminaria exterior	2	30	12	0,7	15,8
Embutidora	1	1600	6	9,6	211,2
Revolverdora	1	6240	6	37,4	823,7
Hielera	1	750	8	6,0	132,0
Grua de riel	1	3500	0,5	1,8	38,5
Marmita	1	5000	4	20,0	440,0
Cortadora	1	1800	6	10,8	237,6
Molino	1	4500	6	27,0	594,0
			Total	925,6	26.439,3

Nota: Elaboración propia.

Sin embargo, por cuestiones de falta de mantenimiento y roturas se encuentra fuera de servicio una parte de los equipos que están instalados, en la Tabla 2.4 se muestran los

equipos que actualmente se encuentran en servicio los cuales representan el 43% de la potencia total instalada.

Tabla 2.4: Censo de carga de los equipos que están en servicio y su consumo energético.

Equipos de consumo eléctrico	Cantidad	Potencia (Watts)	Tiempo de Operación (Hrs)	Consumo total diario (kWh)	Consumo total MENSUAL (kWh)
Equipos de refrigeración y climatización					
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-541-301	1	10236	18	184,248	5527,44
Cámara de congelación (TECHNOBLOCK) Modelo: CBM-200 BY	1	3100	18	55,8	1674
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STM022Z014/41	1	1980	18	35,64	1069,2
Split (MIDEA) modelo : MFA1-96CRN1	1	1700	8	13,6	299,2
Split (TCL) modelo : TAC-12CSA	3	1250	8	30	660
Equipos de Oficina					
Computadoras de escritorio	1	18,6	8	0,1	3,3
Ventilador pequeño	1	27,586	8	0,2	4,9
Equipos de producción y luminaria					
Bomba de agua	1	800	4	3,2	70,4
Luminaria interior (lámparas de 20 W)	14	20	8	2,2	49,3
Luminaria interior (lámparas de 40 W)	10	40	8	3,2	70,4
Luminaria exterior	2	30	12	0,7	15,8
Embutidora	1	1600	6	9,6	211,2
Revolverdora	1	6240	6	37,4	823,7
Grúa de riel	1	3500	0,5	1,8	38,5
Marmita	1	5000	4	20,0	440,0
Molino	1	4500	6	27,0	594,0
			Total	424,8	11.551,3

Nota: Elaboración propia.

En la minindustria cárnica durante el proceso productivo intervienes diferentes portadores energéticos, donde el de mayor relevancia es la energía eléctrica. La mayor parte de la demanda eléctrica se concentra en los procesos de almacenamiento y producción.

En el cual los equipos de climatización y refrigeración representan el 71% del consumo eléctrico total de la minindustria. Los cuales son 3 cámaras frías, 4 Split, 3 Split de la

marca TCL ,1 Split de la marca MIDEA, 1 cámara fría de la marca Carrier, 1 cámara fría de la marca TECHNOBLOCK y 1 cámara fría de la marca RIVACOLD.

Figura 2.8: Cámara fría de la marca Carrier, Modelo: 69NT40-541-301.



Figura 2.9: Cámara fría de la marca TECHNOBLOCK, Modelo: CBM-200 BY.

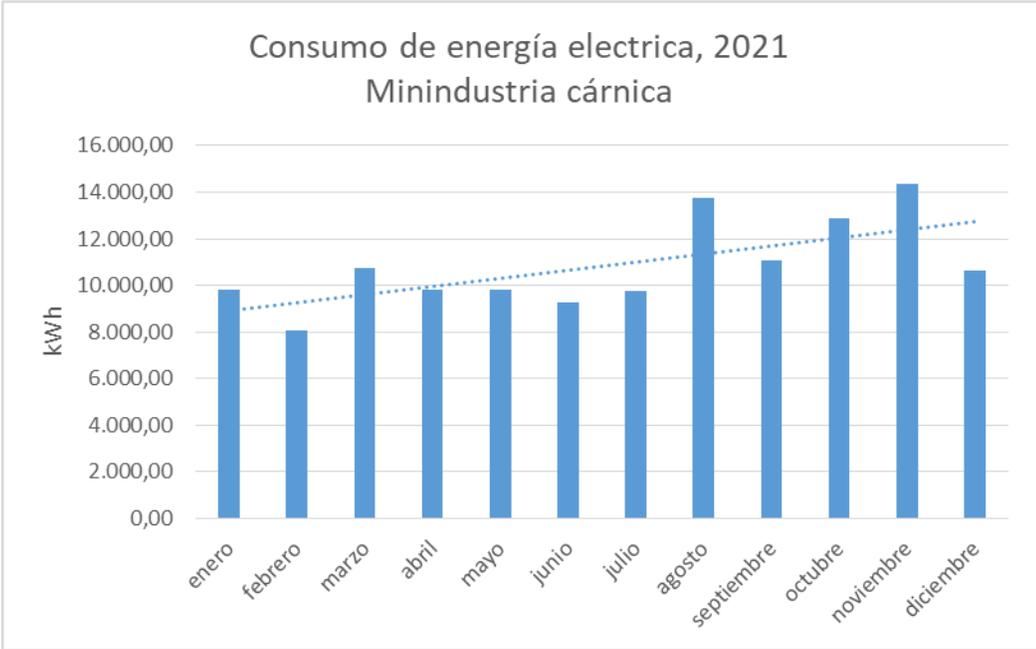


Figura 2.10: Cámara fría de la marca RIVACOLD Modelo: STM022Z014/41.



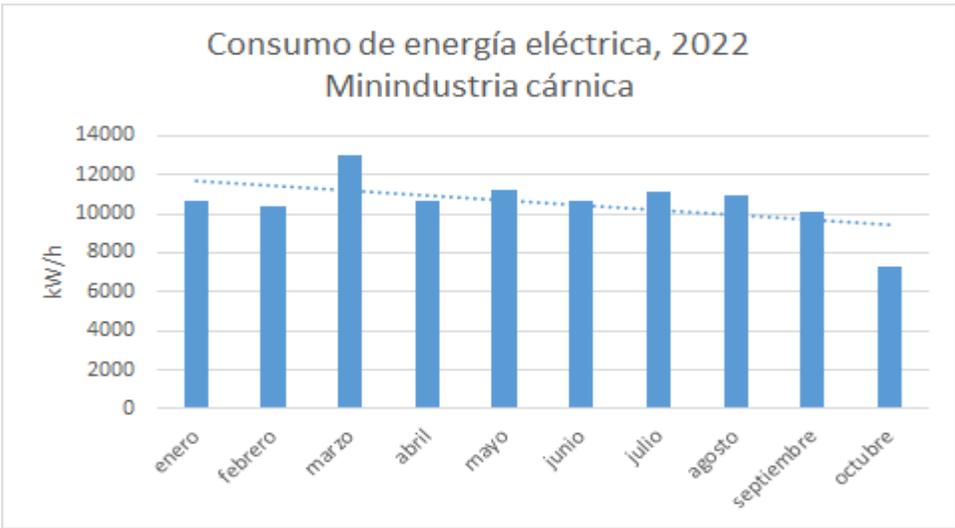
En la siguiente gráfica se muestra el consumo de energía eléctrica de la minindustria cárnica en el año 2021. Como se puede observar se aprecia una tendencia al aumento del consumo eléctrico.

Figura 2.11: Comportamiento del consumo de energía eléctrica minindustria cárnica, año 2021.



Nota: Elaboración Propia.

Figura 3.7: Comportamiento del consumo de energía eléctrica minindustria cárnica, año 2022.



Nota: Elaboración Propia.

2.6 Conclusiones parciales del capítulo

1. A partir del área asignada por la empresa y de las mediciones obtenidas in situ se disponen de 168,7 m² para la instalación del SSFV sobre la cubierta de concreto de la minindustria cárnica donde se emplearán los módulos DSM – 270 de fabricación nacional que son capaces de entregar 270 W por módulo y un inversor de modelo SE 10KTL-D3 de 11.00 kW.
2. La minindustria cárnica cuenta con un consumo mensual de 11 200 kWh de energía eléctrica de las cuales según el censo de carga los equipos de refrigeración representan el 71% de la demanda de energía eléctrica.

