

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Electroenergética**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **Estudio Preliminar de Alternativas de Empleo de Energía Fotovoltaica en la UCLV**

**Autor: Duniel Fernández Borroto**

**Tutor: Dr.C. Carlos de León Benítez**

**Santa Clara**

**2015**

**"Año 57 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Electroenergética**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **Estudio Preliminar de Alternativas de Empleo de Energía Fotovoltáica en la UCLV**

**Autor: Duniel Fernández Borroto**

[dfborroto@uclv.edu.cu](mailto:dfborroto@uclv.edu.cu)

**Tutor: Dr.C. Carlos de León Benítez**

[Charles@uclv.edu.cu](mailto:Charles@uclv.edu.cu)

**Santa Clara**

**2015**

**“Año 57 de la Revolución ”**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de  
Departamento donde se  
defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## *PENSAMIENTO*

*Cuida tus pensamientos porque se volverán actos. Cuida tus actos porque se harán costumbre. Cuida tus costumbres porque formarán tu carácter. Cuida tu carácter porque formará tu destino. Y tu destino será tu vida.*

*Mahatma Gandhi*

## DEDICATORIA

*En la vida no encontrare ternura mejor y más desinteresada que la de mi madre. Todo lo que soy se lo debo a ella, a ella que ha sido capaz de darme todo sin recibir nada a cambio, que sus brazos siempre se abren cuando necesito un abrazo, que sus ojos tiernos se endurecen cuando necesito una lección. Es la única persona del mundo que siempre está, de forma incondicional, si la rechazo, me perdona; si me equivoco, me acoge; si los demás no pueden conmigo, me abre una puerta; si estoy triste, me da ánimo. Gracias por ser mi madre.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A todo aquel que me ha aportado algo, en especial a mi madre, a mi papa, a mi padrastro, a mi abuelo, a mi hermana, en general toda la familia. También agradecer a mi tutor por la ayuda brindada, que ha sido clave para la culminación de este trabajo, y por supuesto que también para todos los amigos y compañeros que han estado los 5 años.*

## TAREA TÉCNICA

- ✓ Estudio bibliográfico de tecnologías fotovoltaicas.
  
- ✓ Actualización de los esquemas y caracterización de las áreas físicas en el contexto universitario.
  
- ✓ Investigación para la obtención de los datos necesarios a introducir en el software desarrollado por los especialistas de la corporación Copextel S.A en la sucursal Villa Clara.
  
- ✓ Evaluación de los potenciales de generación obtenidos a partir de la corrida realizada en el software.
  
- ✓ Análisis económico de la inversión del proyecto.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## **RESUMEN**

Como parte de la política energética del país se priorizan proyectos que fomenten el empleo de las fuente renovables de energía, como garantía de independencia y sostenibilidad energéticas, ante los elevados precios del petróleo y su previsible agotamiento.

Dadas las características geográficas y constructivas, así como los esquemas de suministro eléctrico de diversas áreas en el contexto universitario, el aprovechamiento de la energía solar como fuente alternativa para el suministro eléctrico en algunas de sus áreas, puede contribuir de manera significativa, a la reducción de los índices de consumo energético de esta instalación con importantes beneficios económicos y ambientales.

A partir de estas razones es que se desarrolla este trabajo, basándose en el estudio y selección de las áreas disponibles para la implementación de los sistemas fotovoltaicos, utilizando como herramienta de cálculo el software desarrollado por los especialistas de la corporación Copextel S.A en la sucursal Villa Clara para facilitar y agilizar el trabajo.

## TABLA DE CONTENIDOS

<i>PENSAMIENTO</i> .....	i
<i>DEDICATORIA</i> .....	ii
<i>AGRADECIMIENTOS</i> .....	iii
TAREA TÉCNICA.....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Marco Teórico.....	5
1.1 Generalidades .....	5
1.2 Radiación solar .....	6
1.3 Energía solar .....	8
1.4 Energía solar fotovoltaica .....	9
1.4.1 Paneles solares fotovoltaicos.....	10
1.4.2 Componentes de los paneles fotovoltaicos .....	10
1.4.3 Ventajas y desventajas de los paneles fotovoltaicos .....	12
1.5 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos según tipo de conexión .....	13
1.5.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados.....	13
1.5.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) .....	14
1.6 Criterios de diseño de Sistemas Fotovoltaicos (SFV).....	17

1.6.1	Identificación del área disponible.....	17
1.6.2	Radiación solar del terreno.....	18
1.6.3	Orientación de los paneles .....	18
1.6.4	Selección de los equipos .....	19
1.7	Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos en Cuba .....	20
1.8	Conclusiones Parciales .....	24
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA UCLV .....		25
2.1	Introducción .....	25
2.2	Caracterización de las áreas físicas de la UCLV .....	26
2.2.1	Áreas disponibles para la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos .....	29
2.3	Comportamiento del consumo de energía en los últimos años.....	30
2.3.1	Medidas para elevar la eficiencia energética .....	31
2.4	Análisis del Incremento de la Demanda .....	33
2.5	Comportamiento del consumo de energía en los últimos años .....	36
2.6	Conclusiones Parciales .....	37
CAPÍTULO 3. PROYECTO FOTOVOLTAICO .....		38
3.1	Introducción .....	38
3.2	Calculo de la potencia pico en cubierta.....	39
3.3	Procedimiento de cálculo implementado .....	43
3.3.1	Cálculo de la irradiación diaria media mensual directa y difusa.....	44
3.3.2	Evolución de la temperatura ambiente a lo largo del día .....	44
3.3.3	Cálculo de la energía generada a partir de los valores V-I obtenidos para el generador y el modelo usado de inversor .....	46
3.4	Resultados de evaluación por áreas .....	50

3.5 Conclusiones Parciales.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
Conclusiones .....	52
Recomendaciones.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXOS .....	58

## **INTRODUCCIÓN**

La crisis en el suministro energético a la economía nacional ha repercutido en mayor o menor grado en todos los sectores de la actividad económica. Las prioridades asignadas en el suministro energético a las empresas exportadoras y a los servicios sociales básicos (entre los que se encuentra el área de la educación) provocaron un impacto severo sobre el resto de las empresas. Esta situación ha obligado a la dirección del estado a tomar diversas medidas y programas para enfrentar la crisis. Se ha tenido en cuenta además la problemática mundial actual referida al agotamiento de los recursos energéticos disponibles lo cual incide en la elevación de los precios de los combustibles en el mercado internacional, además los pronósticos indican un incremento de los mismos, por lo que todo el combustible que se ahorre, incluso el crudo nacional, le permitirá al país reducir sus importaciones, logrando así un mejoramiento de la situación económica actual.

La disminución de las reservas mundiales de hidrocarburos conjuntamente con el aumento de su consumo ha traído aparejado el aumento del precio de dichos portadores energéticos y la amenaza de su agotamiento, trayendo consigo la necesidad de buscar fuentes de energía renovables.

El deterioro de las condiciones medio ambientales del mundo: se ha convertido en una amenaza real, el deterioro de la capa de ozono, la emisión de gases de efecto invernadero, el calentamiento global, la reducción de los hábitats naturales de muchas especies y la extinción de otras, la contaminación de las aguas y los suelos, etc. Ya se hace urgente no solo la preocupación al respecto sino también la ocupación.

Ello ha potenciado la necesidad de establecer desarrollos sostenibles. Destacándose el empleo de energías renovables a medida que el desarrollo de la tecnología lo vayan permitiendo.

El empleo de las fuente renovables de energía ( FRE ) data desde el comienzo mismo de la humanidad con el uso de biomasas para cocinar los alimentos, protegerse del frío y de los depredadores; luego aprovecharon la energía eólica para propulsar las embarcaciones, llegando a utilizarla en los molinos de viento y hasta para irrigar los campos cultivados. *“Se tienen referencias sobre proyectos del emperador Hammurabi para irrigación, empleando la energía eólica, que data del 1 700 A.C. Posteriormente los persas, los chinos, los holandeses, etc., emplearon con éxito a través de los siglos la energía del viento. En la actualidad existen aún en operación algunos centenares de aerobombas del tipo multipala, del cual se fabricaron más de seis millones, después de su invención en 1854”*(IEA, 2011).

