

*Universidad de Matanzas  
Sede "Camilo Cienfuegos"  
Departamento Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**U S O D E L A E N E R G Í A S O L A R F O T O V O L T A I C A E N E L A L U M B R A D O D E L  
E S T A D I O D E B É I S B O L V I C T O R I A D E G I R Ó N**

**Ejercicio Culminación de Estudios Ingeniería Mecánica**

**Autor: Hendrys Eligio Mena Ramos.**

**Tutor: M.Sc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.**

*Matanzas, 2020*

## RESUMEN

En este trabajo se realiza la propuesta para el alumbrado del terreno de beisbol del estadio Victoria de Girón, empleando el software *HOMER*, a partir del uso de fuentes de energías renovables de energía en el sector deportivo, mediante la instalación de un campo solar fotovoltaico que por sus características de uso sólo funcionará en el horario nocturno, por lo que la energía solar diurna será almacenada en baterías para posteriormente ser entregada, además cuando el estadio no esté en uso esa energía puede ser entregada al sistema electroenergético nacional. Para el dimensionamiento del campo solar se parte de la cantidad de luminarias que serán instaladas, su potencia y consumo de cada una de ellas. Esto trae consigo una disminución del consumo eléctrico en la provincia y de emisiones de gases de efecto invernadero al dejar de quemar combustibles fósiles en las unidades generación primaria, además de erogar mayores ingresos la instalación deportiva al efectuar dichos eventos en horario no laboral. Se realiza valoración económica de la propuesta mediante el software utilizado.

**Palabras claves:** energía renovable, alumbrado, estadio deportivo, campo solar fotovoltaico, efecto invernadero.

## ABSTRACT

Giron's Victory ,accomplishes the proposal for the illumination of the lot of baseball of the stadium itself in the work, using the software HOMER, as from the use of sources of renewable energy at the sports sector by means of the installation of a solar photovoltaic field, that for his characteristics of very use it will work in nighttime schedule, which is why the diurnal solar energy will be stored in battery stops at a later time being devoted, besides when the stadium not be in use that energy can be delivered to electroenergetic national system. To the sizing of the solar field splits itself of the quantity of the lights that they will be installed. His power and consumption out of every an one belonging to her. This bring along a decrease of the electric consumption in the provinces and of emissions of gaseous substances of greenhouse effect to leave behind primary generation from burning fossil fuels in the units, in addition to disburse bigger entrances the sports installation to make the aforementioned events in the hourly labor no. The utilized software accomplishes cost-reducing assessment of the intervening proposal itself.

**Key Words:** Renewable energy, illumination, sports stadium, solar photovoltaic field, greenhouse effect.

## INTRODUCCIÓN

El uso de la energía en todas sus formas proporciona grandes beneficios; sin embargo, también está asociado a numerosos desafíos medioambientales y sociales. La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles produce diferentes impactos negativos.

Los más significativos son a nivel local la contaminación atmosférica, a nivel regional, la lluvia o deposición ácida, y a nivel global el cambio climático. A medida que una sociedad es más desarrollada consume más energía. Pero la energía que se obtiene del carbón, el gas o el petróleo no se renueva y se va agotando año tras año, por lo que ir aprovechando otras fuentes de energía que están a nuestro alcance como el viento, el sol, los residuos, entre otras, las cuales son renovables año tras año, no se agotan y además no dañan el medio ambiente, lo que significa una doble ventaja para la humanidad y será una meta por alcanzar.

Este ejercicio de culminación de estudio (ECE) se realiza en la instalación deportiva más emblemática de la provincia de Matanzas y sede actual de los campeones del beisbol cubano, el Estadio Victoria de Girón, que fue inaugurado, el 20 de febrero de 1977 por el Comandante en Jefe Fidel Castro, por lo que lleva prestando servicio hace 43 años, está ubicado en la Calzada Martín Dihigo, en la ciudad de Matanzas y cuenta con unas dimensiones de 99 m (325 pies) por el jardín izquierdo, 121 m (397 pies) por el jardín central y 99 m (325 pies) por el jardín derecho, con una capacidad de aproximadamente 22000 espectadores, la instalación se muestra en la figura 1.

Los partidos que allí se desarrollan actualmente están comprendidos en el horario de la tarde motivado por la falta de alumbrado al terreno, debido a la falta de mantenimiento y recursos financieros, además del gran consumo energético que representa para la provincia y el país. Por otro lado, las condiciones a las que están sometidos los jugadores bajo el ardiente sol y la falta de asistencia de público por coincidir los eventos con el horario laboral, se hacen necesario, primero instalar las luminarias y segundo buscar alguna solución para disminuir el consumo de portadores energéticos.

Este ECE tiene como principal objetivo contribuir al ahorro energético de la provincia y del país en general, enmarcado dentro de un proceso de cambio de la matriz energética, donde las fuentes renovables tienen una participación de solo el 1.6% y se pretende que para el año 2025 sea de un 24%. Este cambio responde al Decreto Presidencial No.3 del 11 de diciembre de 2012, a partir del cual se creó la comisión gubernamental para la elaboración de la política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía y su aprovechamiento contribuye a hacer viable la transición hacia senderos de desarrollo bajos en carbono y sociedades que sean resistentes al cambio climático, además de permitirle al pueblo asistir a la instalación beisbolera fuera de los horarios laborales lo cual proporcionaría una mayor concurrencia y asistencia de público, ayudando también económicamente al INDER de la provincia ya que habría una mayor recaudación de fondos.

Si bien es cierto, que actualmente no existen las luminarias y que aún no están en la mano pues se necesitan cerca del medio millón de dólares (del Risco, 2020) el trabajo contribuirá al ahorro e irá introduciendo las energías renovables en el sector.

La instalación cuenta con 10 torres de alumbrados y en cada una de ellas se ubicarán 16 luminarias de alta tecnología que harán del Victoria el mejor estadio iluminado del país.

## **DESARROLLO.**

Un estadio deportivo puede tener diferentes utilidades tales como la realización de partidos de fútbol, básquetbol, béisbol, boxeos, deportes olímpicos, espectáculos musicales, espectáculos masivos u otros tipos de eventos, de manera que para cada uno de ellos se debe contemplar una iluminación especial.

Un estadio de beisbol tiene dimensiones muy amplias y en todos los sectores, incluso en el plano vertical, debe cumplir con niveles de iluminación que permitan el mejor espectáculo. El objetivo de iluminar instalaciones deportivas es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Lógicamente, las exigencias variarán según el tipo de instalación que se requiera

(recreo, entrenamiento o competición) y el nivel de actividad (amateur, profesional y/o transmisión por televisión).



*Figura # 1: Estadio Victoria de Girón. Fuente: Periódico Girón, Matanzas*

Contar con una buena iluminación en este tipo de instalaciones permite que los jugadores y demás objetos en movimiento sean perfectamente visibles independientemente de su tamaño, posición en el campo, velocidad y trayectoria. Para ello, son importantes los niveles de iluminación tanto horizontal como vertical. Esto es debido a que debe pensarse en una iluminación que cumpla en ambos planos, es decir, que alumbré al jugador en un ángulo de 360 grados. Y, todo esto, es con el fin de que el jugador pueda ver bien al frente, atrás y hacia arriba para los balones en alto. De este modo, se asegura que jugadores, árbitros y cámaras de televisión desempeñen mejor su trabajo.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Este tipo de energía se usa principalmente para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución, aunque también permite alimentar innumerables aplicaciones aisladas de la red eléctrica (Arma, 2019).

Aunque ya en el siglo XIX se descubrió el efecto fotovoltaico y se hicieron dispositivos funcionando con selenio el primer dispositivo funcional, una célula de silicio de unión *p-n* del 6% de eficiencia no fue realizado hasta 1954 en los laboratorios *Bell*, Estados Unidos.

En 1960 varios autores, entre los que se incluyen el premio Nobel Schockley, desarrollaron la teoría de la célula en todos sus aspectos más relevantes: materiales, espectro de la radiación, temperatura, termodinámica y eficiencia. Las células solares fueron empleadas por rusos y americanos en sus satélites artificiales demostrando su fiabilidad (Alonso, Fernandez, & Jimenez, 2005).

Históricamente, Estados Unidos lideró la instalación de energía fotovoltaica desde sus inicios hasta 1996, cuando su capacidad instalada alcanzaba los 77 MW, más que cualquier otro país hasta la fecha.