Capítulo 3: Propuesta del SSFV y Análisis económico

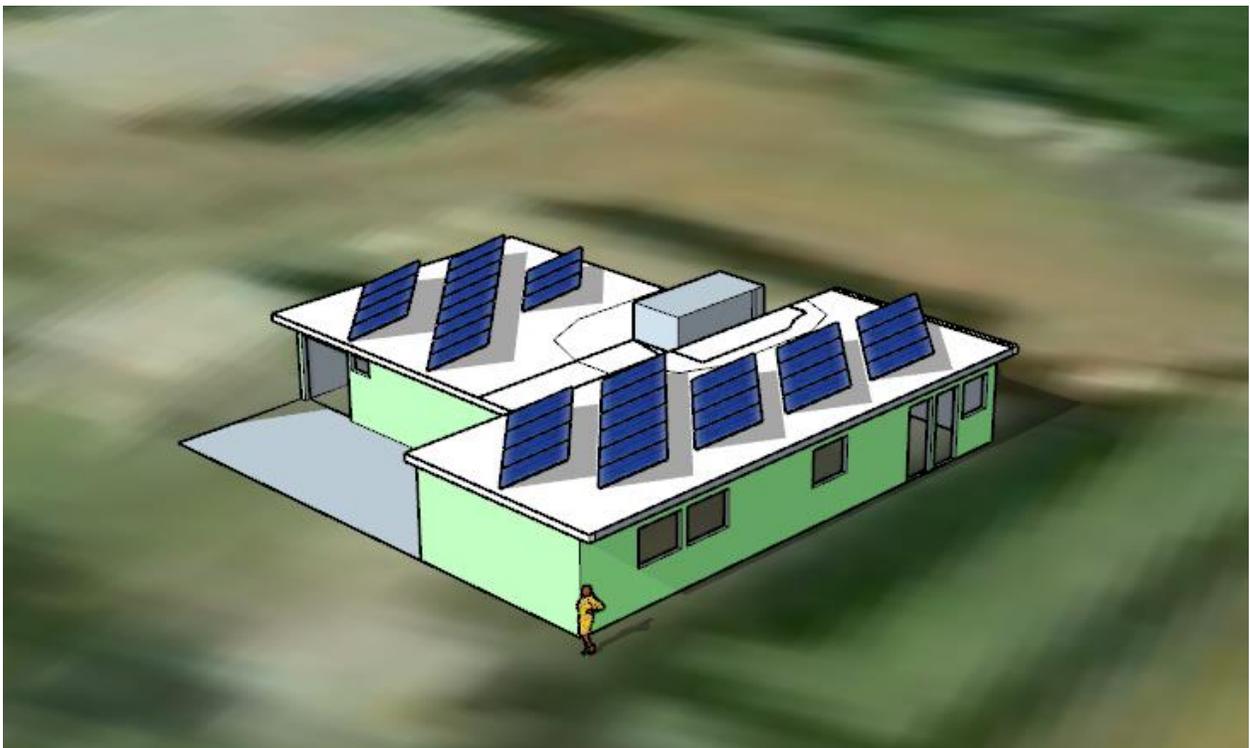
3.1 Introducción al capítulo

En este capítulo se propone el SSFV con la utilización del software PVsyst 7.1 mediante el cual se determinaron las principales características del sistema y se obtuvieron simulaciones con los principales parámetros de funcionamiento del mismo. También se realiza un análisis económico del SSFV donde se evaluó su factibilidad para la minindustria.

3.2 Análisis mediante PVsyst 7.1

Los paneles quedarán colocados sobre el edificio como muestra la Figura 3.1.

Figura 3.1: Colocación de los paneles sobre el edificio.



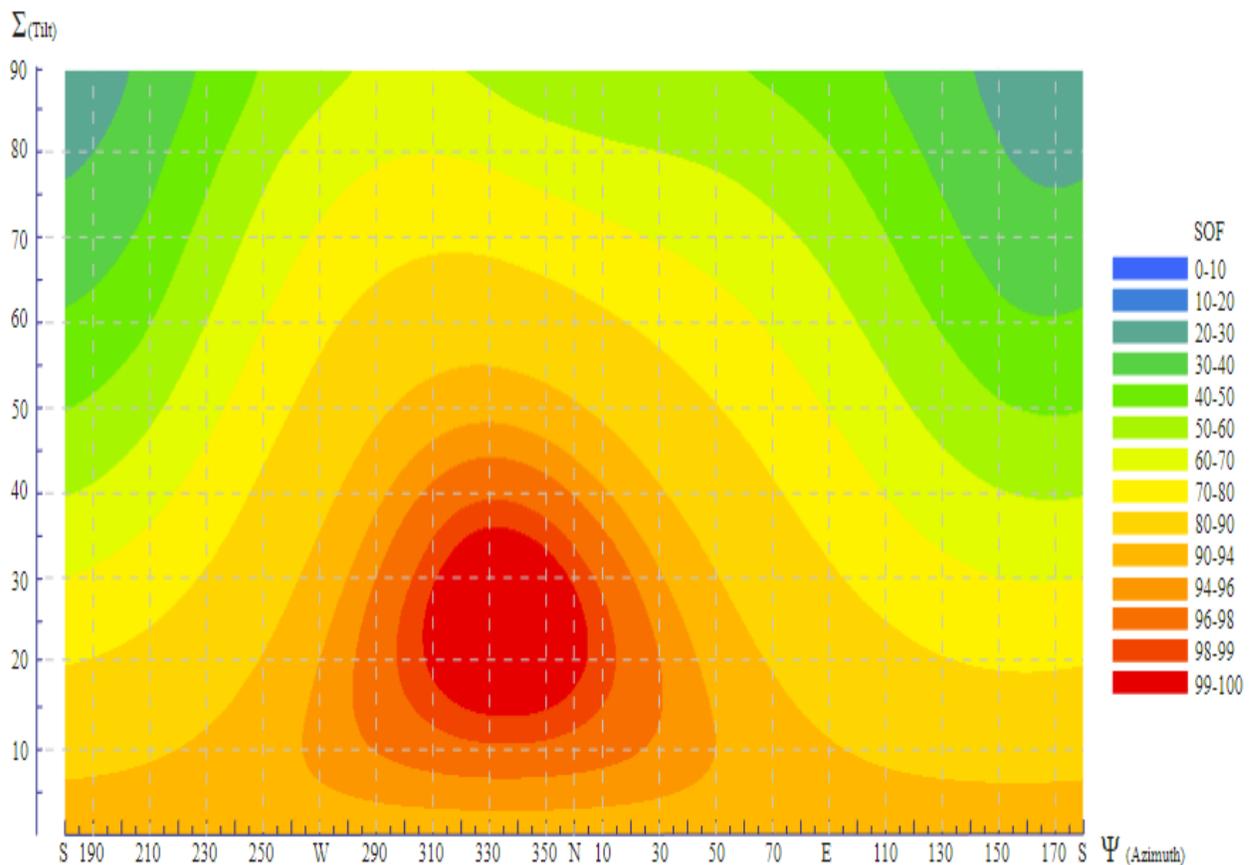
Nota: Elaboración propia.

Mediante el modelado 3D realizado con el software SketchUP Pro 2021 el edificio tiene capacidad para instalar 37 módulos de modelo DSM – 270 del fabricante NUMEN SOLAR que son ensamblados en el país en la provincia de Pinar del Río. Estos paneles tienen una potencia máxima de 270 W con una masa de 18,1 kg.

Tendrán una inclinación Tilt(Σ) de 25° y una orientación Azimuth (Ψ) de 156° , estos valores se obtuvieron mediante la herramienta Skelion del software SketchUP Pro 2021 simulando la inclinación más óptima de acuerdo a la geolocalización de la minindustria.

En la Figura 3.2 se muestra una gráfica donde se puede apreciar la zona óptima de obtención de energía.

Figura 3.2: Zona óptima de obtención de energía según los ángulos de inclinación y orientación Σ y Ψ .



Nota: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos mediante la simulación se muestran en la Figura 3.3.

El SSFV es capaz de generar 11 293 kWh/año lo cual representa el 13% de la demanda de energía eléctrica anual de la minindustria cárnica.

Figura 3.3: Tabla de resultados de la simulación con PVsyst.7.1.

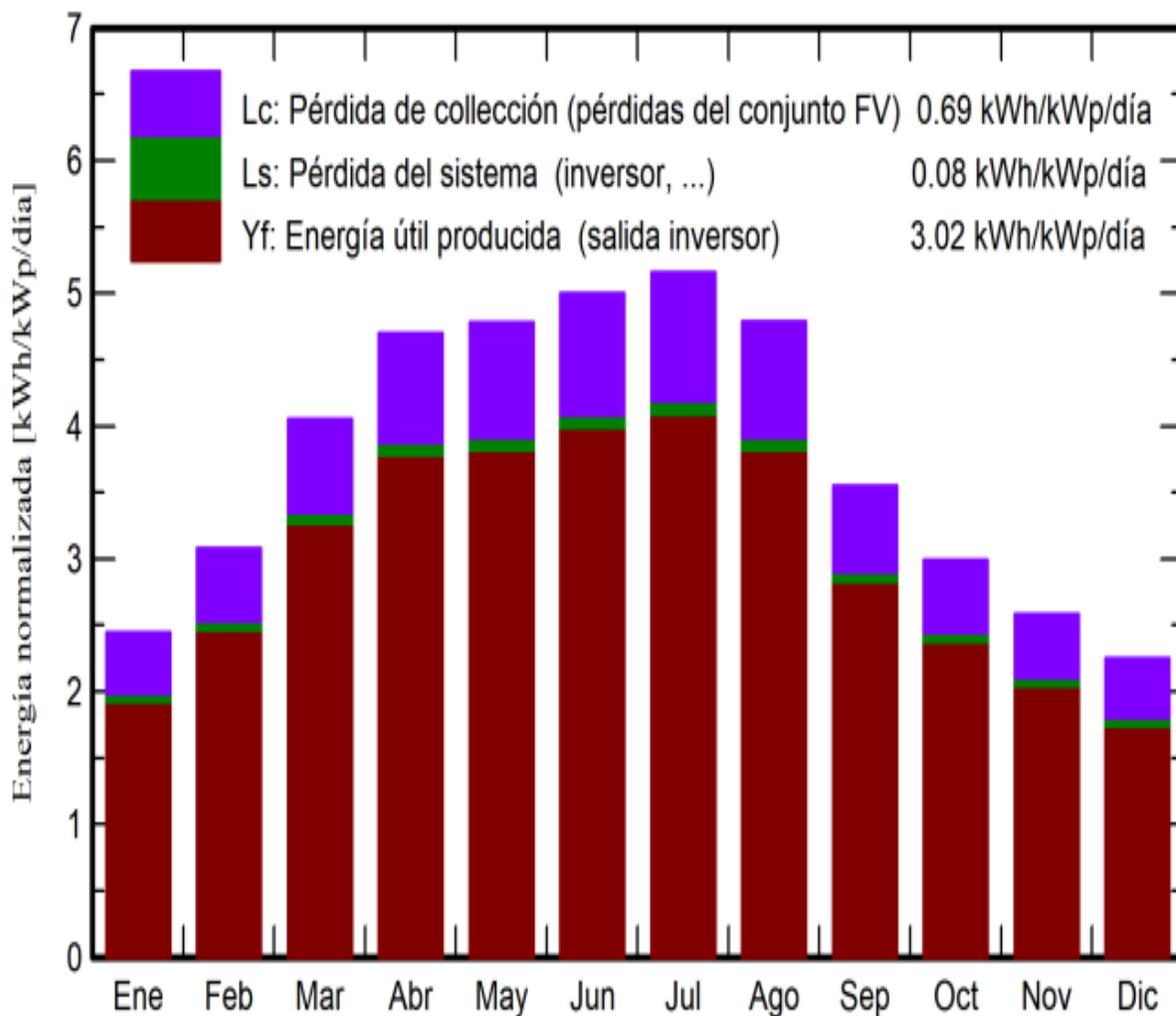
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR proporción	EArrMPP kWh	EArray kWh
Enero	115.7	51.76	19.70	75.8	67.5	633	612	0.787	633	633
Febrero	116.4	55.23	21.47	86.2	78.6	728	708	0.800	728	728
Marzo	152.9	83.75	23.64	125.7	116.6	1065	1039	0.806	1065	1065
Abril	157.3	85.70	24.35	141.0	132.2	1193	1164	0.805	1193	1193
Mayo	155.9	87.92	26.31	148.2	139.6	1246	1215	0.799	1246	1246
Junio	151.8	85.31	26.63	150.1	141.4	1258	1228	0.797	1258	1258
Julio	161.0	84.74	27.12	159.9	150.4	1334	1302	0.794	1334	1334
Agosto	158.7	83.02	26.98	148.4	140.1	1246	1215	0.798	1246	1246
Septiembre	123.8	66.31	25.52	106.6	99.0	895	870	0.795	895	895
Octubre	117.8	58.26	24.89	92.7	85.5	778	756	0.794	778	778
Noviembre	112.7	54.68	22.11	77.5	69.7	648	629	0.790	648	648
Diciembre	108.7	48.12	21.46	69.7	61.5	575	555	0.777	575	575
Año	1632.8	844.81	24.20	1382.0	1282.1	11599	11293	0.796	11599	11599