La política energética cubana actual hace énfasis en el empleo de FRE estables y económicas, la energía solar se cita como una fuente capaz de resolver este problema, la cual presenta grandes ventajas (Bube, 2012):

- No emite gases contaminantes perjudiciales para la salud ni gases de efecto invernadero que afecte el cambio climático.
- No produce ningún tipo de desperdicio o residuo peligroso de difícil eliminación.
- Es una fuente limpia, silenciosa, confiable y barata.
- Promueven el autoconsumo y la independencia energética.
- No requiere costosos trabajos de extracción, transporte o almacenamiento.
- Permite ahorro de energía convencional y de combustibles.
- Los costos de mantenimiento son bajos.
- Tiene elevada fiabilidad.
- Es una energía que no corre riesgos de agotarse.

El sector de la educación y como parte de este, las Universidades, están entre los servicios sociales priorizados en el suministro energético en Cuba, ellos son

instituciones que generalmente se encuentran ocupadas las 24 horas del día durante todo el año, y aunque sus instalaciones son diseñadas para un largo período de tiempo, en la práctica, su utilización es todavía más intensa que la soportable. Se impone entonces la necesidad de buscar soluciones que permitan reducir los consumos de energía y que contribuyan a la conservación del entorno ambiental.

En el Sexto Congreso del Partido Comunista de Cuba fue aprobado el proyecto final de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, para actualizar el modelo económico cubano, con el objetivo de garantizar la continuidad e irreversibilidad del Socialismo, el desarrollo económico del país y la elevación del nivel de vida de la población. Los lineamientos (135; 247; 253) abordan el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía, priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico, concibiendo las nuevas inversiones, el mantenimiento constructivo y las reparaciones capitalizables con soluciones para el uso eficiente de la energía, y definir así una política tecnológica que contribuya a reorientar el desarrollo industrial y que comprenda el control de las tecnologías existentes en el país (de Cuba, P. C.,2011)

### **Hipótesis.**

Como parte de la política energética del país se priorizan proyectos que fomenten el empleo de las FRE. Dadas las características geográficas y constructivas así como los esquemas de suministro eléctrico de diversas áreas en el contexto universitario, el aprovechamiento de la energía solar como fuente alternativa para el suministro eléctrico en algunas de sus áreas, puede contribuir de manera significativa, a la reducción de los índices de consumo energético de esta instalación con importantes beneficios económicos y ambientales.

### **Objetivo general.**

Realizar una propuesta tecnológica a partir del uso de energía solar fotovoltaica, para el mejoramiento de la gestión energética en la UCLV.

**Objetivos específicos.**

- Describir las tecnologías de empleo de fuentes renovables de energía para su posible aplicación en dicha instalación.
- Realizar un estudio vinculado fundamentalmente a las tecnologías comercializadas en el ámbito nacional.
- Caracterizar los consumos por áreas.
- Realizar el diagnóstico preliminar de las áreas candidatas para determinar los potenciales físicos de generación.

Desarrollar un ejemplo con el cálculo y diseño de uno de los sistemas que resulten viables a partir del estudio realizado.

## **CAPÍTULO 1. Marco Teórico**

### **1.1 Generalidades**

La disponibilidad de energía en el mundo se está convirtiendo en un problema crucial, dado que las sociedades, sin importar el nivel de desarrollo alcanzado se ven afectados por las crecientes demandas requeridas.

Además de las energías primarias (petróleo, carbón y gas natural), que son fuentes susceptibles de agotamiento y que además deterioran el medio ambiente, existen otro tipo de energías más seguras y menos contaminantes. Se trata de las energías renovables o energías del futuro, y son aquellas que producen electricidad a partir del sol, el viento y el agua. Son fuentes inagotables que todavía presentan grandes dificultades de almacenamiento y son menos eficientes ya que las instalaciones tienen poca potencia y el costo de producción es elevado, pero constituyen una gran alternativa para abastecer de energía algunas áreas que no tienen servicio normal de energía eléctrica por motivo de su ubicación geográfica y dada la dificultad de instalar redes de suministro.

En la actualidad se han desarrollado sistemas confiables, eficaces y altamente rentables desde el punto de vista económico basados en FRE y se ha tomado conciencia del importante papel jugado por la variable ecológica, al reconocerse que de continuar la quema acelerada de combustibles fósiles se producirían catástrofes mundiales poniendo en peligro de extinción a la humanidad. El continuo aumento detectado en los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y la destrucción de su capa de ozono son algunos de los fenómenos que más alarman a los científicos.

El aprovechamiento de las diferentes FRE requiere del desarrollo de nuevas tecnologías, por ello los países que desarrollen ahora una industria en esta dirección recibirán los beneficios económicos y avances tecnológicos que proporciona el liderazgo en los mercados (Pérez, 2001). Lo anterior es válido para nuestro país, de no lanzarnos a desarrollar nuestras propias tecnologías para aprovechar las abundantes fuentes renovables de energía, pagaremos el alto costo de comprar tecnologías extranjeras hundiéndonos en el atraso y la dependencia tecnológica. El desarrollo de la humanidad ha acelerado en los últimos tiempos el proceso de globalización en todas las esferas de la vida, incluyendo la económica, social, cultural, científica, etc. Por ello hay que insertarse en el mercado mundial y competir con los países de economía de mercado, es necesario entonces desarrollar la competitividad de las empresas y por ende la eficiencia, basándose en un desarrollo sostenible y protegiendo el medio ambiente.

## **1.2 Radiación solar**

No toda la radiación solar y del espacio exterior llega hasta la superficie terrestre de manera inalterada, de hecho menos de una tercera parte lo hace.

Una comprensión mejor de la incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre implica considerar las variaciones en su intensidad debidas a la ubicación geográfica, la fecha y el momento del día. Incluso, desde un punto de vista arquitectónico, resulta importante comprender cómo la intensidad de la radiación solar sobre un plano (una cubierta, por ejemplo) dependerá en gran medida del ángulo entre dicho plano y la dirección de los rayos solares (Iqbal, 2012), (Bala, 2014).

La parte superior de la atmósfera recibe una cantidad de energía solar equivalente a  $1367 \text{ W/m}^2$ , parámetro que se conoce como insolación o constante solar (Huld, 2014). Sin embargo, debido a que en un momento dado solo la mitad de la esfera terrestre se encuentra expuesta a la radiación solar, ese valor suele dividirse entre 4 para obtener una radiación incidente promedio de  $342 \text{ W/m}^2$ . Esa energía se distribuye de la siguiente manera, también en valores promedio:

- 77 W/m<sup>2</sup> (22%) es reflejada de nuevo al espacio por la atmósfera.
- 67 W/m<sup>2</sup> (20%) es absorbida por la atmósfera.
- 198 W/m<sup>2</sup> (58%) atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre, aproximadamente la mitad (29%) como radiación difusa (por efecto de la misma atmósfera) y la otra mitad (29%) como radiación directa (que atraviesa la atmósfera prácticamente sin interferencia).

Ahora bien, de los 198 W/m<sup>2</sup> que llegan a la superficie terrestre, tanto en forma de radiación difusa como directa, 30 W/m<sup>2</sup> (9%) son reflejados y 168 W/m<sup>2</sup> (49%) son absorbidos por la misma. Con estos últimos datos se puede completar el balance térmico global, que se expresaría con la siguiente ecuación. (E.1)

$$RI - RFA - RAA - RRSTC - RAST = 0 \quad (I.1)$$

Donde:

$RI$  (radiación incidente)=342 W/m<sup>2</sup>

$RFA$  (radiación reflejada por la atmósfera)=77 W/m<sup>2</sup>

$RAA$  (radiación absorbida por la atmósfera)=67W/m<sup>2</sup>

$RRST$  (radiación reflejada por la superficie terrestre)=30 W/m<sup>2</sup>

$RAST$  (radiación absorbida por la superficie terrestre)=168 W/m<sup>2</sup>

Este planteamiento implica el manejo de promedios globales, lo cual representa una simplificación de los fenómenos involucrados. En realidad estos valores suelen presentar variaciones importantes. Por ejemplo, en las partes de la Tierra cuyo cielo se encuentra cubierto de nubes densas la reflexión hacia el espacio es mayor al 22%. Así mismo, la radiación reflejada por la superficie terrestre (sin contar los océanos) varía en gran medida dependiendo de sus características particulares: las superficies con vegetación profusa solo reflejan entre el 5% y el 10% de la radiación recibida, las superficies con pasto entre el 15% y el 25%, las zonas arenosas (como los desiertos) entre el 35% y el 45%, y las superficies cubiertas de nieve reciente hasta el 95%. (Huld, 2014)

### 1.3 Energía solar

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. (Mekhilef et al, 2011)

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.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el costo de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su costo medio de generación eléctrica ya es competitivo con las energías no renovables en un creciente número de regiones geográficas (Li, 2012).