En los años posteriores, fueron superados por Japón, que mantuvo el liderato hasta que a su vez Alemania la sobrepasó en 2005, manteniendo el liderato desde entonces. A comienzos de 2016, Alemania se aproximaba a los 40 GW instalados. Sin embargo, por esas fechas China, uno de los países donde la fotovoltaica está experimentando un crecimiento más vertiginoso superó a Alemania, convirtiéndose desde entonces en el mayor productor de energía fotovoltaica del mundo. La energía fotovoltaica se ha convertido en una de las mayores industrias de la República Popular China. El país asiático es líder mundial por capacidad fotovoltaica (Eckert, 2011).

De esta manera podemos ver como desde sus inicios ha habido un desarrollo acelerado a nivel mundial del uso de la energía solar fotovoltaica por la importancia que tiene en el ámbito social y económico para cualquier nación y para mitigar el efecto invernadero producido por las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente que provoca la combustión de la energía de origen fósil.

La eficiencia energética es el conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía en todos sus tipos: eléctrica, térmica entre otras. Es la habilidad de lograr objetivos empleando la menor cantidad de energía posible.

Es la capacidad de alcanzar los mayores beneficios en el uso final de la energía con el menor impacto sobre el medio ambiente. Esta tiene como objetivo implementar medidas a nivel de país que permitan la reducción del consumo de energía y recursos, promover el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para la generación, almacenamiento, distribución y uso final de las energías (Cáceres, 2017).

La energía solar se define como aquella proveniente del sol mediante radiación, la cual puede aprovecharse para calentar ya sea directamente o por medio de dispositivos colectores. Es un tipo de energía renovable, limpia y de bajo costo.

La radiación solar total interceptada por la Tierra es de unos  $1,73 \times 10^{14}$  kW, o equivalentemente  $1,51 \times 10^{18}$  kWh/año, o  $5,4 \times 10^{12}$  TJ/año. La radiación solar recibida fuera de la atmósfera terrestre es prácticamente constante, mientras que la tomada sobre la superficie varía considerablemente. La energía recogida del sol en un área unitaria expuesta perpendicularmente a sus rayos, a una distancia promedio entre el sol y la Tierra y en ausencia de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor aceptado de  $1,353 \text{ kW/m}^2$  (+- 1, %), unos  $11,85 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2$  por año o  $42,668 \text{ MJ/m}^2$  por año (Barbosa & Trujillo, 2010).

La radiación que llega a la superficie terrestre puede presentarse de la siguiente forma:

- Radiación directa: aquella que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias, la cual puede reflejarse y concentrarse para su posterior uso.
- Radiación difusa: es la radiación emitida por la bóveda celeste debido principalmente a los fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera. No es posible concentrar la radiación difusa puesto que, por lo general, proviene de diferentes direcciones.

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la electromagnética procedente del Sol.



Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solar térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

El desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costos de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costos para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas.

El impresionante crecimiento del sector de la energía solar demuestra su potencial de llegar a ser un contribuyente global de energía. Para 2030, estima que se habrán instalado más de 1800 GW de sistemas fotovoltaicos en todo el mundo, lo que representa más de 2600 kWh de electricidad producida al año, un 14% de la demanda eléctrica mundial. Esta energía es suficiente para suministrar a 1.300 millones de personas en zonas desarrolladas o a más de 3 mil millones de personas en zonas rurales remotas que actualmente no tienen acceso a la electricidad de red.

La electricidad solar podría ayudar a reducir hasta 1.600 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030, equivalente a las emisiones de 450 centrales térmicas de carbón.

#### Energía Solar Térmica

Se llama energía solar térmica a la energía solar que se transforma en otras formas de energía mediante el calentamiento, este método clasifica como una forma de

aprovechamiento directo de la energía solar. La radiación solar absorbida por una superficie se convierte inmediatamente en energía térmica. Diversos son los métodos utilizados para coleccionar la energía térmica de la radiación solar. El ángulo con el que inciden los rayos del sol sobre una superficie determinará la cantidad de energía que recibe la misma

Históricamente, el ser humano ha utilizado la energía radiante del Sol para el calentamiento de agua y gases, el secado de productos como especias, plantas medicinales y madera, entre otros, y en la obtención de ambientes controlados y climatización de locales

Existen tres tipos de energía solar térmica según el rango de temperatura:

- Alta temperatura: Destinada a aquellas aplicaciones que requiera temperaturas del agua superiores a los 250 °C, como es el caso de la generación de vapor para la producción de electricidad.
- Media temperatura: Destinada a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre 80 °C y 250 °C, como, por ejemplo, el calentamiento de fluidos para procesos industriales y la desalinización de agua de mar.
- Baja temperatura: Son las más extendidas y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90 °C, como, por ejemplo, la producción de agua caliente sanitaria (ACS) para viviendas y polideportivos, apoyo a la calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, etc, (Schallenberg et al., 2008).

#### Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es considerada como una de las formas de generación de electricidad renovable, ya que se obtiene mediante la radiación del sol y a través de procedimientos técnicos se le convierte para que se vuelva útil en el desarrollo humano.

Hoy en día la electricidad que se genera por la captación solar, ha alcanzado una gran madurez en todos los ámbitos sociales ya que se pueden utilizar para brindar ese motor de

funcionamiento a innumerables aparatos autónomos y así abastecer de alternativas al desarrollo del país y del mundo, con los llamados sistemas aislados, que no son más que lugares donde se dificulta el ingreso de líneas de transmisión y por este motivo la mejor opción es la generación propia por medio de paneles solares (Collado, 2009).

Además, también se utiliza la generación fotovoltaica de manera muy importante en los sistemas de distribución ya que con el pasar del tiempo se han venido desarrollando tecnologías para la colocación en paralelo del sistema local con la generación solar.

La situación actual de la energía fotovoltaica en nuestro país, según (Arma, 2019), en cumplimiento de las acciones previstas para la cobertura de lugares donde no resulta posible llegar con la red del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), se electrificaron con paneles solares fotovoltaicos, 560 viviendas aisladas de la provincia de Ciego de Ávila.

Además, se inauguró, en el municipio de La Sierpe, un parque fotovoltaico conformado por 520 mesas con 10 paneles fotovoltaicos cada una instaladas en 2,5 hectáreas, generando diariamente un promedio 5.5 MWh, lo que aportaría al año alrededor de 2 000 MWh, cifra equivalente a la energía consumida mensualmente por unas 836 viviendas.

También en el poblado de Nieva 4,4 MWp en enero del 2018, en Guasimal 4,4 MWp en agosto del 2018 y en Yaguajay 2,2 MWp en enero del 2019 todos estos localizados en la provincia de Sancti Spíritus (12 MWp en total). En Yaguaramas, Cienfuegos se inauguró un parque de 5 MW financiado por China en abril del 2018; en Pinar del Río se inauguró un parque de 3 MWp en el 2015, se instalaron otros 4 parques (Pinar 220A, Troncoso 1, Troncoso 2 y Pinar 220C) para una potencia total de 7,9 MWp.

En octubre de 2017, se construyó un parque de 1 MW nombrado Parada 1 en la provincia de Las Tunas. En Santiago de Cuba, dos parques han sido inaugurados en el 2018, en Mayarí Arriba (2,4MWp) y en el Brujo (4,4MWp).

En nuestra provincia, el principal parque fotovoltaico está emplazado en la ciudad de Cárdenas con una potencia total de 2.2 MWp. La eficiencia de los paneles fotovoltaicos

se estima en un 15% . La prensa cubana informa que otros 73 parques solares están en construcción a lo largo de todo el territorio nacional

Con tecnología de punta y sincronizado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), el emplazamiento asegura una considerable reducción de pérdidas por concepto de distribución y transformación de energía y, su entrada en funcionamiento representa un ahorro en plantas generadoras de más de 500 toneladas de petróleo al año con la consiguiente disminución en las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. La ubicación del parque en una zona cercana a la carga trae beneficios al disminuir las pérdidas de energía tanto por concepto de distribución como de transformación, estos valores ahorrados equivalen a la electricidad consumida al mes por 105 casas (noticias, 2020).

En el siguiente mapa, figura # 2, se reflejan los lugares de emplazamiento de los parques solares fotovoltaicos y su desarrollo futuro.