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_Grid	Energía inyectada en la red
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Proporción de rendimiento
GlobInc	Global incidente plano receptor	EArrMPP	Energía virtual del conjunto en MPP
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de la producción de energía a la salida del inversor y las pérdidas en el mismo.

Figura 3.4: Gráfico de Producciones Normalizadas: Potencia Nominal 10.26 kWp.



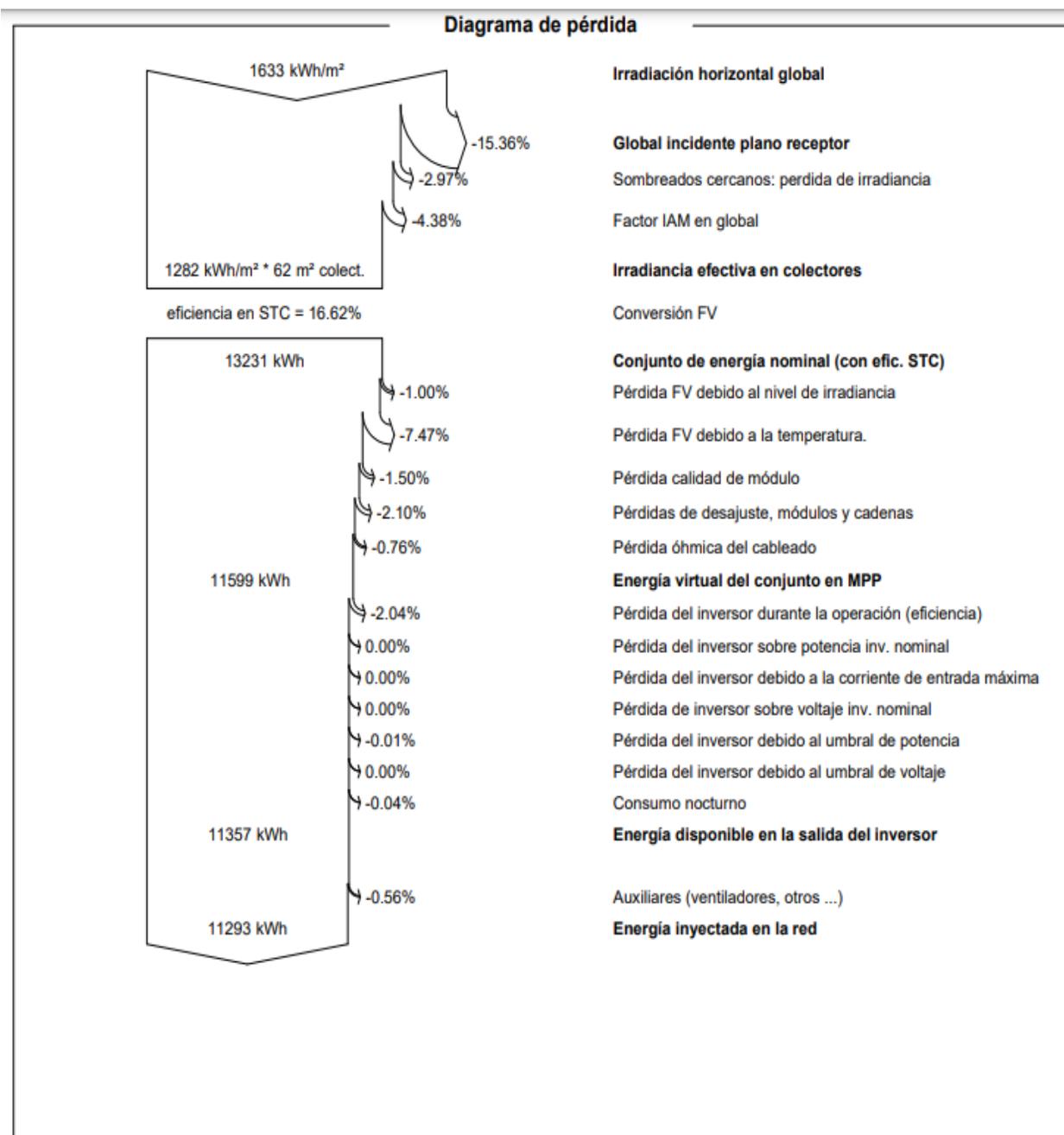
Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico la mayor obtención de energía útil que produce el sistema es durante los meses de verano, con su pico máximo en el mes de Julio alcanzando una entrega de energía de 4 kWh/kWp/día.

La Figura 3.5 muestra el balance del comportamiento de las variables que intervienen en la producción de energía de la instalación.

En el diagrama de la Figura 3.5 se puede observar en % las pérdidas del sistema fotovoltaico.

Figura 3.5: Diagrama de pérdidas del sistema.



Nota: Elaboración propia.

3.3 Análisis económico

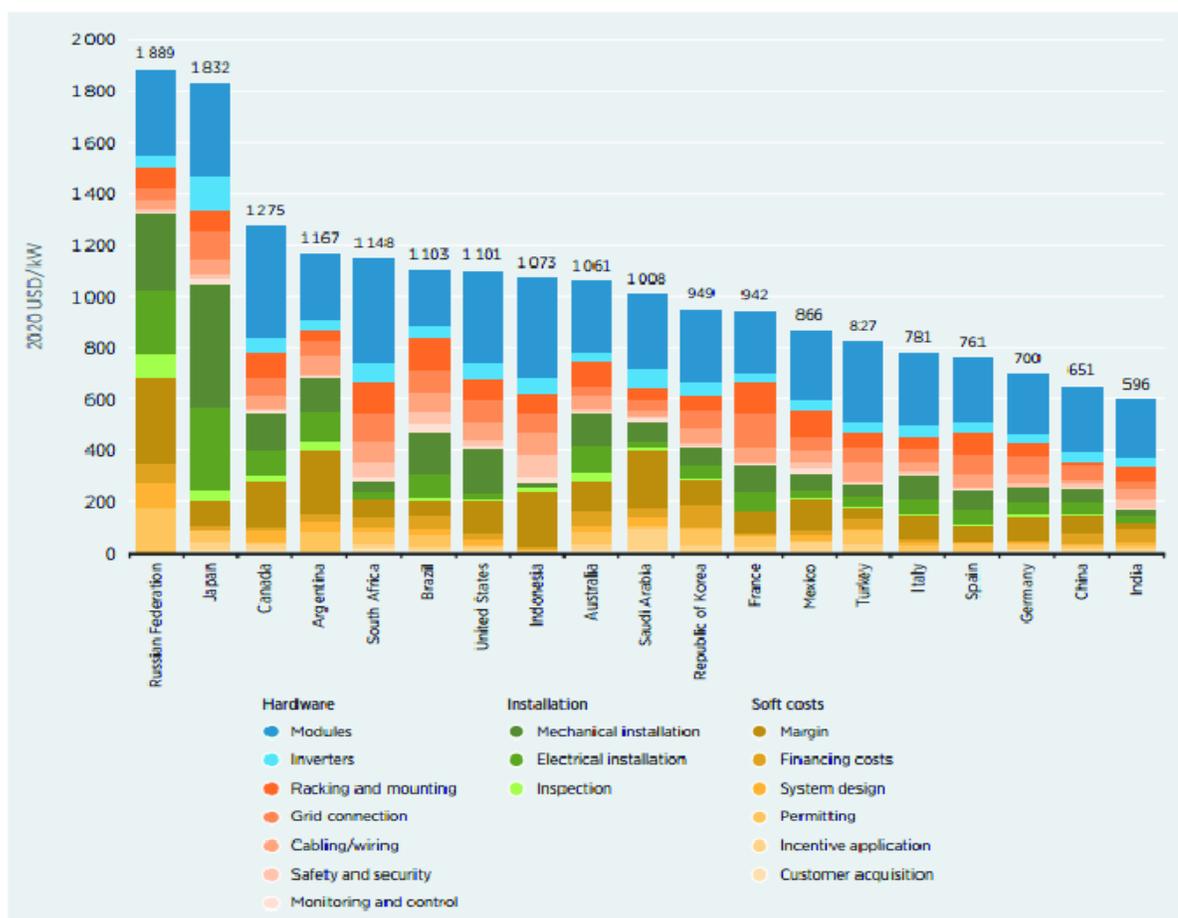
Para la evaluación económica se tomaron en cuenta todos los datos necesarios para un correcto análisis económico del sistema (Novygrad, 2021).