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 TWh de electricidad producida al año, un 14% de la demanda eléctrica mundial (Dincer, 2011). 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 (Aguilera ,2012).

La electricidad solar podría ayudar a reducir hasta 1.600 millones de toneladas de emisiones de CO2 para 2030, equivalente a las emisiones de 450 centrales térmicas de carbón (Dincer, 2011).

La electricidad solar contribuirá a crear empleos verdes. Actualmente, casi 120.000 personas están empleadas en este sector; la mayoría de los puestos de trabajo, que incluyen la instalación, mantenimiento y venta de sistemas fotovoltaicos, se crean localmente e impulsan las economías locales. En 2020, se espera que unos dos millones de personas estén trabajando en el sector y para 2030, se podría llegar a casi diez millones de personas en todo el mundo. (Aguilera, 2012)

#### **1.4Energía solar fotovoltaica**

Un sistema solar fotovoltaico es un conjunto de elementos que tiene como función convertir directamente la energía de la radiación solar en electricidad. Esta conversión se realiza a través de la célula solar, unidad básica en la que se produce el efecto fotovoltaico (Green, 1982).

La misma está indicada para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de aquellos q no disponen de la red eléctrica o bien para generar energía a la misma.

Actualmente, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos instalados se benefician de sistemas de apoyo económico bien diseñados, en particular el mecanismo de apoyo al precio a través de las tarifas eléctricas, que proporciona una remuneración justa al inversor y premia el esfuerzo realizado al invertir en una fuente de energía limpia. La energía solar se está haciendo más viable económicamente y debería ser competitiva en costos con la energía convencional para 2015 en los países del sur de Europa y para 2020 en la mayor parte de Europa (Sarasa-Maestro ,2013).

### **1.4.1 Paneles solares fotovoltaicos**

Un panel fotovoltaico consiste en una asociación de células, encapsulada en dos capas de [EVA](#) (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico. Este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte. (Montero, 2003)

La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células FV no puedan capturar la radiación solar. Los paneles FV proporcionan voltajes de salida de 12 V, 20 V, 24 V, y 30 V, dependiendo del número de células FV. Se necesita conectar 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V. La mayoría de paneles FV comerciales contienen alrededor de 36 células fotovoltaicas (Gasquet, H. L., 1997).

### **1.4.2 Componentes de los paneles fotovoltaicos**

- Módulos fotovoltaicos
- Batería de acumulación
- Regulador de carga
- Inversor
- Carga

Actualmente la mayoría de las células solares utilizadas en instalaciones fotovoltaicas para generación de energía eléctrica se basan en la tecnología del silicio (monocristalino, policristalino, y amorfo). Las células solares se unen eléctricamente unas con otras y tras un encapsulado sobre el conjunto de células unidas, se obtienen los conocidos paneles o módulos fotovoltaicos (Fig.I.1). El rendimiento de un módulo fotovoltaico depende de algunas variables externas como la radiación solar, la temperatura de funcionamiento, la orientación del panel frente al sol, suciedad, el envejecimiento, etc. Características eléctricas, la potencia máxima de salida de un panel fotovoltaico es una de las características

---

más importantes, estos comercialmente se ofertan con potencias que varían entre 50Wp y los 250Wp, dependiendo del tipo y tamaño de las células que lo componen.

El generador fotovoltaico es el encargado de transformar la energía del sol en energía eléctrica. Este se halla conformado por uno o un conjunto de módulos solares fotovoltaicos que se interconectan convenientemente en serie y/o paralelo con el objetivo de incrementar la corriente o el voltaje, ya que en muchas aplicaciones los módulos solares independientes no pueden suministrar la energía necesaria para un consumo determinado.

La energía producida por el generador FV se acumula en caso de ser necesario (sistema autónomos) en un sistema de batería la cual transforma la energía eléctrica en energía química, y luego realiza el proceso inverso para que esta energía pueda ser usada por los equipos consumidores. La causa fundamental del uso de la batería de acumulación está determinada por el desfase que existe entre la generación diurna y el consumo que generalmente se realiza en horas nocturnas.

Por esto para controlar los procesos de carga y sobrecarga se utiliza un regulador de carga el cual es un equipo electrónico o electromecánico que tiene como función evitar las sobrecargas o descargas excesivas en las baterías de acumulación, impidiendo entregar corriente desde el módulo fotovoltaico a la misma cuando ya está cargada con el objetivo de prolongar su vida útil, puesto que los daños podrían ser irreversibles. Además debe asegurarse que el sistema siempre trabaje en el punto de máxima potencia, o lo más cerca posible. (Castro 2014).

El inversor o convertidor (CD/CA) es un dispositivo que convierte la corriente eléctrica directa en corriente alterna almacenada en las baterías para dar servicio a determinados consumos que pueden ser en CA con el máximo rendimiento posible. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos domésticos no constan de un inversor, porque los pequeños aparatos a los cuales suministran electricidad se pueden conseguir funcionando con CC. Además, el inversor es un componente

que induce pérdidas de eficiencia, los más eficientes ofrecen un rendimiento de 90%; por tanto, en general no se puede considerar utilizar un inversor en sistemas con paneles de potencia pico 50 o 60 Wp. Sin embargo, para sistemas de potencia más elevada, alrededor de 100 Wp, es factible, pero no siempre recomendable, incluir un pequeño inversor; este permitirá facilitar la compra de cargas, porque a veces resulta difícil encontrar aparatos que funcionan en CC (radio, TV). Para potencias más grandes (2000 Wp) se vuelve ventajoso añadir un inversor (Lorenzo, 2011).

Los consumos o cargas que el sistema FV ha de satisfacer (luminarias, radio, TV, motores, etc...) pueden ser DC o AC y estos se considera como una parte substancial del sistema FV ya que determinan el tamaño del sistema.

#### **1.4.3 Ventajas y desventajas de los paneles fotovoltaicos**

Son varios los autores que han destacado las ventajas del uso de la energía fotovoltaica en diversas aplicaciones (Abella, 2005) (Díaz, 2003) (Gasquet, 1997).

##### **Principales ventajas.**

- Proviene de una fuente energética inagotable, el Sol.
- No contamina, no produce emisiones de CO<sub>2</sub> u otros gases.
- No requieren el uso de combustibles, aminorando gastos en suministro, transporte y almacenamiento de los mismos.
- No produce contaminación sonora.
- Reduce la dependencia energética de los países.
- La mayor producción coincide con las horas de mayor consumo.
- Los sistemas son sencillos y fáciles de instalar.

##### **Desventajas e inconvenientes.**

- Los rendimientos del sistema aún son bajos, básicamente por las bajas eficiencias de las células solares (15 –20 %).
- Al igual que la mayoría de las fuentes renovables de energía, requiere del apoyo de otras.
- Solo se genera durante el día.

- Los fenómenos meteorológicos imprevistos limitan la entrega de energía planificada.
- En la actualidad aún son instalaciones poco atractivas económicamente, aunque los costos se han reducido drásticamente en la última década con una fuerte tendencia a seguir bajando.

### **1.5 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos según tipo de conexión**

Según el tipo de conexión (Benito, 2005) pueden ser clasificados como:

- a. Sistemas FV autónomos o aislados
- b. Sistemas FV conectados a la red

#### **1.5.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados**

Utilizados para proveer electricidad a sitios aislados que por su ubicación geográfica y dificultad de acceso, no es posible la conexión a la red convencional y donde resulta más fácil y económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea de enganche a la red eléctrica, normalmente están equipados con baterías de acumulación para la energía producida, esto es necesario porque el sistema FV depende de la insolación captada en el día y a menudo la demanda de energía por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y noche.

Es necesario dimensionar la instalación de manera que durante el periodo de insolación permita la carga de la batería y a su vez sea capaz de alimentar las cargas conectadas al sistema.

En estos sistemas la energía producida por los módulos solares es almacenada en las baterías de acumulación a través de un sistema reguladores de carga los cuales están preparados para alimentar pequeños consumos en corriente directa. El inversor va conectado a las baterías y es el encargado de transformar la energía almacenada en los acumuladores en corriente alterna para alimentación de consumos.

Para conseguir un suministro de corriente absolutamente fiable, puede incorporarse al sistema un generador auxiliar de apoyo (diesel, eólico),

garantizándose que en el caso de que los acumuladores se queden sin energía, el sistema pueda seguir suministrando electricidad.