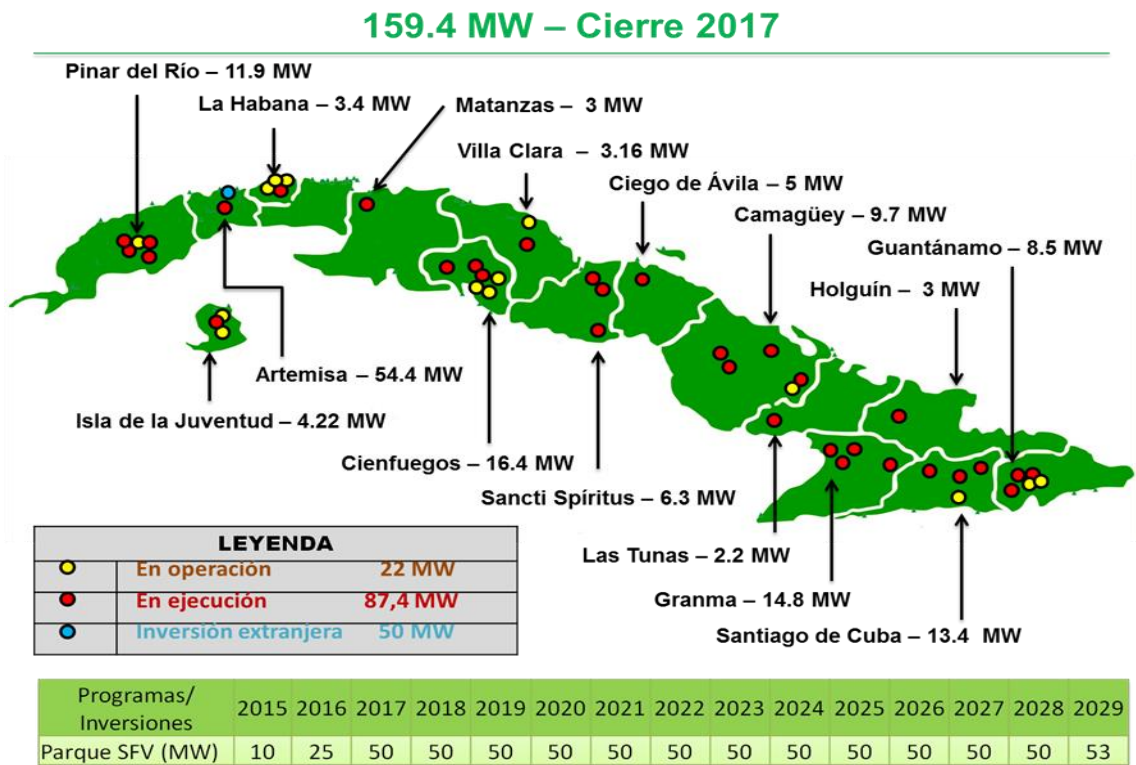


Figura # 2: Distribución de los parques solares en el país. Fuente: Noticias 2020

### *Características de las celdas fotovoltaicas.*

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos electrónicos que tienen la función de transformar la luz solar directamente en energía eléctrica sin pasar antes por un estado de energía térmica.

Las celdas solares no tienen partes mecánicas, están hechas de delgadas capas de material semiconductor (es aquel que conduce la electricidad en determinadas condiciones), usualmente están elaboradas a base de silicio puro, y son capaces de generar corrientes de 2 a 4 amperes, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Volts utilizando como fuente la radiación luminosa, tienen la propiedad de tener una gran conductividad y una ausencia total de resistividad eléctrica, están unidas a contactos de metal para completar el circuito eléctrico que se encuentran encapsuladas en vidrio o plástico.

Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente (que llega a la tierra) se pierde por reflexión (rebota) y otra por transmisión (atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.

Las celdas fotovoltaicas (FV) individuales tienen una producción eléctrica limitada, la cual puede ser utilizada para operar equipos pequeños tales como juguetes, relojes y calculadoras de bolsillo. Para incrementar la salida (voltaje y amperaje) de una fuente FV, las celdas individuales se unen eléctricamente en diferentes formas.

- a. **Colectores de enfoque:** Semejantes a los planos, estos colectores poseen partes móviles para seguir el movimiento del sol, puesto que absorben solo la radiación directa.
- b. **Colectores planos:** Dispositivos de captación solar, generalmente fijos, que aprovechan la radiación solar directa y difusa. La parte colectora puede estar formada por una o más hojas de vidrio o plástico.

Dentro de los tipos de células solares podemos distinguir dos grandes grupos:

Células convencionales: por ser las más utilizadas dentro del mercado de la energía fotovoltaica. Estas tecnologías parten del Silicio y sus tipos son tipo monocristalino, tipo policristalino y tipo silicio amorfo.

Otro tipo de células menos convencionales dentro de las cuales destacan: “Silicio amorfo Tándem”, “CdTe”, “EFG”, “RIBBON”, “CIS”, “HIT” y “ $\mu$ -Si/a-Si”.

#### ❖ Silicio Monocristalino

Están fabricadas de silicio, que es el material más abundante en la corteza terrestre. Este tipo de paneles el que más se utiliza actualmente en la fabricación de células solares. Es un tipo de célula muy difícil de elaborar y se pretende sustituir para suprimir costes. El proceso de fabricación sigue la siguiente secuencia: en primer lugar, se purifica el silicio, luego se funde y se cristaliza en lingotes redondos, más tarde cuando sea redondeado, se corta en finas obleas, para conseguir células individuales cortando los extremos redondeados para aprovechar la superficie.

La técnica más utilizada para fabricar el silicio monocristalino es el método *Czochralski* o método CZ, en el que una semilla de silicio monocristalino toca la superficie del silicio fundido contenido en un crisol. Conforme la semilla del cristal se va extrayendo muy lentamente, el silicio fundido se solidifica y sus átomos siguen la estructura de la semilla y, por tanto, van extendiendo la estructura monocristalina. Las células tienen un color uniforme, generalmente azul o negro y se consigue un rendimiento del 19,1% en laboratorio y entre un 10% y un 13% en producción.

#### ❖ Silicio Policristalino

Este tipo de células se caracterizan por estar fabricadas con un silicio menos puro, siendo así más baratas que las células monocristalinas, lo que repercute en un rendimiento más bajo que la de la tecnología monocristalinas, aunque los fabricantes de este tipo de células fotovoltaicas aseguran que las ventajas por abaratar costes compensan las pérdidas de eficacia.

A pesar de la reducción de costes de la célula policristalina, hay que destacar el menor rendimiento del módulo y la mayor tasa de rechazo en la fabricación de la célula (10% frente al 5% en monocristalino).

La diferencia entre la superficie de las células monocristalinas y policristalinas se basa en que las policristalinas tienen zonas de colores diferentes, en vez del color uniforme de las células monocristalinas. Las células policristalinas consiguen un rendimiento del 18% en laboratorio y entre un 10 y un 12% en producción.

#### ❖ Silicio Amorfo

Este tipo de tecnología se caracteriza por no tener ninguna estructura cristalina a diferencia de los anteriores, por lo que el silicio amorfo se forma por varias capas de silicio depositadas al vacío sobre un cristal, plástico o metal. Lo habitual es que se forme una célula continua ocupando todo el módulo, ya que se pueden fabricar de diversos tamaños. Este tipo de tecnología plantea el problema de una clara disminución de su eficiencia cuando han sido expuestos a una larga y prolongada irradiación solar.

También se ha demostrado que en las 100 primeras horas de funcionamiento se produce una degradación hasta que se estabiliza y la producción de corriente es prácticamente estable después. Aunque hay que destacar que es una tecnología muy estable con un buen comportamiento ante agentes externos como la lluvia, la humedad, la temperatura o la corrosión.

#### ❖ Silicio Amorfo Tipo Tándem

Los módulos tipo Tándem están formado por una capa fotovoltaica de silicio amorfo y una capa fotovoltaica de silicio cristalino en la parte superior combinando así dos tipos de materiales semiconductores distintos. Este módulo tipo tándem puede absorber una variedad muy amplia de longitudes de onda de luz solar, de ultravioleta a infrarrojo, obteniéndose una muy alta eficiencia de conversión.

Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de

materiales, es posible aprovechar una mayor parte del mismo. La célula con material semiconductor 1, sólo aprovecha una parte del espectro electromagnético de que está compuesta la luz solar. La célula con el material semiconductor 2 aprovecha otra parte del espectro electromagnético de la luz, combinando ambos materiales se aprovecha una mayor parte del espectro electromagnético. El rendimiento total será en teoría la suma de los rendimientos de ambos tipos de células por separado.