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

La información obtenida fue facilitada por COPEXTEL S.A que se encargada en la provincia de la instalación y mantenimiento del SSFV.

La información suministrada por la entidad indica que los costos de instalación son de 55 000 \$CUP/kWp que equivalen a 2 292 USD/kWp según la tasa de cambio vigente en el país (1 USD = 24 CUP). Este valor tan elevado en comparación con el resto de países a nivel mundial (Figura 3.6) se debe fundamentalmente a los altos costes de importación derivados de las consecuencias del bloqueo de Estados Unidos hacia Cuba y de la falta de competitividad interna.

Figura 3.6: Costo del kWp en diferentes países.



Nota: (IRENA, 2021).

3.3.1 Tasas a emplear en el análisis económico

Los valores de las tasas están dados en la tabla 3.1 según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012.

El impuesto sobre la ganancia es de 35%, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

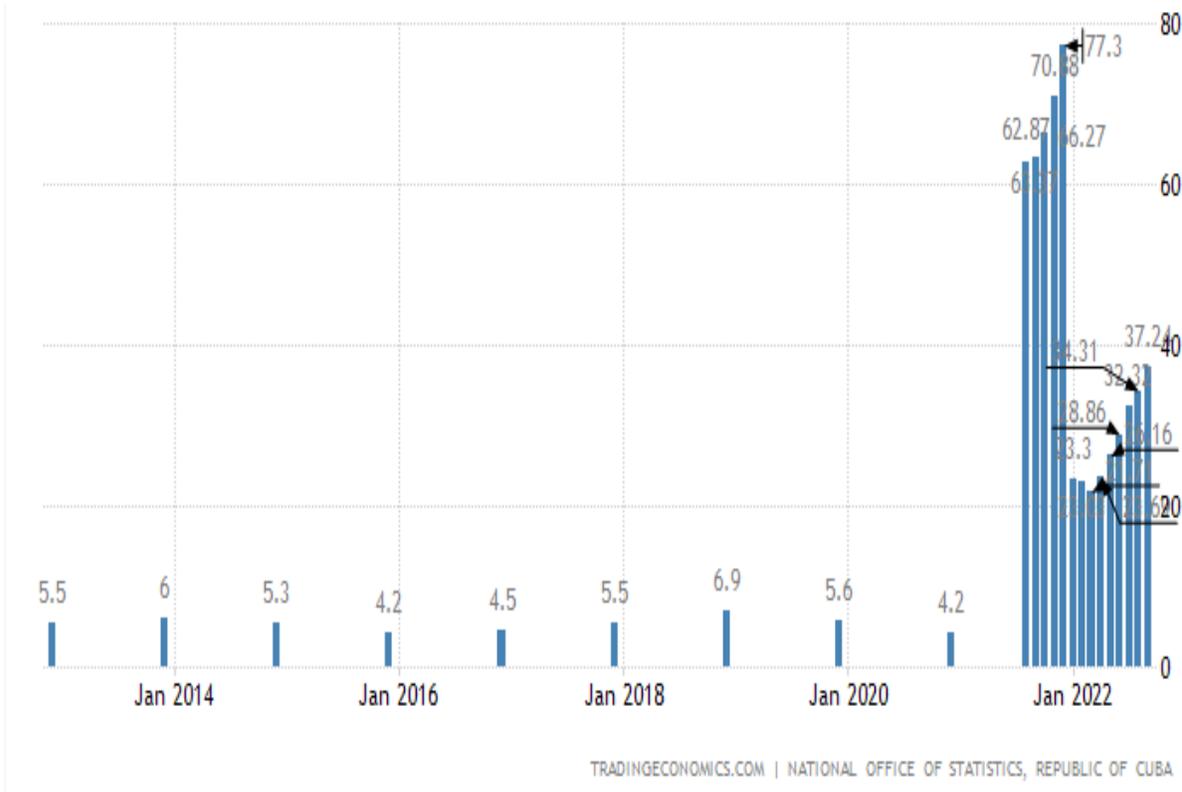
Tabla 3.1: Tasas de interés anual.

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

La tasa de inflación ha sido tomada de Trading Economic (Economics, 2022) y actualmente es de 37.24% con picos de 77% en los últimos 6 meses, sin embargo, debido a las altas fluctuaciones de la tasa de inflación en los últimos 2 años se recomienda según varios especialistas consultados, tomar como valor el 23,22% como valor promedio de los últimos 2 años a partir del reordenamiento monetario iniciado el 1ro de enero del 2021, que es más representativo para una proyección de la inversión. Se considera la tasa de descuento de 8% y el margen de riesgo de 3%.

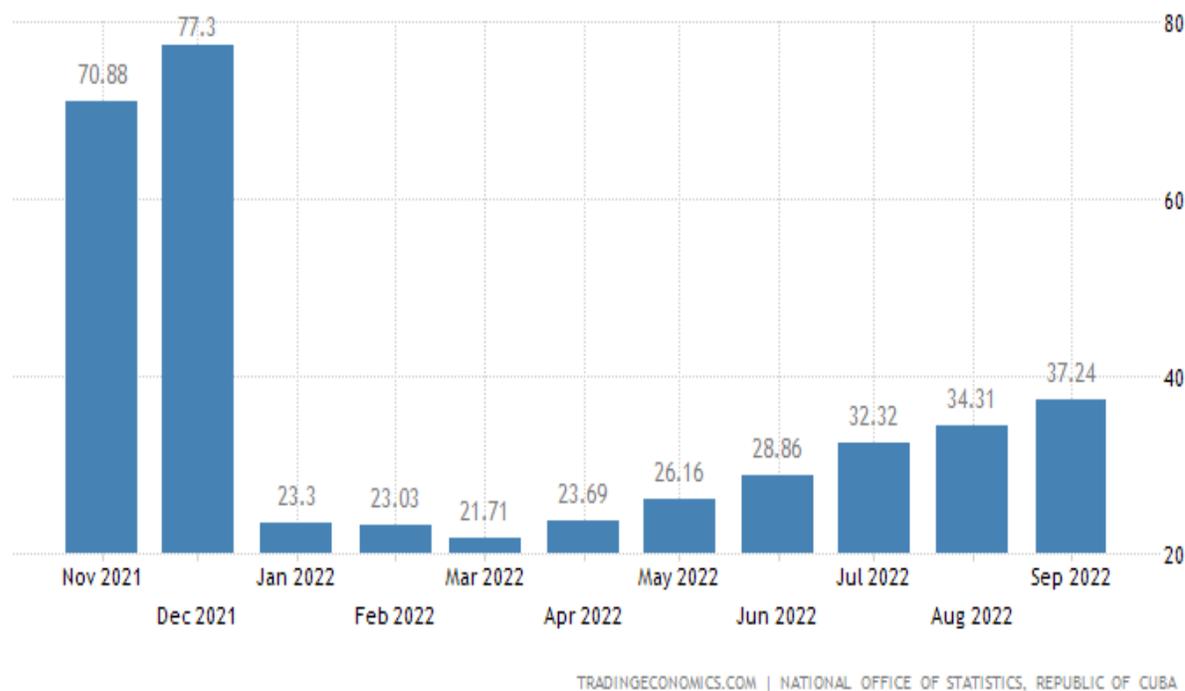
A modo de comparación se realizó un segundo análisis con la tasa actual de inflación que es de 37.24% (Economics, 2022). Se tomó como período para que la inversión sea factible un plazo de 10 años período, durante el cual la empresa considera factible la inversión.

Figura 3.7: Tasa de inflación en cuba en un periodo de 10 años.



Nota: (Economics, 2022)

Figura 3.8: Tasa de inflación en cuba en un periodo de 1 año.



Nota: (Economics, 2022)