### 1.5.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR)

La máxima energía eléctrica producida a partir de la conversión fotovoltaica que es inyectada a la red es el principal objetivo de los sistemas FV conectados a la red eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aquellos cuya instalación está motivada por la inyección de energía eléctrica a la red, ya sea con ánimo de venta de la producción eléctrica del sistema fotovoltaico o como apoyo a la red eléctrica. Una instalación conectada a la red eléctrica convencional (Fig. 1.1) consiste básicamente un generador fotovoltaico acoplado a un inversor capaz de convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia y fase que la existente en cada momento en la red de distribución. (Yazdani, 2009)(Paatero, 2007).

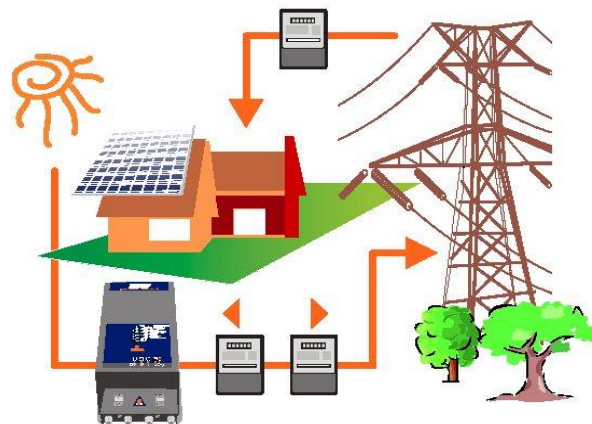


Fig. 1.1. Sistema Fotovoltaico conectado a red

El carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario que en la mayoría de las fuentes convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un gran interés para la producción de energía descentralizada o independencia del usuario o consumidor.

Es fundamental poder estimar la energía producida por un sistema fotovoltaico a lo largo de un año, de la forma más exacta posible.

La estimación de la energía producida por un SFCR es un concepto ampliamente estudiado en la literatura técnica sobre SFCR (IDAE, 2005) (Alonso,2005); pueden encontrarse desde métodos y modelos para la simulación, hasta métodos simplificados de cálculo . Hoy día incluso existen métodos de cálculo on-line que presentan páginas Web de diferentes organismos como Joint Research Center (JRC).

Aunque parece haber ciertas discrepancias entre las predicciones de los modelos y las medidas de la energía inyectada a la red eléctrica, existen predicciones simples que consisten en la mera multiplicación de un valor de irradiación por otro de potencia de pico que suelen conducir a estimaciones muy alejadas del comportamiento real del sistema.

Entre las principales ventajas de estos sistemas se pueden mencionar las siguientes:

- a. Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo, se eliminan las pérdidas en la transmisión (8-12 %) y de distribución (16-22 %) de la energía eléctrica.
- b. Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área de parqueo bien expuesta al sol y sin obstáculos o edificios próximos que proyecten sombras, sin consumir más espacio del que ya ocupa el edificio en el medio urbano.
- c. No producen contaminación ni efecto nocivo.
- d. Son sistemas modulares: permiten inversiones de forma progresiva.
- e. Los costos de operación y mantenimiento son incomparablemente inferiores a los de las termoeléctricas.

Existen dos posibles variantes, los sistemas instalados en el suelo, normalmente plantas de grandes capacidades que se conectan al sistema mediante inversores de gran capacidad con potencias nominales superiores a los 100kWp, la otra variante son los sistemas instalados en edificaciones urbanas fundamentalmente

en cubiertas y fachadas de los inmuebles, al igual que en el caso anterior se conectan al sistema mediante inversores de conexión a red. En ambos casos estos inversores representan la parte esencial de la planta solar, pues regula, controla y optimiza la instalación fotovoltaica. (Romero, 2006), (Krenzinger, 2005)

Dentro de un sistema fotovoltaico de conexión a red se tiene varios dispositivos o equipos que deben dimensionarse para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica estos incluyen:

#### **a. Paneles solares.**

Los módulos solares fotovoltaicos convenientemente conectados por células solares encapsuladas entre materiales q las protegen de los efectos de la intemperie, son las encargadas de captar la energía procedente del sol en forma de radiación solar y transformarla en energía eléctrica, situados de tal manera que reciban la mayor cantidad de luz solar a lo largo del año.

#### **b. Inversor**

Los paneles solares fotovoltaicos generan potencia a partir de la radiación solar que captan, esta potencia eléctrica no es alterna sino continua con unos valores de tensión y corriente continua que depende de la disposición de los paneles. A la hora de entregar la energía eléctrica a la red, es necesario tratarla para que cumpla las características establecidas para inyectarla a dicha red, como que debe ser sinusoidal, con una frecuencia de 60Hz y unos valores de tensión determinados para no crear perturbaciones en a la red de suministro.

#### **c. Protecciones**

Además de las protecciones integradas en el inversor, es necesario equipar la instalación con protecciones adicionales que protejan tanto la seguridad de la instalación y equipos como la seguridad de las personas responsables de su funcionamiento y mantenimiento.

A diferencia de un sistema fotovoltaico autónomo, los sistemas de conexión a red no necesitan ser dimensionados específicamente; ya que como es conocido, éstos no satisfacen una carga en particular, es por ello que para realizar una instalación

de un sistema de este tipo, siguiendo una estrategia que optimice las ventajas y objetivos, solamente se necesita saber el presupuesto disponible para ejecutar la inversión y el área donde se realizará la instalación de los módulos fotovoltaicos.

### **1.6 Criterios de diseño de Sistemas Fotovoltaicos (SFV)**

En el diseño de sistemas de aprovechamiento de energía solar es necesario conocer la disponibilidad energética del emplazamiento de la instalación, tanto cualitativa como cuantitativamente, es preciso determinar la cantidad y clase de radiación que recibirá el sistema, para estimar con precisión cual es el tamaño de la instalación que permite satisfacer adecuadamente las demandas energéticas. (Williams, 1986), (Buresch, 1983) (Huang, 2001)

Pasos a seguir para el diseño de un sistema FV.

- Identificar, medir y calcular el área disponible para la implementación del sistema
- Realizar los estudios pertinentes para determinar la radiación solar del terreno
- Determinar el consumo energético que se desea suplir
- Investigar la inclinación adecuada a la cual se van a colocar los paneles FV para aprovechar al máximo la radiación solar
- Establecer el área ocupada por cada uno de los equipos q conforman el sistema FV dejando área disponible para el tránsito de personal de supervisión y mantenimiento
- Dimensionar y escoger los diferentes equipos del sistema FV (los de mayor eficiencia y rentabilidad para la generación de energía eléctrica)

#### **1.6.1 Identificación del área disponible**

Para determinar la zona en donde se van a colocar los equipos q conforman el SF hay que tener en cuenta su posición, los obstáculos que la rodean, los aparatos que se encuentran sobre ella, el tipo de superficie y sobre todo el estado en q se

encuentra dicha superficie, teniendo en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, se puede obtener de una manera confiable el área real que se va a utilizar para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles FV la cual oscila entre el 70% y 80% del área disponible, debido al espacio de reserva que se mantiene para la circulación del personal de supervisión y mantenimiento.

### **1.6.2 Radiación solar del terreno**

En cuanto al tipo de valores de radiación necesarios para el dimensionado del sistema, estos dependen de la exactitud con que sea necesario realizar el mismo, es decir, de la aplicación de que se trate. Así, habrá sistemas que puedan dimensionarse con valores medios mensuales o anuales de radiación global, mientras que en otros será necesario utilizar series de datos horarios de varios años. Estos datos suelen ser valores de radiación históricos, sin embargo, para muchas localizaciones no se disponen estos datos, resultando necesario estimarlos a partir de correlaciones empíricas.

### **1.6.3 Orientación de los paneles**

A la hora de diseñar este tipo de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles fotovoltaicos ya que lo que se desea es que capturen la mayor cantidad de radiación solar posible, de forma que la incidencia de esta radiación sea lo más perpendicular posible a los mismos, entonces para lograr la mayor captación de radiación solar, los paneles fotovoltaicos deben inclinarse al mismo ángulo que presente la latitud del lugar donde se instalaran pero manteniendo un mínimo de inclinación entre 10 y 15 grados con motivo de proteger los módulos fotovoltaicos de la acumulación de agua y polvo (Kadri, 2011).

Para aprovechar al máximo a lo largo del año más tiempo la luz solar la orientación de los paneles se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. En definitiva, los paneles se instalarán siempre mirando hacia el Ecuador.

Debido al movimiento terrestre alrededor del sol, existen también variaciones estacionales. Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio,

los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. (Kacira, 2004)

En Cuba el ángulo de inclinación para los paneles fotovoltaicos es de 23 grados o sea la misma latitud media del país por estar entre los 15 y 25 grados respectivamente. (López, 2000).