#### ❖ Cadmio Telurio

El telurio de cadmio, conocido como CdTe, es otra clase de película fina. Tiene cualidades útiles, pero tiene un problema, que la sustancia es tóxica. El CdTe es también menos eficiente que el silicio, aunque es más barato. En la fabricación de este tipo de células se utiliza vidrio recubierto con una delgada película de un compuesto cristalino de cadmio-telurio en vez del típico y costoso silicio, necesitando 100 veces menos material semiconductor.

Debido a que este proceso crea paneles altamente eficaces (de 11 a 13 %), y de una forma rápida, puede hacerse todo de una forma mucho más barata, con tecnologías existentes. El costo para el consumidor se podría reducir en un 50%, algo interesante, es que esta nueva tecnología en paneles fotovoltaicos, no necesita ser conectada a la red eléctrica, por lo que puede utilizarse en cualquier región por más alejada e inhóspita que sea.

#### ❖ EFG

Las obleas solares son elementos básicos de las células EFG que se fabrican por el proceso EFG (*Edge defined Film-fed Growth*) patentado en todo el mundo por *Schott Solar*.

A diferencia de la fabricación tradicional por corte de un bloque de silicio, en el proceso EFG se obtiene el producto estirado directamente del punto de fusión en forma de tubo octogonal de silicio. El perfil octogonal de silicio de 6 m de longitud tiene un grosor de pared de 330  $\mu\text{m}$ , que ya es el grosor definitivo de las células. Luego, se cortan las obleas de 100  $\text{m}^2$  y 125  $\text{m}^2$  con un láser. Las empresas productoras de módulos de todo el



mundo vienen utilizando células EFG desde 1981 para aplicaciones que van desde unos pocos W p hasta grandes módulos de 300W p para las condiciones climáticas más severas.

#### ❖ String Ribbon

En la técnica de *String-Ribbon*, dos cadenas de alta temperatura se extraen verticalmente a través de un somero silicio, se derriten, y el silicio fundido se extiende entre las dos cuerdas a través de la tensión superficial y se congela entre ellas.

#### • Ventajas

1. Casi logra la eficacia de las células de oblea de silicio
2. Elimina el gasto de silicio del proceso deserrado.

#### ❖ Diseleniuro de Cobre

Este tipo de célula fotovoltaica, está basado en el Diseleniuro de Cobre de Indio (CIS) y se prevé que, en un futuro, debido a su competitiva relación entre producción de energía/costo pueda llegar a sustituir a los combustibles fósiles en la producción de energía.

Los módulos CIS se caracterizan por absorber un espectro ancho de energía y garantizan máxima energía bajo condiciones desfavorables.

#### ❖ Hit

El panel solar tipo HIT, es una tecnología híbrida que se caracteriza por estar formado por obleas de silicio monocristalino recubiertas por una capa muy delgada de silicio amorfo. Esta célula es producida con las técnicas de producción más modernas y proporciona el rendimiento más elevado del sector.

#### • Beneficios en términos de rendimiento:

1. Alta eficiencia de la célula y del módulo. La célula HIT y el módulo tienen el nivel más alto del mundo en eficiencia.

2. Alto rendimiento a altas temperaturas

3. Incluso a altas temperaturas, la célula solar HIT puede mantener una eficiencia más alta que una célula solar cristalina convencional.

- Beneficios para el medio ambiente:

Baja necesidad de energía para la producción: la célula solar HIT requiere sólo 200°C para el proceso de formación de los enlaces (una célula solar cristalina: cerca de 900°C). Esto ayuda a ahorrar energía.

Diseño plano: la célula solar HIT tiene alrededor de 200 µm de espesor (una célula solar convencional alrededor de 350 µm). Esto ayuda a ahorrar silicio.

- Aplicaciones:

1. Cubiertas de casas residenciales

2. Sistemas aislados de alto voltaje

3. Grandes sistemas de conexión a red

4. Sistemas de bombeo de agua

- Beneficios en calidad:

1. Las células HIT y los módulos están sujetos a estrictas Si/a-Si inspecciones y medidas para asegurar el cumplimiento de criterios eléctricos, mecánicos y visuales.

- ❖ µ-Si/a-Si

Este tipo de célula es de silicio depositado en forma de láminas delgadas de silicio amorfo. La investigación en láminas de silicio depositado ha permitido desarrollar silicio amorfo intrínseco de calidad de dispositivo depositado a alto ritmo de crecimiento. Se desarrolla el material en dos fases una microcristalina y otra amorfa, llamado silicio

híbrido. Este material, preparado a partir de silicio muy diluido en helio, no presenta capa de incubación amorfa, y por lo tanto, se deposita con su microestructura característica incluso en forma de láminas extremadamente delgadas (del orden de 10 nm) como las necesarias para la formación de emisores dopados en células solares con otros tipos de dispositivos optoelectrónicas, basados en el silicio depositado.

Por otra parte, las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas: instalaciones aisladas de la red (o autónomas), cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública. Además de las instalaciones híbridas

- Instalaciones aisladas de la red

Estas instalaciones aisladas de la red se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución.

Existen una gran cantidad de instalaciones fotovoltaicas autónomas (alejadas de la red), y con ello una gran variedad de formas y composición de las mismas. Generalmente no se puede hacer distinción por tamaños, ni por características eléctricas, debido al abanico de combinaciones tan grande que presenta.

La característica principal de una instalación fotovoltaica autónoma es la presencia del acumulador, cuyo papel es el almacenamiento de la energía captada. Además del acumulador, en una instalación fotovoltaica autónoma intervienen varios elementos.

Entre sus aplicaciones están desde pequeñas aplicaciones puntuales hasta grandes programas de electrificación rural de los que depende el desarrollo de regiones enteras.

Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos juegan un papel muy importante en el suministro de medicamentos en áreas remotas. Las vacunas son sensibles a las variaciones de

temperatura y para que conserven sus propiedades deben mantenerse dentro de unas determinadas condiciones.

La existencia de una cadena de frío para vacunas y medicinas es uno de los requisitos a tener en cuenta en cualquier programa de salud, y son numerosas las organizaciones internacionales que han adoptado sistemas fotovoltaicos para alimentar equipos de refrigeración en el que transportan los medicamentos. La solución más práctica consiste en el acoplamiento de un sistema fotovoltaico a un grupo compresor accionado por corriente continua.

Existen miles de instalaciones fotovoltaicas que hacen funcionar equipamientos de hospitales y centros de salud rurales en todo el mundo. Son generadores fotovoltaicos que dotan a los equipos médicos de un grado de operatividad muy alto, al proporcionarles las ventajas del uso de la energía eléctrica en lugares aislados.

Los generadores fotovoltaicos son una excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo: estaciones meteorológicas, teléfonos remotos y teléfonos de emergencia en autopistas, equipos de radio y de vigilancia forestal para la prevención de incendios, plataformas de telemetría, repetidores y transmisores de radio o TV, sistemas de control de alarmas a distancia, aplicaciones fotovoltaicas en la navegación y en los sistemas de seguridad aérea, radiofaros y sistemas de alimentación ininterrumpida

Así, es posible encontrar instalaciones fotovoltaicas para la señalización de autopistas y carreteras, ferrocarriles, plataformas petrolíferas, balizas de puertos... Instalaciones fotovoltaicas que alimentan equipos electrónicos para la toma de datos en estaciones de medida medioambiental, plataformas oceánicas, redes de protección sísmica, presas, cauces de ríos, redes de protección civil. También en la protección catódica para grandes estructuras como puentes, gasoductos, y oleoductos.

También existen sistemas fotovoltaicos para la iluminación de vallas publicitarias, de largos túneles de carretera, o la iluminación pública con farolas autónomas que se diseñan con un funcionamiento automatizado. Existen faros en la costa marina cuyo

funcionamiento tiene como base un generador fotovoltaico y recientemente ha encontrado hueco en el mercado toda una gama de lámparas, faroles y linternas que incorporan células. Hay millones de calculadoras de bolsillo, relojes electrónicos, y cargadores de baterías que utilizan energía solar. Es frecuente ver aplicaciones dentro de sectores tan distintos como el camping, el aeromodelismo y el de los juguetes.

Actualmente se desarrollan toda una gran variedad de *kits* y maquetas educativas, que participan como elementos didácticos en procesos de formación medioambiental, como: parquímetros, sistemas de aire acondicionado y ventiladores, radios solares, polímetros, mandos a distancia, equipos de carga para ordenadores portátiles y todo un mundo de consumos eléctricos tiene ya su equipo fotovoltaico solar.