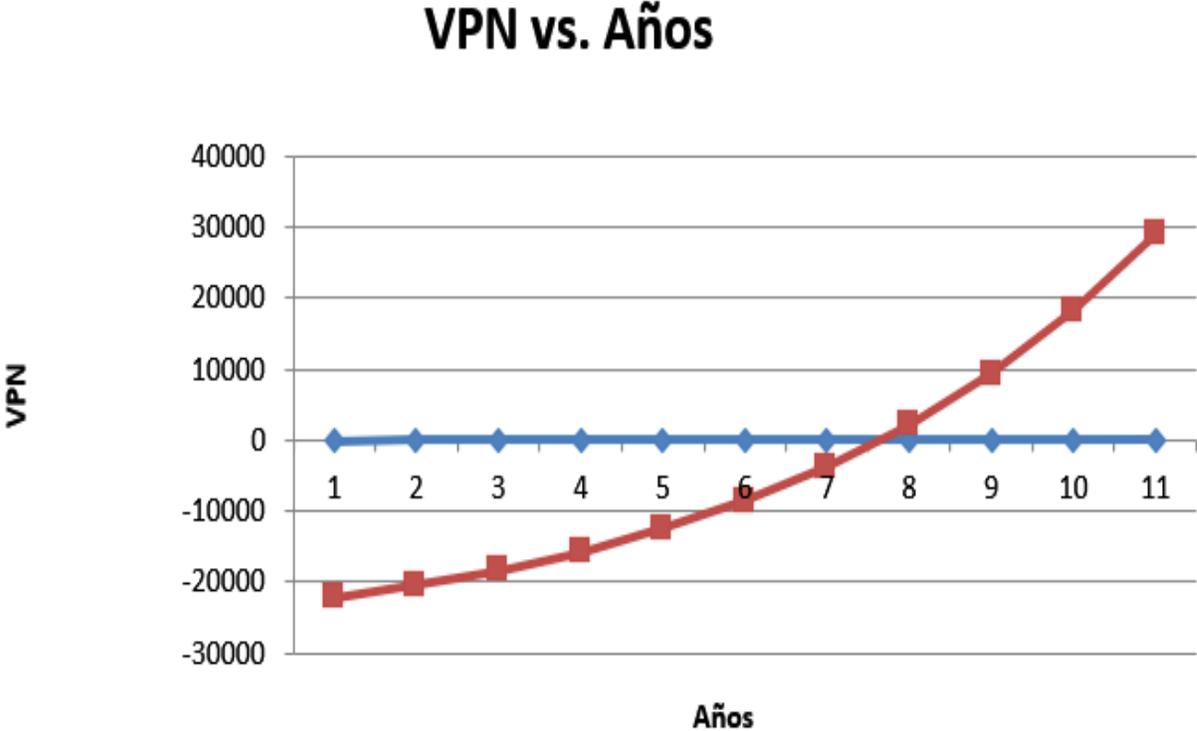
3.3.2 Resultados del análisis económico

Teniendo en cuenta que el SSFV funcionará en horarios laborables y que este no supe enteramente la demanda eléctrica de la minindustria cárnica en un mes, que es de aproximadamente 11 200 kWh, se tomó como valor del kWh producido por el SSFV el valor de la tarifa contratada con la empresa eléctrica en el horario pico del mediodía ya que coincide con la capacidad máxima de generación del SSFV la cual sería la tarifa M1-A con un valor de 4,01 CUP (0,16 USD) por kWh según la Resolución 66/2021 en su Anexo 2 en la Gaceta Oficial de la República de Cuba No.26 Extraordinario de 13 de abril de 2021 (CUBA, 2021).

Teniendo en cuenta estos datos la inversión para el SSFV sería de 22 269 USD (534 456 CUP) evaluados según los precios de COPEXTEL S.A, este sistema tendrá un ingreso anual de 1806 USD (43 344 CUP) por concepto de ahorro en la factura eléctrica, lo cual representa aproximadamente un 8% del total del costo de la factura eléctrica anual de la minindustria cárnica.

3.3.2.1 Inversión de 22269 USD con costo definido por COPEXTEL S.A

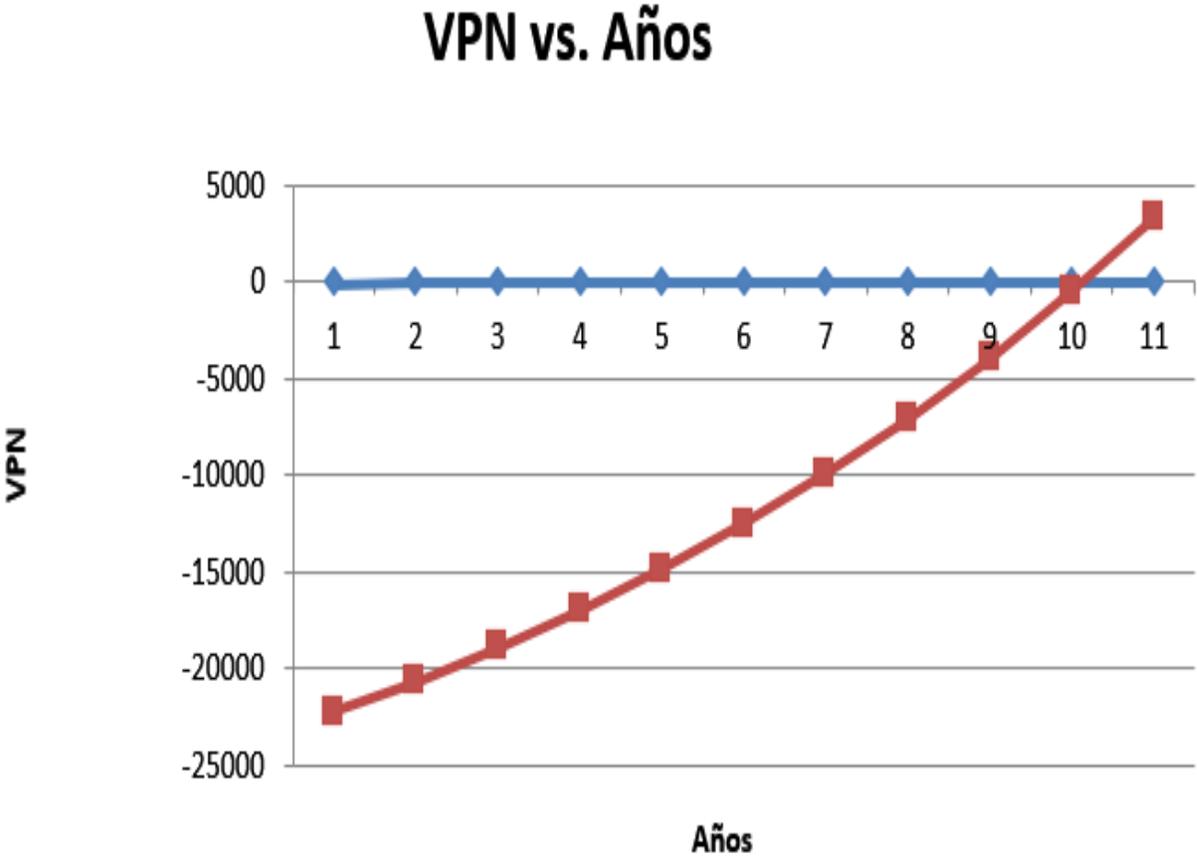
Figura 3.9: Resultados de la evaluación económica para la inversión de 22 269 USD con una tasa de inflación de 37,24%.



Nota: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un valor presente neto (VPN) de 58 795,54 USD al cabo de los 10 años, una tasa interna de retorno (TIR) negativa y un período de recuperación de la inversión (PRI) de 8 años. Como el TIR es negativo se considera que es inviable el proyecto por lo que no se aconseja realizar esta inversión.

Figura 3.10: Resultados de la evaluación económica para la inversión de 22 269 USD con una tasa de inflación de 23,22%.



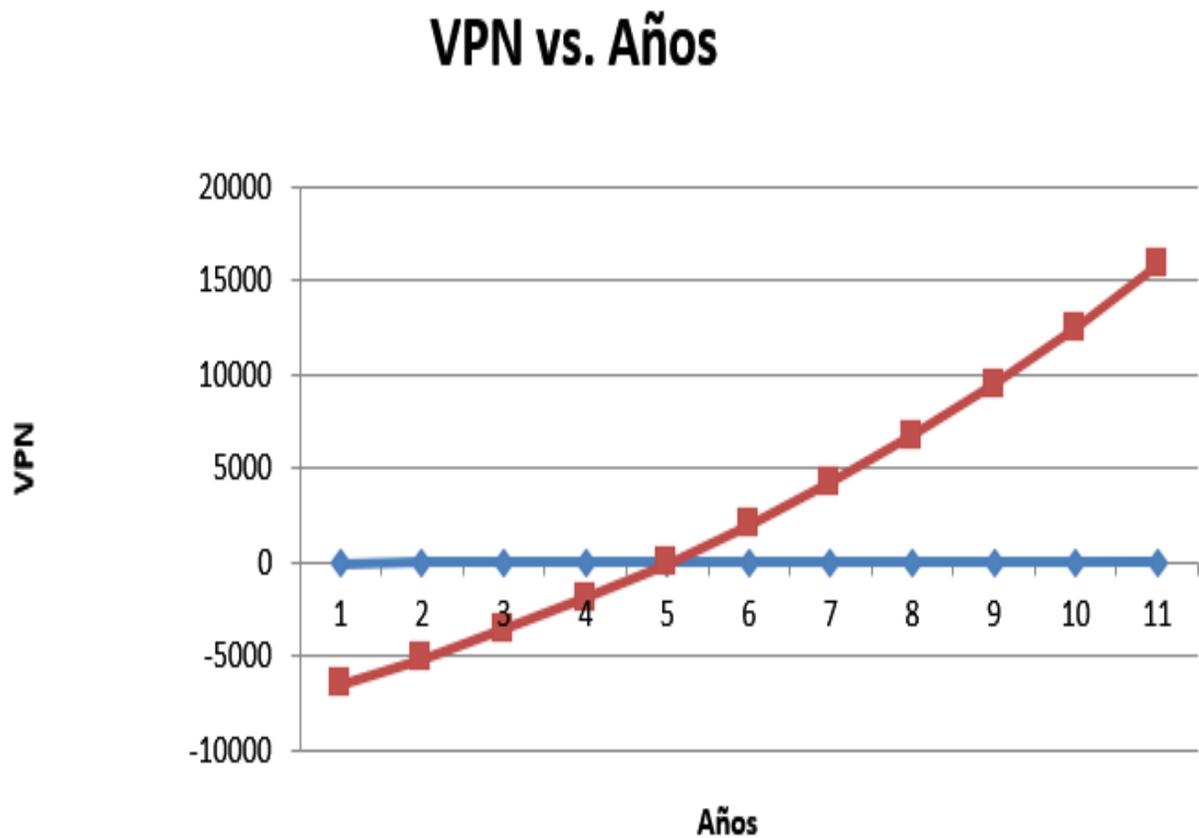
Nota: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN negativo al cabo de 10 años, un TIR negativo y un PRI de 11 años. Por tanto, se considera que es inviable el proyecto por lo que no se aconseja realizar esta inversión.