#### **1.6.4 Selección de los equipos**

Obteniendo el área total disponible por edificación para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico, se puede empezar a seleccionar cuales son los dispositivos adecuados para cada una de las edificaciones y de este modo generar la mayor cantidad de energía eléctrica posible. El dimensionamiento de los equipos se realizara a partir de la:

- Selección de paneles fotovoltaicos
- Selección de baterías(sistemas autónomos)
- Selección de controladores de carga(sistemas autónomos)
- Selección de inversores

En primera instancia para comenzar con el dimensionamiento de los equipos se identifican los proveedores de sistemas FV con el fin de establecer los tipos y modelos de paneles FV q se comercializan actualmente en el mercado, de acuerdo con la información suministrada se analiza precios y características que concuerden con los que se necesita.

Al tener el dimensionamiento de todos los equipos q conforman el sistema FV se procede a obtener el potencial de generación total de energía eléctrica por medio de paneles FV, el cual depende principalmente de la incidencia de radiación solar, del tipo de panel a utilizar y de la eficiencia de las baterías, los controladores de carga, el cableado del sistema, los inversores, entre otros.

### **1.7 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos en Cuba**

La situación geográfica y las características propias del país, le confieren condiciones excepcionales para la instalación de tecnologías que aprovechen las fuentes renovables de energía.

El territorio cubano recibe muy altos niveles de radiación solar durante todos los días del año. Se estima que, como promedio anual, cada metro cuadrado del territorio nacional recibe una cantidad de energía solar igual a 5 Kw.h/día, equivalentes a medio litro de petróleo diario. Ello crea las mejores condiciones para la instalación de sistemas para la conversión de la energía solar fotovoltaica y térmica (Rodríguez, 2013).

Mucho queda aún por electrificar en el campo cubano; sin embargo, las aplicaciones conectadas a la red (y no solo para el ámbito urbano) deberán considerarse en la preparación del país para la utilización de todas sus fuentes renovables, como garantía de independencia y sostenibilidad energéticas, ante los elevados precios del petróleo y su previsible agotamiento, sentando las bases para futuros proyectos de mayor alcance tecnológico, que permitan estudiar, evaluar y validar este tipo de aplicación fotovoltaica y su posible generalización de forma paulatina en el país.

A partir de 1997, el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) dio un nuevo paso de avance en el desarrollo de las aplicaciones fotovoltaicas, al instalar las dos primeras centrales fotovoltaicas en el país, para dar servicio a unos 200 habitantes de los asentamientos rurales Santa María del Loreto y El Triunfo. Todo ello ha permitido ganar en experiencia y crear una infraestructura técnica hacia nuevas investigaciones y aplicaciones, como la conexión de un microsistema fotovoltaico al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

A finales del pasado siglo, se empezó a implementar el uso de la radiación solar para generar electricidad, principalmente en comunidades rurales aisladas del SEN y diversos objetivos económicos

Hasta el 2007 se contaba con un solo sistema de conexión a la red, instalado inicialmente en el 2001 en el Museo de Historia Natural Tranquilino Sandalio de

Noda, de Pinar del Río, A finales de 2008, el Grupo Nacional de Energía Solar Fotovoltaica reportaba un acumulado de 2,57 MWp instalados en más de ocho mil sistemas destinados a la electrificación rural. Durante el 2009, a pesar de las limitaciones económicas, Ecosol Energía instaló y en algunos casos suministró, todo el equipamiento para un total de 36,7 kWp distribuidos en 18 sistemas FV. Esta empresa junto a la ONG Cubasolar y el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) han obtenido logros meritorios en la electrificación rural, pero a partir del 2012 se inició la construcción de parques tributarios a la red nacional, siendo la zona campesina de Cantarrana en Cienfuegos el primer parque fotovoltaico de Cuba, con una potencia de 1 600 kW. La generación del parque fotovoltaico, a plena capacidad y en un día típico de sol, ahorra en el orden de los 13 900 kW.h/día a la entrega del Sistema Electroenergético Nacional.

En la ciudad de Santa Clara está generando el parque fotovoltaico conectado a la barra de 33 kV en el Frigorífico con una potencia máxima instalada de 884 kW.

En el año 2013 Cuba puso en marcha una central de energía solar fotovoltaica con 5 200 paneles en la ciudad central de Santa Clara. La segunda planta de su tipo instalada ese año en la isla con el objetivo de reducir su factura petrolera la cual tendrá capacidad para abastecer diariamente a unas 750 viviendas y cuando esté en total funcionamiento aportará al sistema eléctrico nacional unos 968 kW, y en conjunto con este proyecto se comenzara a operar otros cinco parques solares en las provincias de La Habana, Guantánamo, Camagüey, Santiago de Cuba y la Isla de la Juventud los cuales, una vez concluidos, deberán aportar 10 MW.(Herald,2013)

Los paneles solares instalados en el país se producen en la fábrica de Componentes Electrónicos, ubicados en la provincia de Pinar del Río que desde el 2010 conjuntamente con la puesta en marcha de inversiones en equipamiento tecnológico la fábrica de módulos fotovoltaicos de la Empresa Componentes Electrónicos de Pinar del Río actualizo su gama de módulos fotovoltaicos sobre la base del empleo de celdas solares de silicio de 125 X 125 mm e introdujo formatos sobre la base de emplear celdas solares de 156 mm X 156 mm, para el desarrollo

de aplicaciones en sistemas fotovoltaicos aislados e interconectados a la red eléctrica. Los formatos q se procesaron de introducción son módulos fotovoltaicos de 140 Wp y 180 Wp. El módulo DSM-140-C perteneciente a la serie del mismo nombre con un área de 0.99 m<sup>2</sup> y 36 celdas solares de 156 X 156 mm conectadas en serie es capaz de generar 7,78 ampere a 18 volt en el punto de máxima potencia. Para garantizar su interconexión en los sistemas está dotado de una caja de interconexión del tipo PV-RH0501B-2 con grado de protección IP65 y conectores con cables del tipo 05-6 con una longitud de 900 mm tanto para el terminal positivo como el negativo, ambos elementos certificados por los laboratorios TÜV Rheinland.(Calvache,2009)

Los SFV tienen una amplia gama de aplicaciones tanto en sistemas aislados como conectados a la red en todo el país.

En sistemas fotovoltaicos aislados en Cuba el más utilizado es el esquema típico de un sistema autónomo de una vivienda, que permite mantener la energía en un hogar a través de un panel fotovoltaico, un regulador de carga, las baterías y un inversor de corriente. Se pueden instalar en consultorios médicos y hospitales de lugares remotos.

Otra de las aplicaciones de estos sistemas fotovoltaicos se encuentra activas en estaciones repetidoras de radio y televisión, y teléfonos fijos alternativos (TFA) de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, S.A. (ETECSA).

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aplicados también en el bombeo de agua, funcionan durante el día, activando una bomba sumergible para la extracción del líquido. Son sistemas muy sencillos. Una de las ventajas de este sistema es su fácil y rápida instalación.

Los paneles fotovoltaicos tienen también aplicación en plantas potabilizadoras y desalinizadoras de agua, a las que se les acoplan los paneles. Se encuentran en uso en diversos países del ALBA (Alianza Bolivariana para los Pueblos de Nuestra América) y otros sitios de África donde existe colaboración internacionalista cubana.

---

Cuba cuenta con diversos grupos nacionales que, coordinados por el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), estudian, investigan e impulsan la utilización de cada una de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética. Ligado a ello está también el trabajo de los centros de investigación y las universidades cubanas que dedican esfuerzos y conocimientos al desarrollo tecnológico y, además, se cuenta con un centro dedicado especialmente a la gestión de información y la educación energética en todos los ámbitos de la sociedad. El nivel educacional y científico-técnico alcanzado por el país tiene un especial valor para estos propósitos.

Son muchas las oportunidades para los inversionistas y la cooperación internacional, y existe un marcado interés del país por continuar desarrollando las fuentes renovables de energía.

Constituye un interés del Estado Cubano aumentar la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética como parte del desarrollo y el crecimiento del país.

Desde el 2005 se ha desarrollado en Cuba lo que se ha llamado una Revolución Energética, de importante impacto económico, social y ambiental, en la que el ahorro de combustibles y la eficiencia energética han sido las claves, junto al uso de las fuentes renovables de energía, por sólo señalar algunos de sus más importantes aspectos.