- **Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red**

Un sistema fotovoltaico interconectado con la red es aquel que opera en paralelo con ella. Normalmente existe una carga local que puede recibir energía de la red y del sistema FV o de uno solo de ellos, dependiendo de los valores instantáneos de carga y generación fotovoltaica. Una instalación de este tipo también se puede denominar sistema fotovoltaico interactivo con la red o sistema fotovoltaico conectado en paralelo con la red. (Cáceres, 2017)

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es un tipo de instalación eléctrica en la que básicamente intervienen cuatro elementos:

1. El generador solar fotovoltaico. Consta de un grupo de módulos solares convenientemente conectados, y situados de manera que reciban la mayor cantidad de luz solar a lo largo del año.
2. El convertidor de conexión a red eléctrica.
3. Las protecciones eléctricas.
4. La red eléctrica.

El principio de funcionamiento es sumamente sencillo:

- La energía solar incide sobre el generador fotovoltaico, y los módulos solares generan electricidad en corriente continua. La corriente continua suministrada por el generador solar fotovoltaico se entrega al convertidor. El control del convertidor se encuentra conectado al generador solar y a la red. En el convertidor de conexión a red, la corriente continua es transformada en corriente alterna, teniendo como referencia a seguir la corriente alterna existente en la red de distribución. La energía es inyectada en frecuencia y fase a la línea de distribución eléctrica existente, quedando disponible para su distribución y consumo. La producción eléctrica del generador fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar incidente. Siempre se produce energía aun cuando el día esté más o menos nublado.

Es preciso apuntar la existencia de una serie de condicionantes que son necesarios para elegir el emplazamiento de una instalación de este tipo. La superficie a ocupar con los paneles ha de recibir suficiente energía solar, y para ello estará libre de sombras, tendrá la orientación e inclinación adecuadas, y un tamaño suficiente para alojar los paneles.

Cabe destacar de las centrales fotovoltaicas, el poco tiempo que se necesita para su construcción y la facilidad con que se pueden instalar en nuestros pueblos y ciudades. La generación fotovoltaica inyecta potencia en la red sin menoscabo alguno de la calidad del suministro y ofrece la posibilidad de obtener de forma limpia electricidad. Aunque, pese a su simplicidad, es obligatorio contar con un profesional para su montaje, ya que de otro modo puede significar adentrarse en un escenario peligroso (Cuenca, 2000).

Aunque no resulta muy complejo realizar el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de forma tradicional, en este ECE se utiliza el software *HOMER* para lograr el objetivo planteado.

El software *HOMER* es una aplicación libre desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (*NREL*, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos y se emplea para el diseño y evaluación técnica y financiera de los distintos sistemas de conexión de sistemas fotovoltaico, tales como sistemas de potencias conectados o no a la red, autónomos y aplicaciones de generación distribuida y permite considerar un gran número

de opciones tecnológicas teniendo en cuenta la disponibilidad de las fuentes de energía y otras variable (Kassam , 2010).

Mediante una serie de pantallas el software va solicitando la introducción de datos para la configuración y dimensionamiento del proyecto a estudiar, los cuales se relacionan a continuación y son mostradas en los anexos:

1. Configuración de sistema.
2. Detalles de las cargas.
3. Detalles de los componentes del sistema.
4. Datos de radiación solar en la zona donde se ubicaran los paneles.
5. Información económica.
6. Información del costo por impacto ambiental.
7. Restricciones que serán impuestas.
8. Realizar el cálculo del sistema y analizar sus resultados.

Para la configuración del sistema se oprime la tecla añadir/quitar, figura 3, y se selecciona las opciones deseadas, el equipamiento a considerar aparece a continuación en la segunda pantalla y se introducen los datos de radiación solar, y el régimen de carga de la instalación. Seguidamente se introducen los datos del panel como es: costo total de los paneles, el costo del reemplazo, el costo de operación y mantenimiento que en estos casos también se considera entre un 2% y un 5% del costo de inversión y datos como el tipo de corriente, grado de inclinación, tiempo de vida, etc., y a partir de allí el software obtendrá la variante más ventajosa. De esta manera se van completando la demás pantalla e introduciendo los restantes datos como: son inversor y baterías.

En la figura 4 se expone la pantalla para la introducción del recurso solar.

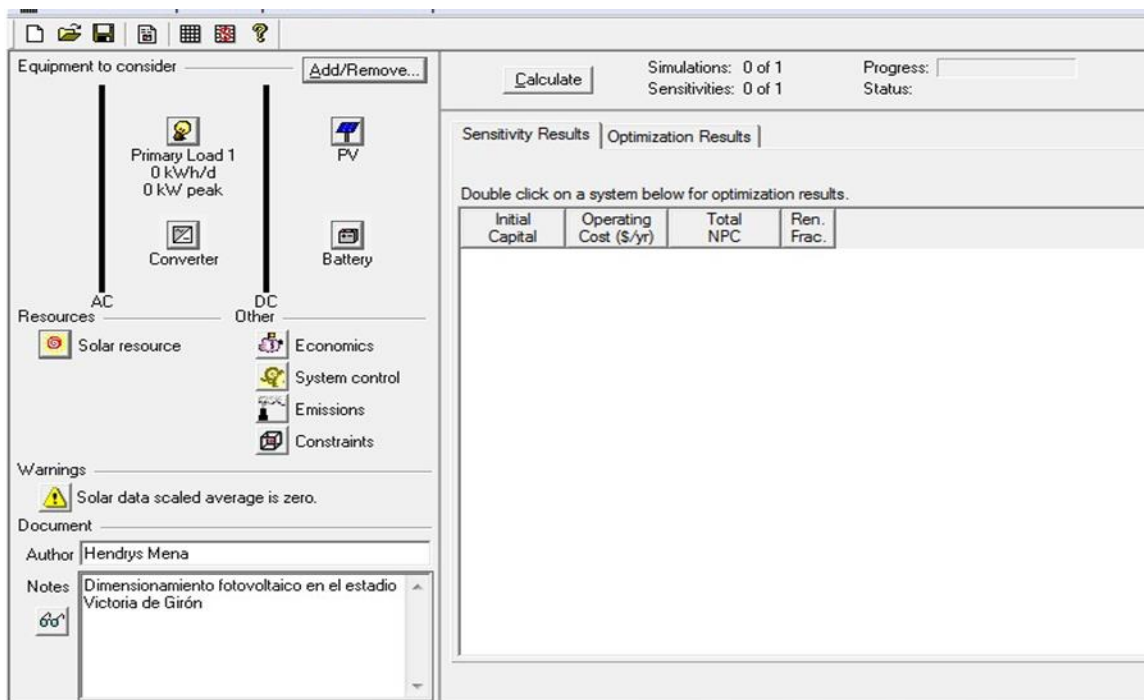
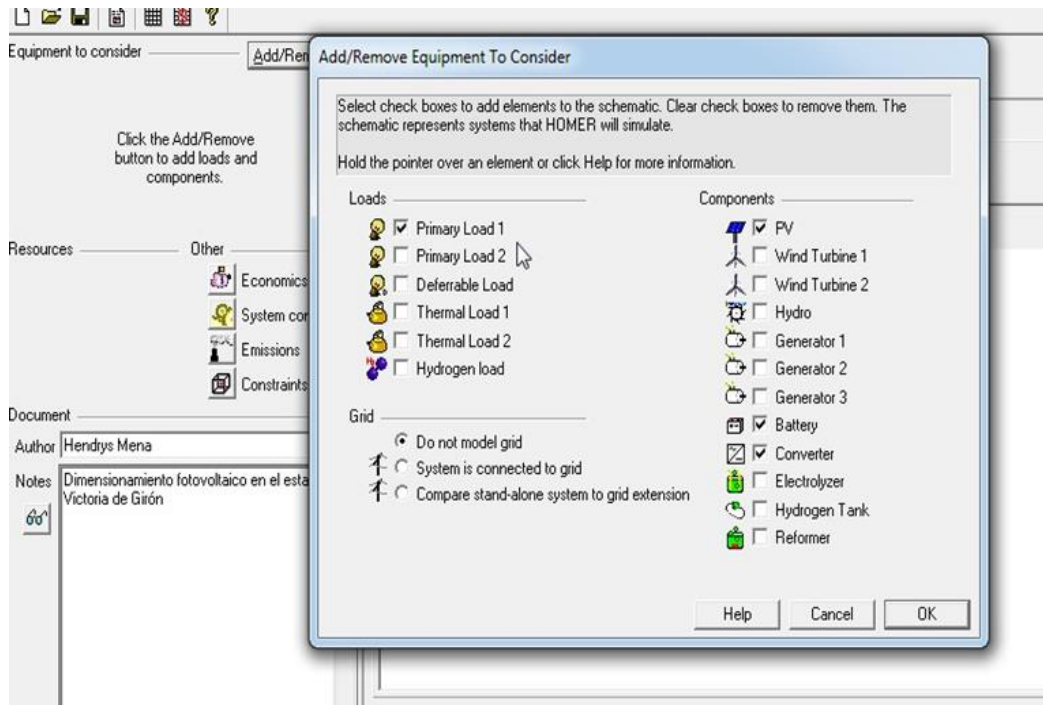


Figura # 3: Pantalla de inicio.