3.3.2.2 Inversión con costo definido por China y Francia

Dado que la empresa tiene posibilidades a futuro de importar el SSFV se realizó un análisis de precio del mercado internacional, específicamente los precios de instalación de 1 kWp en China es de 651 USD y en Francia es de 942 USD (IRENA, 2021).

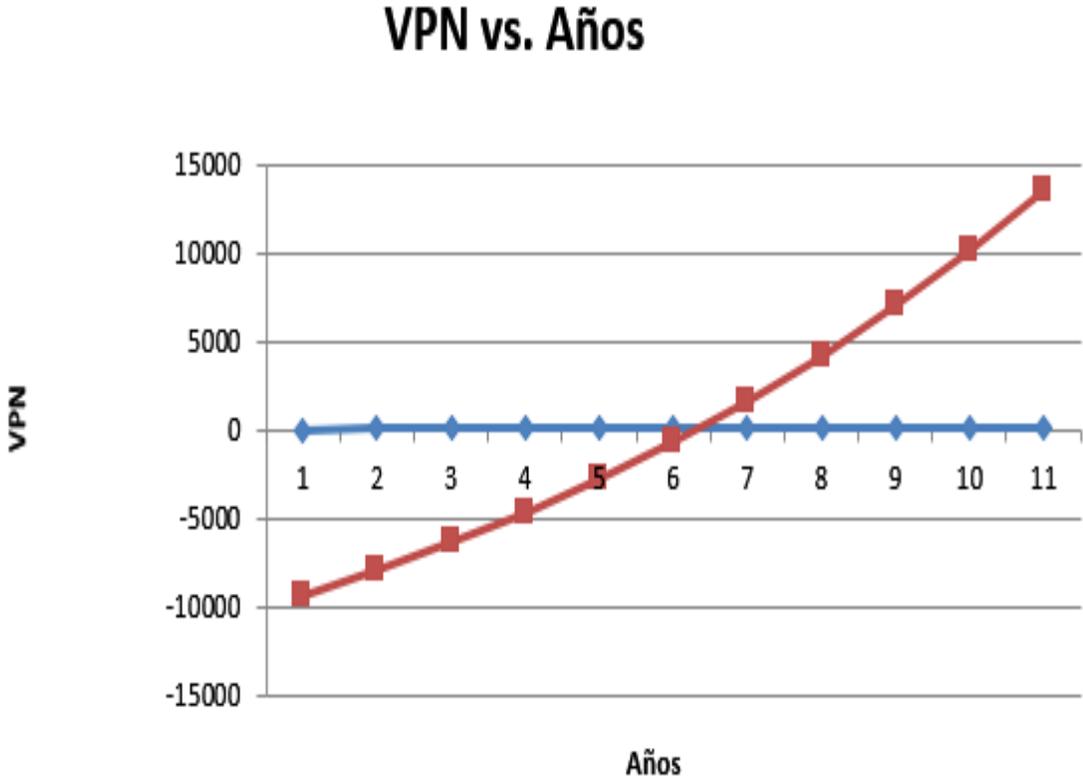
Figura 3.11: Resultados de la evaluación económica para la inversión de 6503 USD con precios de China con una tasa de inflación de 23,22%.



Nota: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN de 50 615,06 USD al cabo de los 10 años, un TIR de 16% y PRI de 5 años. Por tanto, se considera viable el proyecto, por lo que se aconseja realizar esta inversión de obtenerse los costos de inversión definidos por China.

Figura 3.12: Resultados de la evaluación económica para la inversión de 9410 USD con precios de Francia con una tasa de inflación de 23,22%.



Nota: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN de 36 315,23 USD al cabo de los 10 años, un TIR de 2% y PRI de 7 años. Al ser el TIR menor que la tasa de descuento la inversión se considera inviable (Arias, 2022) por lo que no se recomienda realizar esta inversión.

3.4 Conclusiones parciales del capítulo

1. Mediante la simulación con el PVSyst para determinar la capacidad de generación del SSFV mostró que la minindustria cárnica cuenta con una superficie de 168,7 m² con la capacidad para colocar 37 módulos fotovoltaicos modelo DSM-270, con una capacidad de generación anual de 11293 kWh/año.
2. Según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN de 50 615,06 USD al cabo de los 10 años, un TIR de 16% y un PRI de 5 años. Por tanto, se considera viable el proyecto, por lo que se aconseja realizar esta inversión de obtenerse los costos de inversión definidos por China.

Conclusiones generales

1. En Cuba se hace necesario un cambio en la matriz energética actual, donde primen las FRE; por las características del país la energía solar tiene gran potencialidad en el uso de SSFV los cuales pueden representar el 12 % en la matriz energética del país.
2. La minindustria cárnica tiene un consumo mensual de energía eléctrica de aproximadamente 11 200 kWh del cual el 71% corresponde a los equipos de refrigeración. Para la instalación del SSFV la empresa dispuso de un área de 168,7 m² donde se colocarán módulos fotovoltaicos de modelo DSM-270 con una potencia de 270 W por modulo y se seleccionó un inversor de modelo SE 10KTL-D3 de 11.00 kW.
3. La simulación con el PVSyst mostró que la minindustria objeto de estudio cuenta con la capacidad para colocar 37 módulos fotovoltaicos modelo DSM-270, con una capacidad de generación anual de 11 293 kWh/año lo cual representa un 13% de la demanda de energía eléctrica anual; según los resultados obtenidos el proyecto tiene un VPN de 50615,06 USD al cabo de los 10 años, TIR de 16% y un PRI de 5 años.

Recomendaciones

1. Realizar nuevamente una evaluación económica cuando la empresa decida efectuar la inversión en el SSFV debido a la alta inestabilidad en cuanto a los precios y a la tasa de inflación.

Bibliografía

- Arias, A. S. (2022). *economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Ávila, M. A. (2021). *La energía solar fotovoltaica: breve síntesis histórica, situación actual y perspectivas*. *renovable.cu*.
- Cuba. *Gaceta Oficial*. (2021). *Resolucion número 66*.
- Departamento de energía- DOE. (2022). *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/>
- Economics, T. (2022). *Trading Economics*.
- Estrada Gasca, C. A. (2013). *Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia*. *Revista Mexicana de Física*, 1-11.
- Gallego Landera , Y. A., Casas Fernandez , L., Garcia Sanchez, Z., & Rivas Arocha , Y. (2017). *Impacto de la implementación de paneles fotovoltaicos en el sistema*. *Revista de Ingeniería Energética*.
- Group, W. B. (2017).
- Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible. (2022). *Global impact of war in Ukraine: Energy crisis* .
- Gutiérrez, R. P. (2021). *Las fuentes renovables de energía en tres comunidades rurales de Cuba . Límites y oportunidades*. *Universidad y Sociedad*, 1-14.
- Hernández, C. A. (2021). *Potencialidades del sistema solar fotovoltaico en el sector privado de la provincia de Cienfuegos*. *Cienfuegos*.
- Instituto de Meteorología de la República de Cuba . (2022). *INSMET*. <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=EOLICO&TB2=WEST>
- Landera, Y. A. (2017). *Impacto de la implementación de paneles fotovoltaicos en el sistema*. *Revista de Ingeniería Energética*, 1-12.
- Loeza Salcedo , F. A., Ramiro Carmona, C., & Tenorio Caselin, J. C. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)*.
- Malgosa. (2009). *Uniones Atornilladas*. *Universidad de Cataluña*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2022). *presidencia*. <https://www.presidencia.gob.cu/es/gobierno/instituciones/ministerio-de-energia-y-minas/>
- Nfumu, K. M. (2017). *Matriz de fuentes renovables de Cienfuegos*.
- Novygrad, D. S. (2021). *La energía solar fotovoltaica: breve síntesis histórica, situación actual y perspectivas*. *renovable.cu*.

Numen Solar . (2022). Obtenido de www.cce.cu

Cuba . Oficina Nacional de Estadística e Información. (2019). Anuario estadístico de Cuba 2019.

Oficina Nacional de Estadística e Información. (2021). Anuario Estadístico de Cuba 2021.

Peña, P. D. (2021). Propuesta de evaluación y montaje de un Sistema. Cienfuegos.

Pou, M. Á. (2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas. El Trimestre Económico, 1-39.

Reinaldo, O. F. (2022). El ineludible cambio de la matriz energética que necesitamos. Cuba en Datos .

Sarlat, R. I. (2017). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. Derecho Comparado, 1-29.

Anexos

Anexo 1: Simulación con PVsyst del SSFV

Resumen del proyecto		
Sitio geográfico Perseverancia Cuba	Situación Latitud 22.36 °N Longitud -80.78 °W Altitud 46 m Zona horaria UTC-5	Configuración del proyecto Albedo 0.28
Datos meteo Perseverancia Meteonorm 7.3 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Resumen del sistema		
Sistema conectado a la red Orientación campo FV Plano fijo Inclinación/Azimut 25 / 156 °	Tablas en un edificio Sombreados cercanos Sombreados lineales	Necesidades del usuario Carga ilimitada (red)
Información del sistema Conjunto FV Núm. de módulos 38 unidades Pnom total 10.26 kWp	Inversores Núm. de unidades 1 Unidad Pnom total 10.00 kWca Proporción Pnom 1.026	

Resumen de resultados		
Energía producida 11293 kWh/año	Producción específica 1101 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR 79.65 %

Parámetros generales

Sistema conectado a la red	Tablas en un edificio	
Orientación campo FV	Configuración de cobertizos	Modelos usados
Orientación	Núm. de cobertizos 37 unidades	Transposición Perez
Plano fijo	Tamaños	Difuso Perez, Meteororm
Inclinación/Azimut 25 / 156 °	Espaciamiento cobertizos 2.15 m	Circunsolar separado
	Ancho de colector 1.65 m	
	Proporc. cob. suelo (GCR) 76.7 %	
	Ángulo límite de sombreado	
	Ángulo límite de perfil 46.7 °	
Horizonte	Sombreados cercanos	Necesidades del usuario
Horizonte libre	Sombreados lineales	Carga ilimitada (red)