Se realizó en todo el país la sustitución masiva de millones de equipos electrodomésticos altos consumidores, la sustitución también de millones de bombillos incandescentes por ahorradores y el cambio de otras tecnologías ineficientes, que en su conjunto han aportado significativos ahorros de portadores energéticos.

Se han realizado inversiones propias para introducir tecnologías de fuentes renovables de energía, las cuales, en lógico desarrollo y de acuerdo a las posibilidades, se continuarán realizando gradualmente. La industria cubana tiene muchas posibilidades para continuar incrementando la producción y desarrollo de partes, piezas e instalaciones para el aprovechamiento de las fuentes renovables

de energía, como se hace hoy en la fabricación de pequeñas turbinas hidráulicas, paneles solares fotovoltaicos y calentadores solares, entre otras producciones. Cuenta con un alto número de profesionales y técnicos para estos fines que, junto al trabajo de sus diversos centros científicos y universidades, representan un importante capital humano para el desarrollo. La correcta explotación de los sistemas solares fotovoltaicos contribuye a cumplir el compromiso cubano de brindar al pueblo acceso gratuito a la salud, la educación y la cultura.

### **1.8 Conclusiones Parciales**

- El impresionante crecimiento del sector de la energía solar demuestra su potencial de llegar a ser un contribuyente global de energía.
- A diferencia de un sistema fotovoltaico autónomo, los sistemas de conexión a red no necesitan ser dimensionados específicamente; ya que como es conocido, éstos no satisfacen una carga en particular.
- En el diseño de SFV es necesario conocer la disponibilidad energética del emplazamiento de la instalación, tanto cualitativa como cuantitativamente, es preciso determinar la cantidad y clase de radiación que recibirá el sistema, para estimar con precisión cual es el tamaño de la instalación que permite satisfacer adecuadamente las demandas energéticas.
- En el caso de Cuba, la situación geográfica y las características propias del país, le confieren condiciones excepcionales para la instalación de tecnologías que aprovechen las fuentes renovables de energía.

## **CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA UCLV**

### **2.1 Introducción**

La sede principal de la UCLV radica en la Ciudad Universitaria "Abel Santamaría", situada entre los kilómetros 7 y 8 de la Carretera que comunica las ciudades de Santa Clara y Camajuaní, en la Provincia Villa Clara, en la parte central de Cuba, donde se asientan sus instituciones administrativas, científicas y académicas; instalaciones deportivas, recreativas y culturales, así como un policlínico con servicios médicos y estomatológicos. La UCLV cuenta con 13 facultades que recorren desde las ciencias exactas y la tecnología hasta las lenguas y ciencias sociales, siendo la Universidad de Cuba, que cuenta con la mayor variedad de facultades en un mismo campus. Cuenta con un colegio Universitario de Formación Básica (CUFB) en el municipio de Santa Clara (antiguo Trabajadores Sociales) y además atiende 14 Filiaras Universitarias en los 13 municipios de la provincia.

Como hecho excepcional, cuenta con un Jardín Botánico enclavado en el propio campus, fundado hace más de 40 años y con un valioso arboretum y un herbario de valor científico, histórico y ambiental.

Se mantiene una activa colaboración e intercambio con numerosas universidades latinoamericanas, bajo convenios vigentes o actas de intención, sobre todo con instituciones de México, Colombia, Nicaragua, Perú, Honduras y Brasil. La UCLV también tiene convenios de investigaciones conjuntas e intercambio académico y estudiantil con universidades de Canadá, Alemania, España y otras instituciones europeas. Es la única universidad cubana que ha creado la Cátedra de la OCLAE (Organización Continental Latinoamericana de Estudiantes), con fines de fomentar

el intercambio y la solidaridad entre el estudiantado universitario del continente, es miembro de la UDUAL (Unión de Universidades de América Latina), la OUI (Organización Universitaria Interamericana), del Grupo de La Rábida de Universidades Iberoamericanas y de la AUIP (Asociación de Universidades Iberoamericana de Postgrado).

## 2.2 Caracterización de las áreas físicas de la UCLV

El área física que ocupa cada una de las instalaciones universitarias es mostrada en la Tabla 2.1. y Tabla 2.2 Fig. 2.1.

Esta constituye una información básica para acometer un proyecto basado en el empleo de fuentes renovables de energía.

Tabla 2.1. Áreas fundamentales de estudio y trabajo.

	Área Central m <sup>2</sup>	Área Agrop.m <sup>2</sup>	Antillas m <sup>2</sup>	TOTAL
Áreas Construidas	97550,35	1463806,82	5484,0	1566841,17
Áreas Verdes	12469,32	111164,08	24702,0	148335,4
Áreas de reserva	312500,0	76000,0	0	388500,0
Polígonos	1000,0	0	0	1000,0
Áreas deportivas	39445,1	0	0	39445,1
Plazas	1600,0	2450,0	0	4050,0
Viales	33564,0	11100,0	7380,0	52044,0
TOTALES	528960,77	1678092,9	40466,0	2247519,67

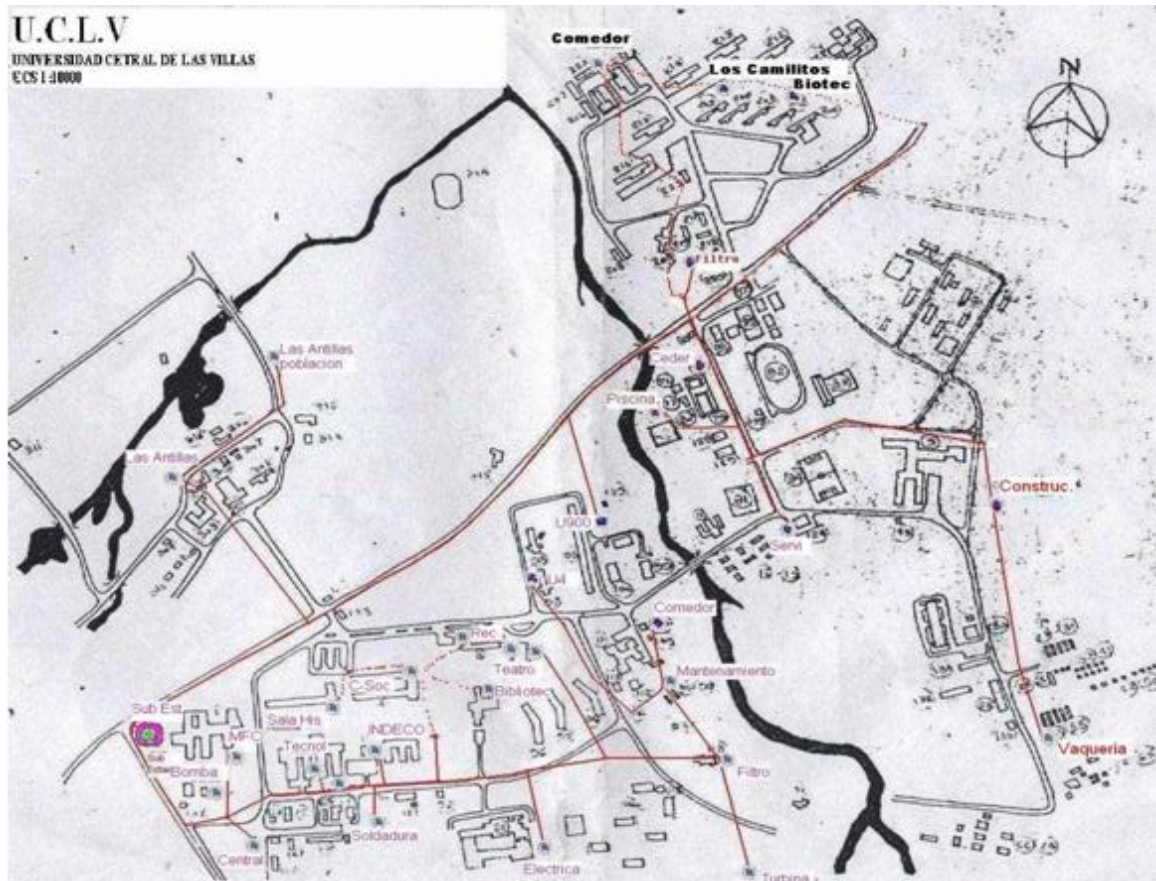


Fig2.1.Campus Universitario

Tabla 2.2. Distribución de terreno que compone la UCLV.