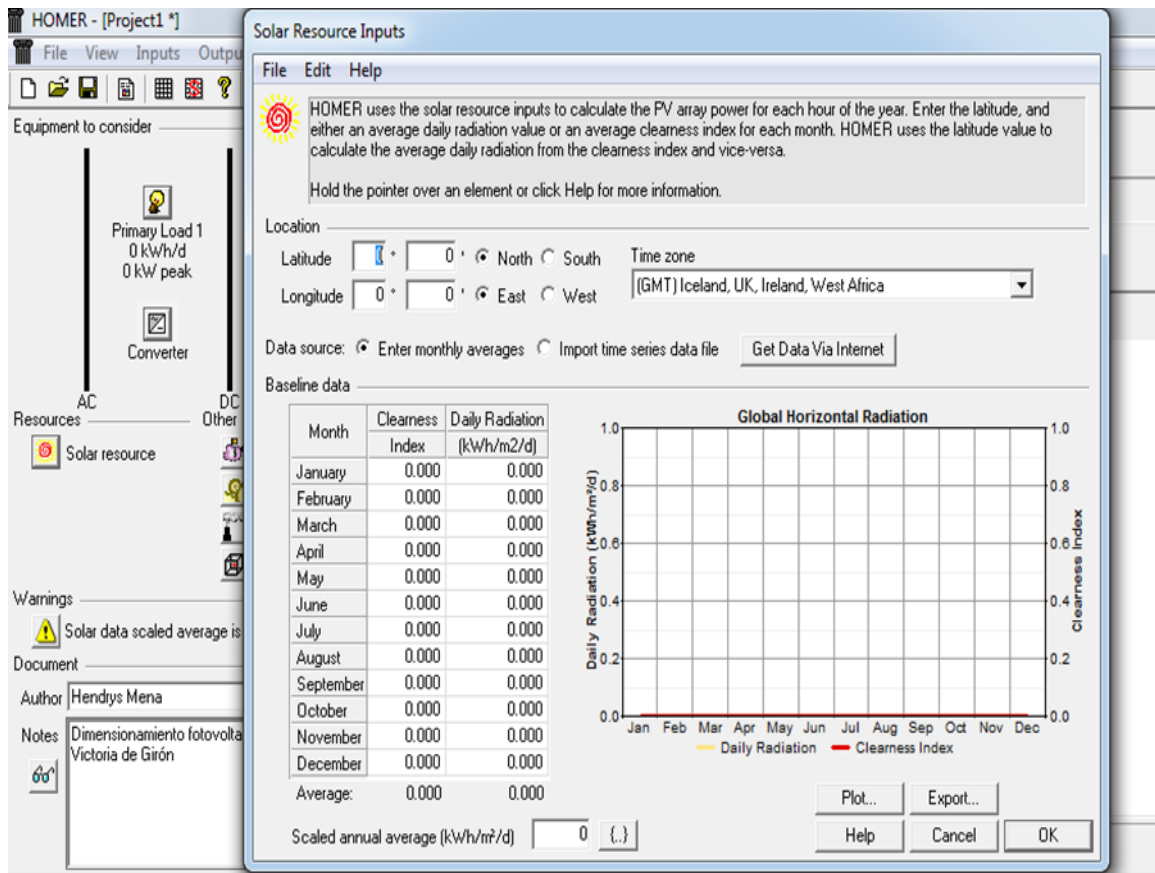


Figura # 4: Recurso solar

Además, el software muestra cuatro pantallas donde se especifican los aspectos económicos del sistema, sistemas de control, las emisiones al medio ambiente y las restricciones que se le imponen a este, estas pantallas se muestran a continuación:

La pantalla económica el software HOMER adapta las entradas económicas de cada sistema para obtener el valor actual neto de la inversión, como se muestra en la figura 5.

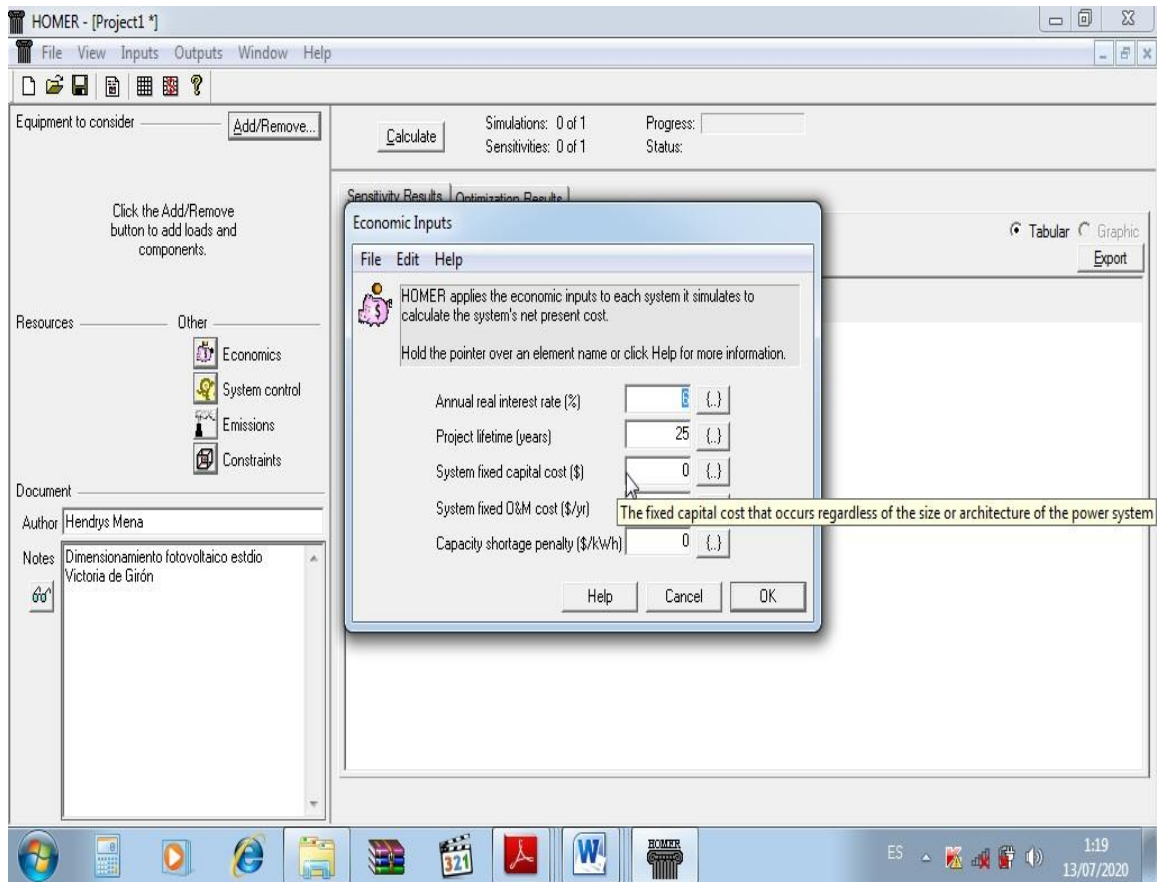


Figura # 5: Pantalla de entradas económicas

Las entradas en la pantalla del sistema de control le permiten al programa modelar la operación del generador y el banco de baterías, mostradas en la figura 6.