Características del conjunto FV

Módulo FV	CUBA	Inversor	Senergytec
Fabricante	CUBA	Fabricante	Senergytec
Modelo	DSM-270	Modelo	SE 10KTL-D3
(Definición de parámetros personalizados)		(Base de datos PVsyst original)	
Unidad Nom. Potencia	270 Wp	Unidad Nom. Potencia	10.00 kWca
Número de módulos FV	38 unidades	Número de inversores	2 * MPPT 50% 1 unidades
Nominal (STC)	10.26 kWp	Potencia total	10.0 kWca
Módulos	2 Cadenas x 19 En series	Voltaje de funcionamiento	160-850 V
En cond. de funcionam. (50°C)		Potencia máx. (=>25°C)	11.00 kWca
Pmpp	9.40 kWp	Proporción Pnom (CC:CA)	1.03
U mpp	543 V		
I mpp	17 A		
Potencia FV total		Potencia total del inversor	
Nominal (STC)	10 kWp	Potencia total	10 kWca
Total	38 módulos	Núm. de inversores	1 Unidad
Área del módulo	62.1 m²	Proporción Pnom	1.03
Área celular	56.0 m²		

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica	Pérdidas de cableado CC	Pérdida de calidad módulo
Temperatura módulo según irradiancia	Res. conjunto global 517 mΩ	Fracción de pérdida 1.5 %
Uc (const) 20.0 W/m²K	Fracción de pérdida 1.5 % en STC	
Uv (viento) 0.0 W/m²K/m/s		
Pérdidas de desajuste de módulo	Pérdidas de desajuste de cadenas	Factor de pérdida IAM
Fracción de pérdida 2.0 % en MPP	Fracción de pérdida 0.1 %	Parám. ASHRAE: IAM = 1 - bo(1/cos i - 1)
		Parám. bo 0.05

Resultados principales

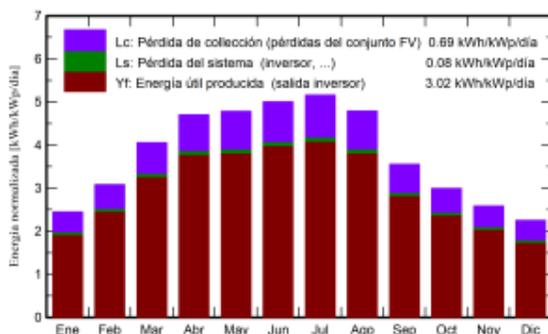
Producción del sistema

Energía producida	11293 kWh/año	Producción específica	1101 kWh/kWp/año
		Proporción de rendimiento (PR)	79.65 %

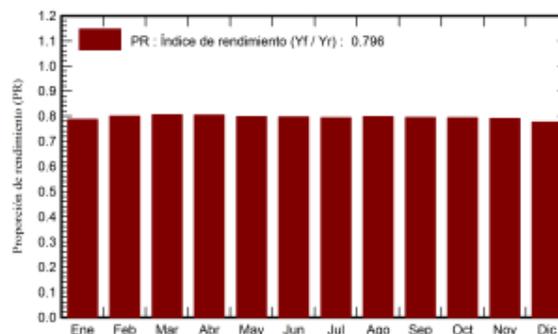
Evaluación económica

Inversión	Costo anual	LCOE	
Global	22'269.00 USD	Anualidades	0.00 USD/año
Específico	2.17 USD/Wp	Costos de funcionamiento	0.00 USD/año
		Periodo de recuperación	19.4 años
		Costo energético	0.19 USD/kWh

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



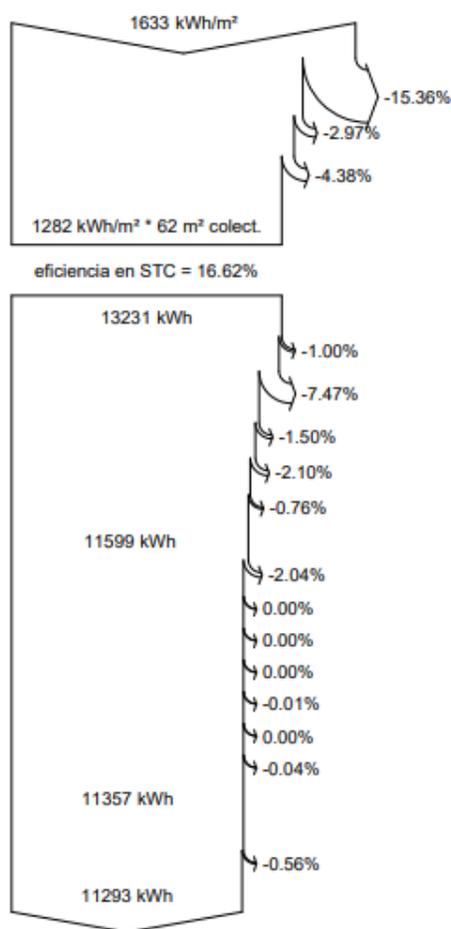
Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EArray	EArrMPP	EArray
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Enero	115.7	51.76	19.70	75.8	67.5	633	612	633	633	633
Febrero	116.4	55.23	21.47	86.2	78.6	728	708	728	728	728
Marzo	152.9	83.75	23.64	125.7	116.6	1065	1039	1065	1065	1065
Abril	157.3	85.70	24.35	141.0	132.2	1193	1164	1193	1193	1193
Mayo	155.9	87.92	26.31	148.2	139.6	1246	1215	1246	1246	1246
Junio	151.8	85.31	26.63	150.1	141.4	1258	1228	1258	1258	1258
Julio	161.0	84.74	27.12	159.9	150.4	1334	1302	1334	1334	1334
Agosto	158.7	83.02	26.98	148.4	140.1	1246	1215	1246	1246	1246
Septiembre	123.8	66.31	25.52	106.6	99.0	895	870	895	895	895
Octubre	117.8	58.26	24.89	92.7	85.5	778	756	778	778	778
Noviembre	112.7	54.68	22.11	77.5	69.7	648	629	648	648	648
Diciembre	108.7	48.12	21.46	69.7	61.5	575	555	575	575	575
Año	1632.8	844.81	24.20	1382.0	1282.1	11599	11293	11599	11599	11599

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	E_Grid	Energía inyectada en la red
T_Amb	Temperatura ambiente	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto
GlobInc	Global incidente plano receptor	EArrMPP	Energía virtual del conjunto en MPP
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	EArray	Energía efectiva a la salida del conjunto

Diagrama de pérdida



Irradiación horizontal global

Global incidente plano receptor

Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia

Factor IAM en global

Irradiancia efectiva en colectores

Conversión FV

Conjunto de energía nominal (con efic. 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

Consumo nocturno

Energía disponible en la salida del inversor

Auxiliares (ventiladores, otros ...)

Energía inyectada en la red

Balance de emisiones de CO₂

Total: 251.4 tCO₂

Emisiones generadas

Total: 23.71 tCO₂

Fuente: Cálculo detallado de la siguiente tabla:

Emisiones reemplazadas

Total: 317.1 tCO₂

Sistema de producción: 11.29 MWh/año

Emisiones del ciclo de vida de la red: 936 gCO₂/kWh

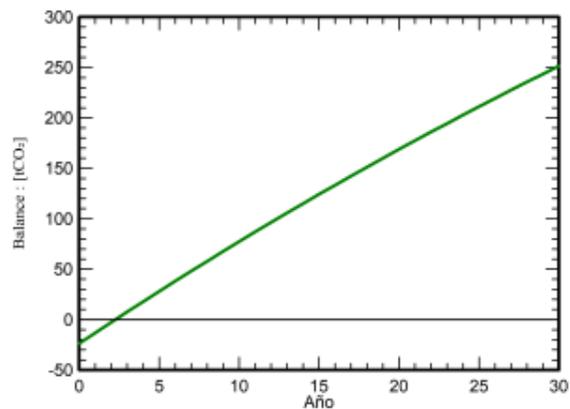
Fuente: Lista IEA

País: Cuba

Toda la vida: 30 años

Degradación anual: 1.0 %

Emisión de CO₂ ahorrada vs tiempo



Detalles de emisiones del ciclo de vida del sistema

Artículo	LCE	Cantidad	Subtotal
			[kgCO ₂]
Módulos	1713 kgCO ₂ /kWp	11.9 kWp	20347
Soportes	6.24 kgCO ₂ /kg	440 kg	2747
Inversores	619 kgCO ₂ /unidades	1.00 unidades	619

Anexo 2: Balance de equipos instalados en la minindustria.

Glosario de total de los equipos que están instalados y su consumo energético.