OBRA	M <sup>2</sup> cubierta
Fac. Matem. Física y Comput.	3900
Edificio de Ciencias	1693
Edificio de Tecnología	5890
Edificio de Ciencias Sociales	3033

<b>OBRA</b>	<b>M<sup>2</sup> cubierta</b>
Fac. Ing. Eléctrica	2382
Fac. Construcciones	3524
Fac. Ciencias Empresariales	1800
Teatro Universitario	1230
Biblioteca Central	1360
CQA	386
CIAP	710
Centro de Calculo	546
Planetario	82
Comedor Agropecuario	1890
Comedor Central	2427
Casa de la FEU	1026
Casa del Jardín Botánico	120
Base de Transporte (Trafico)	40
SEDER	3498
Complejo de Piscinas	596
Almacén de Reservas	450
Almacén de Textos	628
Hotel Los Sauces	720
Casas de visitas (1, 2 y 4)	1088
Edificio Administrativo U4	585
Residencia Estudiantil U1	745
Residencia Estudiantil U2	745

OBRA	M <sup>2</sup> cubierta
Residencia Estudiantil U3	745
Residencia Estudiantil U5	585
Residencia Estudiantil U9	565
Residencia Estudiantil U10	565
Residencia Estudiantil U11	565
Multifamiliar de Trabajad. C1	1250
Residencia Estudiantil C2	1250
Residencia Estudiantil C3	1250
Residencia Estudiantil C4	1250
Residencia Estudiantil C5	1250
Residencia Estudiantil 900	1580

### 2.2.1 Áreas disponibles para la implementación de sistemas de paneles fotovoltaicos

En el campus universitario en su gran mayoría las edificaciones son aptas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, el procedimiento para la selección de las mismas fue siguiendo los parámetros de los mayores consumidores de energía eléctrica principalmente, y el estado de la cubierta, la disponibilidad de espacio, tratado en el epígrafe 1.7.1, la tabla 2.3 muestra cuales fueron las áreas seleccionadas.

Tabla 2.3. Edificios seleccionados

EDIFICACION	CUBIERTAS M <sup>2</sup>	DEMANDA MAXIMA
FIE	1080	40
CEI	500	45
U2	500	25

EDIFICACION	CUBIERTAS M <sup>2</sup>	DEMANDA MAXIMA
COMEDOR	2000	35
900	1280	40

### 2.3 Comportamiento del consumo de energía en los últimos años

La UCLV es considerada a nivel nacional y provincial por parte de la UNE y el Dpto. del URE (Uso Racional de la Energía) un centro gran consumidor de Energía eléctrica.

En la figura 2.2 y 2.3 se muestran los consumos totales en MW.h por año y MW.h por mes respectivamente del centro observándose una tendencia a la disminución del consumo independientemente del incremento del volumen de la actividad docente e investigativa, a no ser en el 2014 que eleva su consumo.

Notar que los estudiantes, profesores e investigadores son los principales usuarios de los puestos claves que son los laboratorios de computación y como tal es necesario realizar un plan de acciones en ellos con vistas a lograr considerables ahorros de energía.

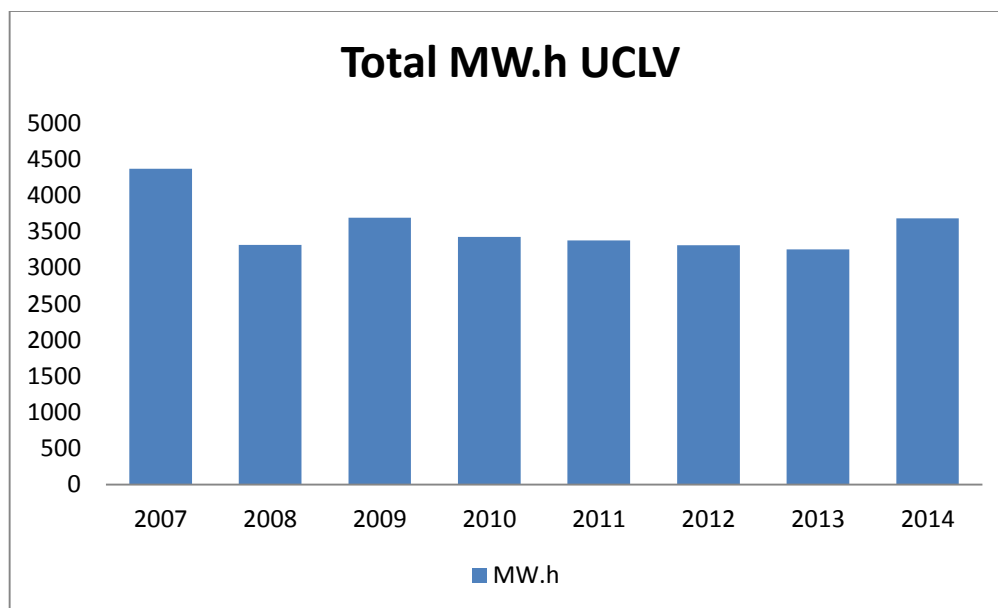


Fig.2.2 Consumos totales en MW.h por año de la UCLV.

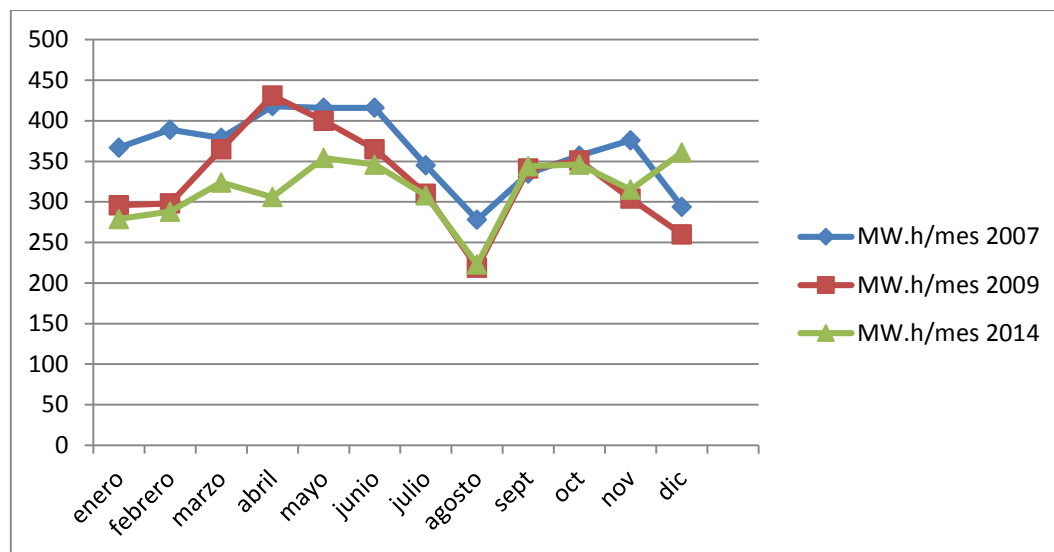


Fig.2.3 Evolución de los consumos en MW.h/mes en diferentes años.

### 2.3.1 Medidas para elevar la eficiencia energética

Teniendo en cuenta el crecimiento del consumo eléctrico que se ha producido en el país a partir de marzo del 2009.

Se hace necesario adoptar medidas especiales y rigurosas, que conduzcan a la reducción del consumo de energía eléctrica en nuestro centro.

Las principales medidas consisten en:

1. .Para todas las dependencias universitarias:
  - Conectar las impresoras, fotocopiadoras, microcomputadoras y monitores sólo cuando se vayan a utilizar, y los dos últimos configurarlos en su opción de ahorro.
2. En el horario pico de (11:00 AM a 1:00 PM) en todas las dependencias universitarias:
  - Desconectar todos los equipos de climatización de los locales, aulas, laboratorios de computación de estudiantes, profesores e investigadores. que no estén siendo utilizados en la docencia de pregrado y postgrado.
3. En el horario de (6:00 p.m. – 9:00 p.m.) en todas las dependencias universitarias.

Desconectar todos los equipos de climatización del Centro, incluidas las cámaras frías del comedor Central, solo se exceptúa el local de los servidores de computación central del Centro.