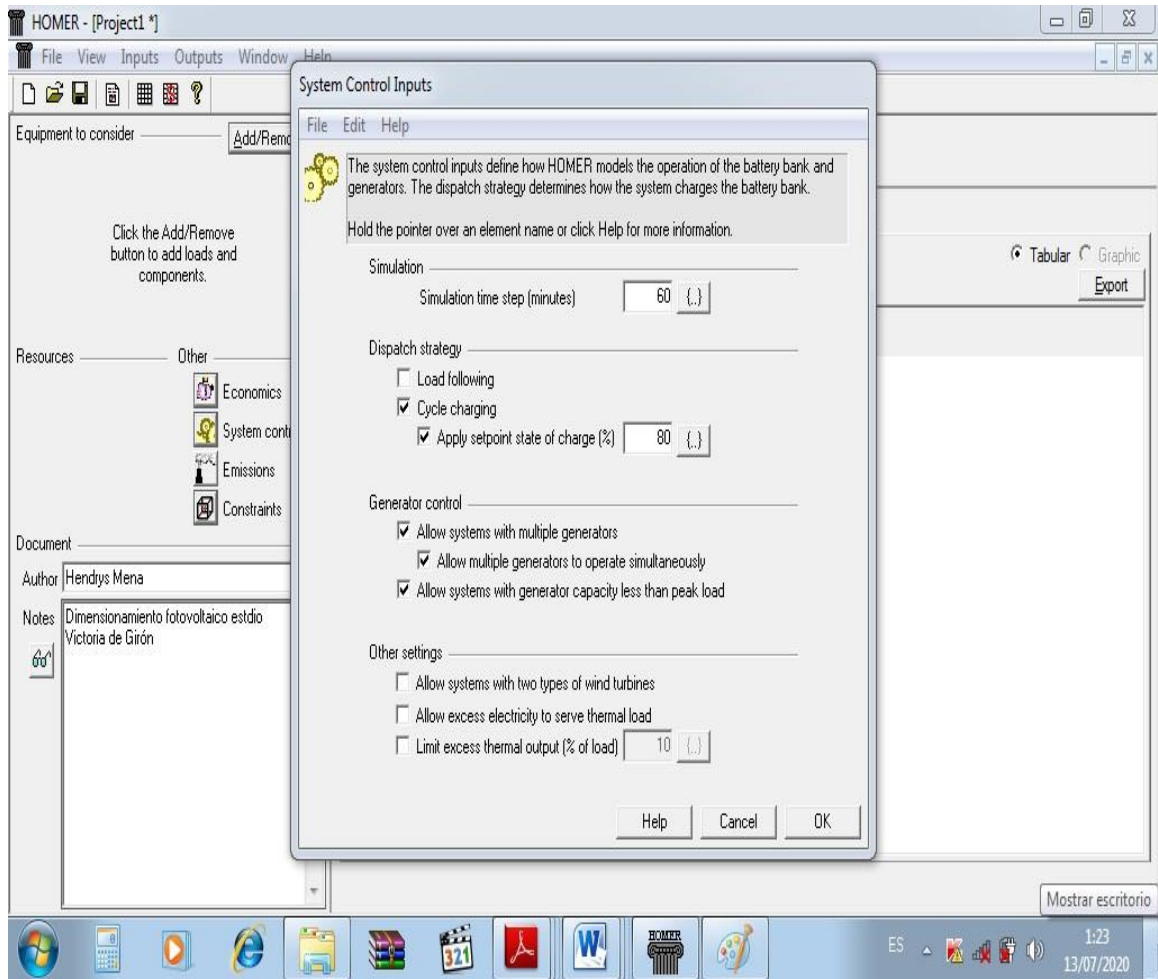


Figura # 6: Pantalla de entrada sistema de control.

La pantalla de emisiones permite obtener los costos de penalización por concepto de emisiones al medio ambiente y descarta el proyecto cuando el proyecto excede los límites de emisiones permitidos

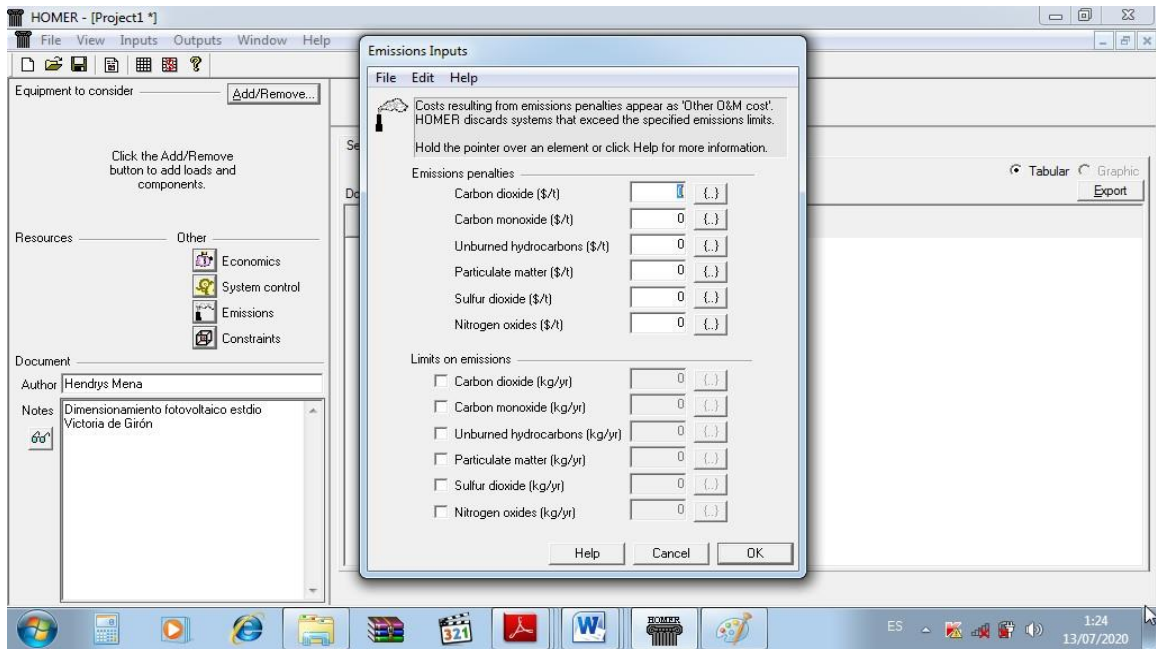


Figura # 7: Pantalla de entrada de emisiones.

Por último, el software la pantalla de restricciones que el sistema debe satisfacer para ser factible

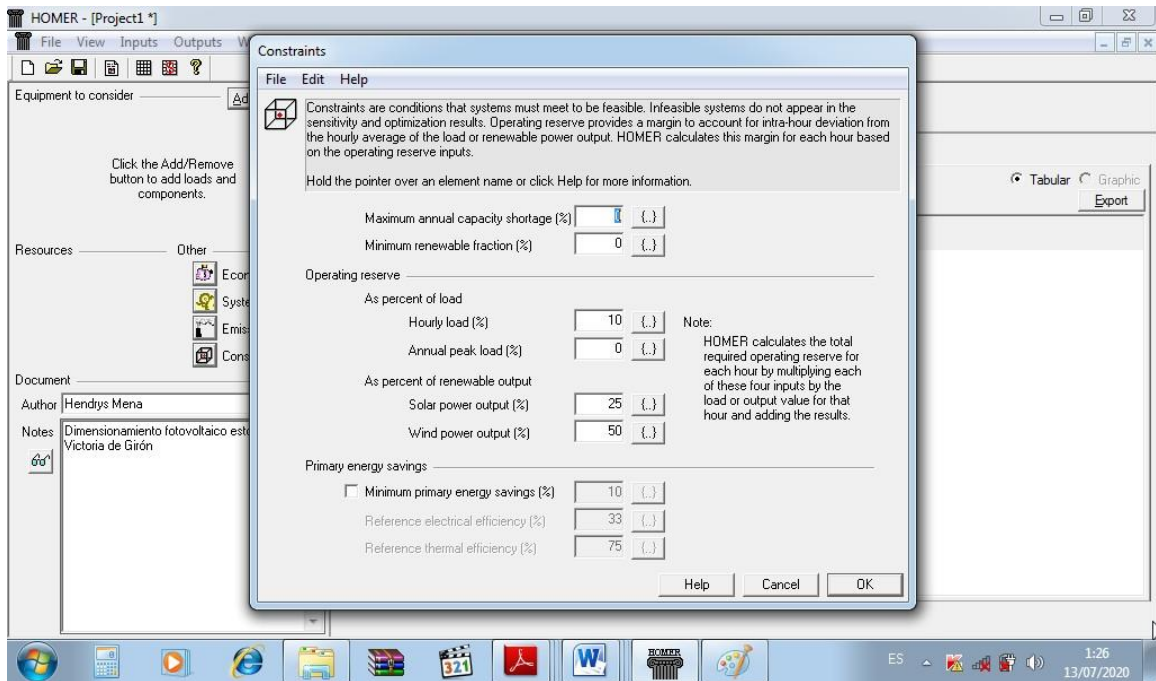


Figura # 8: Pantalla de entrada de restricciones.