Equipos de consumo eléctrico	Cantidad	Potencia (Watts)	Tiempo de Operación (Hrs)	Consumo total diario (kWh)	Consumo total MENSUAL (kWh)
Equipos de refrigeración y climatización					
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-541-301	2	10236	18	368,496	11054,88
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-404	1	8500	18	153	4590
Cámara de congelación (TECHNOBLOCK) Modelo: CBM-200 BY	3	3100	18	167,4	5022
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STL024Z014-11	1	1950	18	35,1	1053
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STM022Z014/41	1	1980	18	35,64	1069,2
Split (MIDEA) modelo : MFA1-96CRN1	1	1700	8	13,6	299,2
Split (TCL) modelo : TAC-12CSA	3	1250	8	30	660
Equipos de Oficina					
Computadoras de escritorio	1	18,6	8	0,1	3,3
Ventilador pequeño	1	27,586	8	0,2	4,9
Equipos de producción y luminaria					
Bomba de agua	1	800	4	3,2	70,4
Luminaria interior (lámparas de 20 W)	14	20	8	2,2	49,3
Luminaria interior (lámparas de 40 W)	10	40	8	3,2	70,4
Luminaria exterior	2	30	12	0,7	15,8
Embutidora	1	1600	6	9,6	211,2
Revolverdora	1	6240	6	37,4	823,7
Hielera	1	750	8	6,0	132,0
Grua de riel	1	3500	0,5	1,8	38,5
Marmita	1	5000	4	20,0	440,0
Cortadora	1	1800	6	10,8	237,6
Molino	1	4500	6	27,0	594,0
			Total	925,6	26.439,3

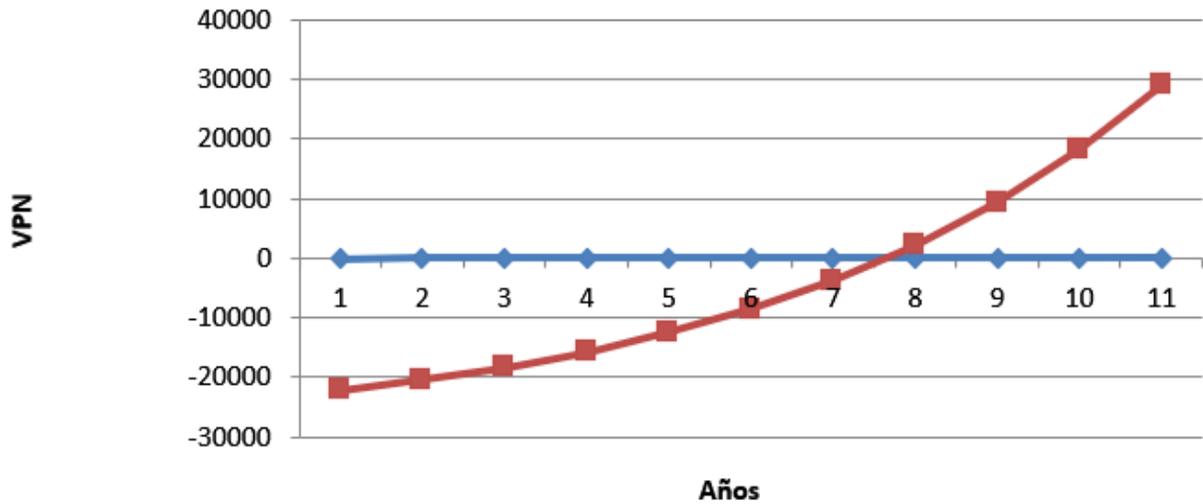
Glosario de los equipos que están en servicio y su consumo energético.

Equipos de consumo eléctrico	Cantidad	Potencia (Watts)	Tiempo de Operación (Hrs)	Consumo total diario (kWh)	Consumo total MENSUAL (kWh)
Equipos de refrigeración y climatización					
Cámara de congelación (Carrier) Modelo: 69NT40-541-301	1	10236	18	184,248	5527,44
Cámara de congelación (TECHNOBLOCK) Modelo: CBM-200 BY	1	3100	18	55,8	1674
Cámara de congelación (RIVACOLD) Modelo: STM022Z014/41	1	1980	18	35,64	1069,2
Split (MIDEA) modelo : MFA1-96CRN1	1	1700	8	13,6	299,2
Split (TCL) modelo : TAC-12CSA	3	1250	8	30	660
Equipos de Oficina					
Computadoras de escritorio	1	18,6	8	0,1	3,3
Ventilador pequeño	1	27,586	8	0,2	4,9
Equipos de producción y luminaria					
Bomba de agua	1	800	4	3,2	70,4
Luminaria interior (lámparas de 20 W)	14	20	8	2,2	49,3
Luminaria interior (lámparas de 40 W)	10	40	8	3,2	70,4
Luminaria exterior	2	30	12	0,7	15,8
Embutidora	1	1600	6	9,6	211,2
Revolverdora	1	6240	6	37,4	823,7
Grua de riel	1	3500	0,5	1,8	38,5
Marmita	1	5000	4	20,0	440,0
Molino	1	4500	6	27,0	594,0
			Total	424,8	11.551,3

Anexo 3: Análisis económico.

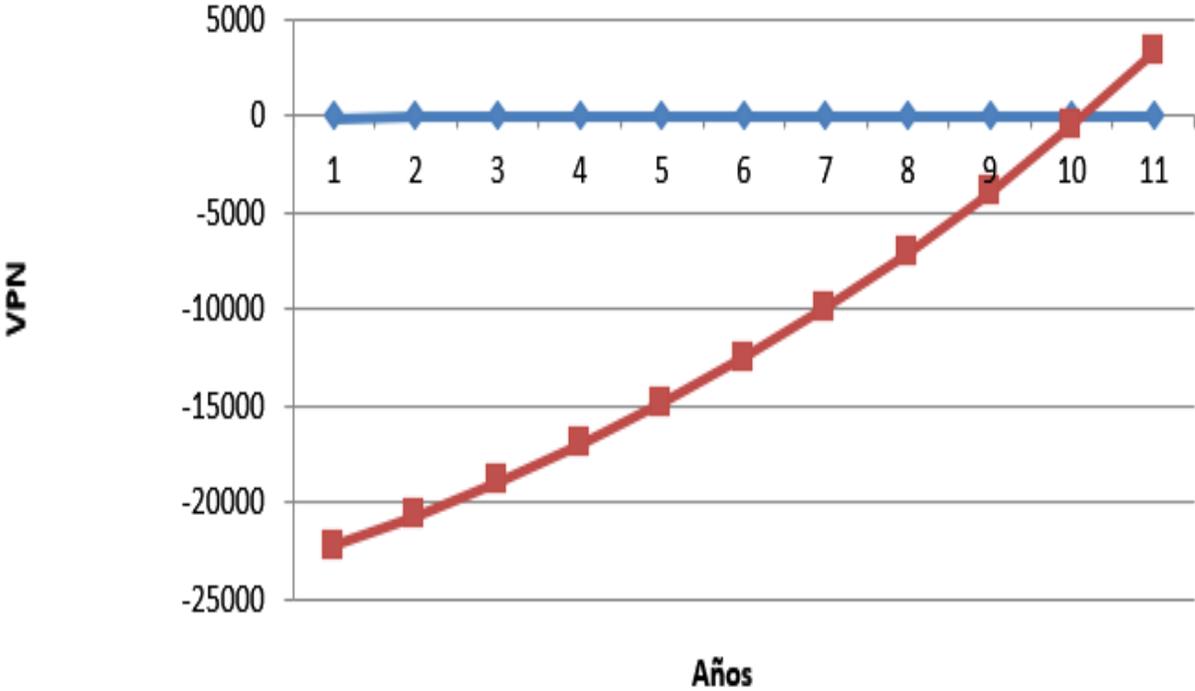
Resultados de la evaluación económica para la inversión de 22 269 USD con una tasa de inflación de 37,24%.

VPN vs. Años



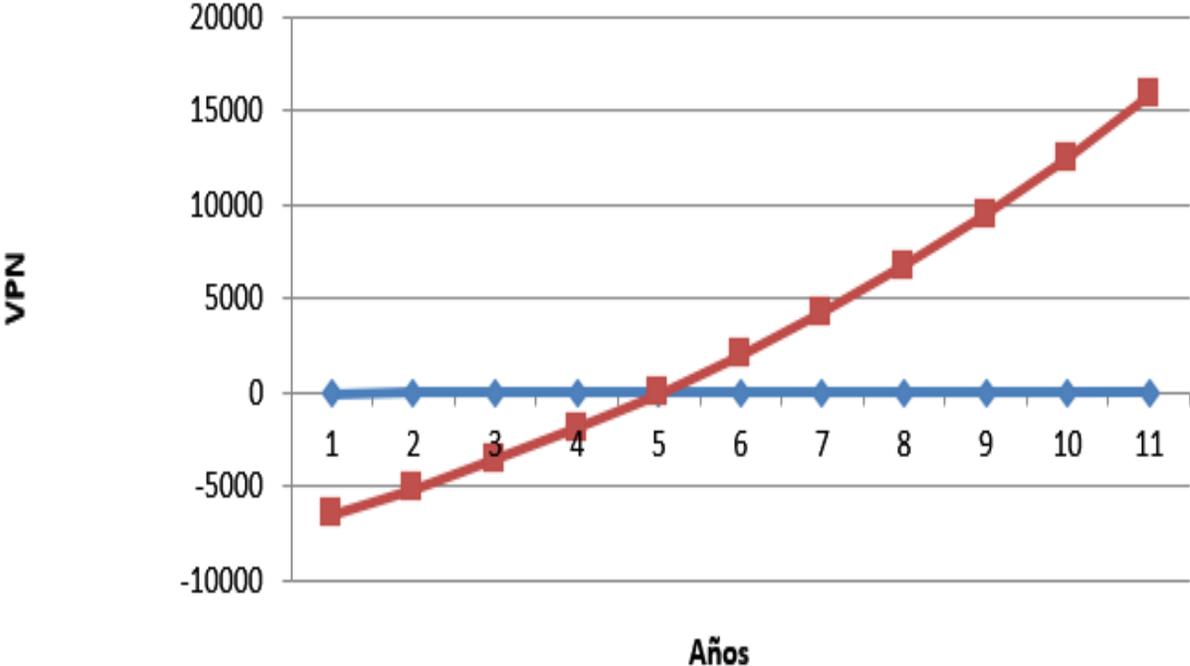
Resultados de evaluación económica para la inversión de 22 269 USD con una tasa de inflación de 23,22%.

VPN vs. Años



Resultados de la evaluación económica para la inversión de 6503 USD con precios de China con una tasa de inflación de 23,22%.

VPN vs. Años



Resultados de la evaluación económica para la inversión de 9410 USD con precios de Francia con una tasa de inflación de 23,22%.

VPN vs. Años