Las ecuaciones que se emplean en el software para dimensionar este tipo de instalación se relacionan a continuación:

Lo primero en definirse es la hora solar pico que se calcula como la sumatoria de la radiación total a lo largo del día solar entre por mil, que es la cantidad máxima de radiación incidente sobre la superficie terrestre.

$$hsp = \frac{\sum_{i=1}^n radiación}{1000} \quad (1)$$

Seguidamente se dimensiona el sistema que no es más que obtener el número de sus componentes y su interconexión.

$$I_{gen\ panel} = \frac{POT_{nom\ panel} \times hsp}{U_{nom\ panel}} \quad (2)$$

donde:

$I_{gen\ panel}$  = Intensidad de corriente eléctrica que es capaz de generar el panel fotovoltaico, (Ah/día).

$POT_{nom\ panel}$  = Potencia nominal del panel.

$Hsp$  = Tiempo equivalente del día en el que el panel recibe  $1\text{ kW/m}^2$  de radiación solar u horas de sol pico, (hdías).

$U_{nom\ panel}$ : Tensión nominal de trabajo del panel, (V).

La potencia generada por cada panel y el número total de paneles se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$E_{total\ gen} = hsp + POT_{nom\ panel} + N_{total\ panel} \quad (3)$$

Donde:

$hsp$  = Tiempo equivalente del día en el que el panel recibe  $1\text{ kW/m}^2$  de radiación solar u hora solar pico (h x días).

$N_{\text{total panel}}$  = Número total de paneles.

#### Cálculo de Comprobación del sistema regulador-inversor.

Debe calcularse la máxima corriente  $I_R$ , que debe ser capaz de soportar el regulador en funcionamiento. Debe ser la mayor entre  $I_G$ , corriente generada por los paneles, e  $I_C$ , corriente consumida por las cargas:

El valor de  $I_C$  será:

$$I_R = \max(I_G, I_C) \quad (4)$$

El valor de  $I_G$  será:

$$I_G = I_{pmp} \times NP \quad (5)$$

$$I_{pmp} = \frac{P_p}{V_{pmp}} \quad (6)$$

donde:

$I_{pmp}$  = Corriente producida por cada rama en paralelo, (V).

$NP$  = Número de ramas en paralelo de paneles.

$P_p$  = Potencia pico del panel fotovoltaico, (Lewis)

$V_{pmp}$  = Tensión nominal del panel en punto de máxima potencia, (V).

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{220} \quad (7)$$

Los parámetros para seleccionar el inversor son:

- 1) Potencia nominal (kW): ligeramente superior a (no conviene sobredimensionarlo para conseguir que trabaje en la potencia que presenta mayor eficiencia).

- 2) Tensión nominal de entrada (V): será la del sistema de acumulación, pero estableciendo un cierto margen ya que la tensión de las baterías varía.
- 3) Tensión nominal de salida (V<sub>ef</sub>).
- 4) Frecuencia de operación (Hz).
- 5) Eficiencia del inversor.

Cálculo de comprobación del cableado.

Debe estimarse la sección de los cables. Es un aspecto importante debido al alto valor de la corriente continua que circula por el sistema, que puede producir pérdidas significativas de energía por efecto Joule. Su valor puede estimarse de la siguiente forma:

$$P_R = I^2 \times R_c \quad (8)$$

$$R_c = \rho \times \frac{L}{S} \quad (9)$$

Donde:

$P_R$  = Potencia perdida en los cables por el efecto Joule,

$R_c$  = Resistencia óhmica de los cables, (ohm).

$\rho$  = Resistividad conductor del cable, (ohm).

$L$  = Longitud del cable, (m).

$S$  = Sección de conductor del cable, (mm<sup>2</sup>).

Hay que tener en consideración la ubicación geográfica del campo fotovoltaico para con ellos introducir los datos de radiación que pueden ser horario o mensual, según disponga el cliente.

En cuanto a las características de la instalación está será dimensionada como conectada a la red teniendo en cuenta que no todo el año la instalación funciona para brindar

espectáculo deportivo, de esta forma se cuándo la serie nacional concluya o dentro del propio campeonato no se celebren juegos en el estadio, este campo puede inyectar la energía al sistema electroenergético nacional.

La zona de ubicación de los paneles será en los alrededores de la propia instalación pues existe suficiente área para su emplazamiento, además en ella no hay edificaciones ni árboles altos que incidan o se reflejen sobre las superficies de los paneles, de esta forma se garantiza que la radiación solar sea captada con mayor intensidad.

Para obtener el máximo aprovechamiento de la radiación solar, los paneles fotovoltaicos deben estar orientados de forma que la incidencia de esta radiación sea lo más perpendicular posible a los mismos.

El ángulo de inclinación óptimo de las superficies captadoras de un sistema solar está determinado por muchos factores, entre ellos: la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación, el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, entre otros, así como el coeficiente de albedo referente a los niveles de reflexión del lugar donde se ubica el sistema (Díaz Santos, Santos Fuentefría, & Castro Fernández, 2018).

Las filas que componen el generador arrojan sombras unas sobre otras en determinados momentos del día y año. Como ya se ha indicado, el diseñador debe decidir la separación entre filas como compromiso entre la ocupación del terreno y la productividad anual del sistema (LAMIGUEIRO, 2015). Como recomendación general, es de uso común respetar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno libre de sombra. La longitud de la sombra de un obstáculo se mide con:

$$d_{min} = \frac{h}{\tan(61^\circ - \theta)} \quad (10)$$

Donde:

$d_{min}$  = distancia mínima entre paneles, (m).

$h$  = altura de la fila adyacente, (m)



$\theta$  = latitud del lugar de ubicación de los paneles.

$$h = L \times \sin \beta \quad (11)$$

Donde:

$L$  = longitud del generador, (m)

$\beta$  = Angulo formado por el panel con respecto a la horizontal.

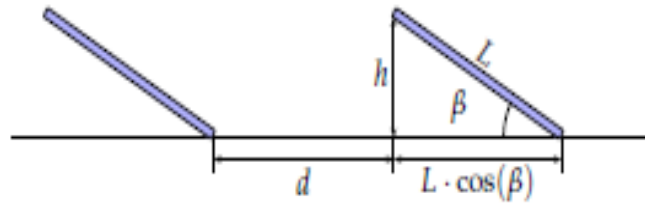


Figura # 10: Dimensiones y distancias entre filas de un sistema estático.

## CONCLUSIONES

Mediante la implementación de un sistema fotovoltaico en el estadio de beisbol Victoria de Girón, de la ciudad de Matanzas, es posible ahorrar considerables recursos financieros y energéticos al país, al dejar de consumir la energía que necesitan las torres para la iluminación del campo, además cuando en el estadio no se desarrolle ningún desafío beisbolero, esa energía puede inyectarse directamente en la red. Esto, además, trae aparejado la no emisión de gases de efecto invernadero por lo que la propuesta se considera amigable con el medio ambiente. Para el dimensionamiento del proyecto es conveniente el uso del software HOMER por su sencillez y gran confiabilidad en los resultados.

## Bibliografía

- Alonso, J., Fernandez, A., & Jimenez, C. (2005). *Energía solar fotovoltaica*.
- Barbosa, J., & Trujillo, F. (2010). *Estudio para el uso de la Tecnología solar fotovoltaica*.
- del Risco, L. (2020). Luces del Victoria no estan en la mano. *Giron*.
- Díaz Santos, R., Santos Fuentefría, A., & Castro Fernández, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Revista de Ingeniería Energética*.
- Kassam, A. (2010). Training Guide for Renewable Energy Base Station Design.
- LAMIGUEIRO, O. P. (2015). *Energía Solar Fotovoltaica*.
- Arma, O. M. (2019). Estudio de factibilidad económico-financiero del parque solar fotovoltaico Cárdenas III.
- Cáceres, R. H. (2017). Eficiencia energética y aplicaciones de la energía solar.
- Cuenca, G. A. (2000). Diseño y cálculo de un sistema de climatización de una casa de habitación a base de hidroseguidores solares.
- noticias, A. c. d. (2020). Situación actual de la ESF en Cuba.
- Schallenberg, J. C., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., . . . Subiela, V. (2008). *Energía renovable y eficiencia energética*.
- Eckert, Vera (2011). German solar power. National Renewable Energy Laboratory.