4. En cada facultad se autoriza el funcionamiento de un laboratorio de computación de estudiante en el horario de 6 pm a 1:00am con prioridad para los estudiantes externos.
5. Los laboratorios de computación de los estudiantes, profesores e investigadores, cerraran en el horario de lunes a viernes desde la 1:00 am. , hasta las 8:00 am.
6. Suspender el bombeo de agua del acueducto Central al tanque elevado en el horario de 5:00 pm. a 8:00 pm. El bombeo del tanque apoyado a la red universitaria que actualmente se realiza durante 3 bombeos de dos horas cada uno, se mantienen las tres frecuencias de bombeo, pero a 1.5 horas cada una. De igual forma procederá para el bombeo del acueducto de los Camilito.
7. Se encenderá el alumbrado público a partir de las 7.30 PM y se apagará a las 6:00 AM del próximo día.
8. La Dirección de Becas controlará de forma constante el uso de los equipos electrodomésticos prohibidos. Se aplicarán las medidas previstas en el reglamento y se retirarán los equipos y se retirará el servicio cuando se excedan en el plan de consumo diario de energía eléctrica.
9. Se aplicará la reducción de los equipos conectados en los albergues de extranjeros. La Dirección de Becas y de Relaciones Internacionales coordinará las discusiones con estos estudiantes y aplicarán las medidas que se orienten. Establecerán las normas y aplicaran el reglamento.
10. No encender aires acondicionados hasta las 1 pm y apagar a las 5:00 pm en las áreas administrativas

#### Medidas para la beca

1. Prohibir totalmente la instalación de cocinas eléctricas, calentadores, ollas arroceras, ollas Reina, Refrigeradores, Freidoras y equipos electrodomésticos similares en la Residencia durante las 24h.

2. Reducir al mínimo posible la iluminación artificial en el horario diurno en locales de trabajo y habitaciones. Intensificar el ahorro de electricidad en la Residencia en el horario pico, limitando las luces encendidas a las imprescindibles y apagando las luces de las habitaciones cuando no estén ocupadas.

## 2.4 Análisis del Incremento de la Demanda

La sede Central de UCLV cuenta para el control del consumo de la energía eléctrica con un total de 8 puntos de medición los cuales se encuentran instalados.

- Planta Piloto

Este metro contempla prácticamente toda la parte central de la UCLV, consume este circuito más del 60 por ciento de la energía eléctrica asignada a la universidad (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Metro Contador Planta Piloto.

AÑO	TOTAL MW.h/año	PROMEDIO MENSUAL MW.h/mes
2010	1800	150
2011	1733	145
2012	1708	143
2013	1776	148
2014	1839	154

En este circuito (metro contador) se encuentran:

- Rectorado
- Cocina comedor Central que presta servicio a más de 6000 usuarios y donde se elaboran alimentos para 7500 comensales como promedio.
- Teatro Universitario con capacidad para 900 personas y que presta servicios de extensión universitaria a la UCLV.
- Mantenimiento, Biblioteca, CEI, CBQ, Química Farmacia, Mecánica, MFC, Humanidades, C. Sociales, Derecho, Psicología, Ciencias Empresariales, Policlínico, Transporte, U1, 2, 3, 4 y 5, DEU, CIMNE).

El incremento de las computadoras y equipos de climas asociados serán las causas del incremento del consumo de la energía eléctrica en este circuito. Se

aprecia desde el 2010 una disminución del consumo eléctrico producto de la disminución de horario de funcionamiento en los laboratorios de computación, cuestión que afecta la formación del profesional. Este circuito requiere de una asignación promedio de hasta 190MW.h/mes.

- Metro contador *SEDER*.

Este metro mide los consumos de energía de complejo de deportes de la UCLV, como esta instalación cuenta con 2 piscinas, para los entrenamientos de estudiantes atletas y estas se ponen en función del consejo Popular de la Universidad para dar recreación en el verano a la población del mismo y por ello incrementa su consumo en la etapa veraniega, también este metro mide los consumos de energía del área de la Facultad de Construcciones ,el centro de estudio de Química Aplicada ( CEQA).El Taller de maquinaria Agrícola, los almacenes de ATM, una carpintería , el Plantel Avícola, FEU y la gasolinera.

Hay que destacar el aumento de los actuales niveles de la actividad computacional de la Facultad de Construcciones. Su consumo medio durante el curso es de 16 MW.h/mes y durante el periodo vacacional es de 26 MW.h/mes.

El consumo de este circuito representa entre 8 y el 10 % del consumo total universitario. Este circuito requiere un valor promedio de 35 MW.h/mes.

- Metro Contador Cámara #4

Este metro mide los consumos de la energía eléctrica de la Clínica los edificios de residencias C4 y C5, el edificio perteneciente al Departamento de mecanización agropecuaria y la Residencia de post grado Hotel los Sauces. Es de significar que las residencias de estudiantes comenzaron a funcionar en el curso 08-09 a plena capacidad y cuenta con sistema de bombeo propio. Su consumo durante el pasado fue de unos 16 MW.h/mes y se incrementa durante el periodo vacacional hasta 23MW.h/mes por el funcionamiento de los aires acondicionados del hotel los Sauces en función del plan Vacacional del Personal Universitario.

- Bloque 900

Mide el consumo de energía eléctrica de los Edificios de Residencias estudiantiles U-9 de alumnos extranjeros, del edificio de Residencias de Post grado U-10 y de la residencia Estudiantil Bloque 900, las disímiles unidades gastronómicas que se encuentra en los edificios.

El aumento del consumo de este circuito está dado por el incremento de la actividad de estudiantes principalmente extranjeros, y la cantidad de equipos eléctricos que emplean (computadoras, equipos de refrigeración, televisores, equipos de música, etc.), además de las unidades gastronómicas.

Debido a todo lo anteriormente indicado se requiere un consumo promedio de hasta 40 MW.h/mes

- Cámara # 1

Desde este servicio se alimentan los laboratorios docentes y de investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias junto con los edificios de residencias estudiantiles C1 y C2.

Debido al incremento de estudiantes, y al nivel de actividad asociados a los proyectos intencionales se requiere en este circuito un promedio de 20 MW.H/mes.

- Cámara # 2

Desde ese servicio se alimentan las aulas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias así como el edificio administrativo, el Centro de investigaciones Agropecuarias y un edificio de becario C3.

Debido al nivel de actividad asociados a proyectos internacionales y revitalización de la beca universitaria en esta área requiere un consumo promedio de 38 MW.H/mes.

- Cámara # 3

Brinda alimentación al comedor CA y almacenes. El consumo promedio de este metro es de 15 MW.H/mes

- Servidor

Está compuesto por el data center, los laboratorios de industrial y locales de la DIC.

El promedio de consumo del metro llega hasta 29 MW.h/mes.

## 2.5 Comportamiento del consumo de energía en los últimos años

El servicio eléctrico de la Ciudad Universitaria se lleva a cabo desde dos circuitos de distribución primaria de 4,16 kV con líneas aéreas y soterradas que alimentan 32 bancos de transformadores de distribución de uno, dos y tres transformadores. (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Distribución por transformadores

No.	Servicio	Transf.	kW <sub>máx.</sub> (hora)	kW.h/día
1	Tanque elevado	3x50	55	540-580
2	Facultad Matemática	37-15	14-18	300-370
3	Facultad Mecánic	50-100-50	35-40	410-460
4	Fundición	100-100	18-23	190-220
5	Centro de Cálculo	75-75	37-45	490-530
6	Facultad Eléctrica	37-15	28-33	340-380
7	Facultad Humanidades	3x25	10-15	130-150
8	Sala Historia	25-50-25	5-8	60-80
9	Rectorado	10-25-10	5-8	70-80
10	Teatro 1	3x25	5	5-80
11	Teatro 2	100-167-100	5-100	
12	Biblioteca y U3	50-25	25-30	285-315
13	U4 y U5	50	15	150-170
14	U1 y U2	37	35-40	490-530
15	Lavandería	25-15	3-5	45-55
16	Acueducto Central	15-25-15	30-60	300-400
17	Bomba del río	10	0	0
18	Comedor	3x25	25-35	300-350
19	Bloque 900	100-25	90-135	750-1100
20	SEDER	25	6-9	70-100
21	Piscina	25-25	20	180-220
22	Gasolinera y FEU	25-25	3-4	30-40
23	Explosivos	100	8-10	90-110
24	Facultad Construcciones	50-10	25-30	300-330
25	Pollera	37-15	6-8	60-80
26	Acueducto Agropecuaria	25-15	10	100-110
27	Cámara 4	3x25	50-60	600-700
28	Cámara 3	100-25	7-10	100-120

No.	Servicio	Transf.	kW <sub>máx.</sub> (hora)	kW.h/día
29	Cámara 2	50-100-75	70-85	850-1000
30	Cámara 1	100-100-37	30-40	400-440
31	Fibra Óptica	10	3-5	30-50
32	Servidores	25	7-10	60-80

La siguiente tabla del consumo eléctrico (Tabla 2.6), muestra, a su vez, como la computación y la climatización conforma las principales fuentes de consumo de energía eléctrica.

Tabla 2.6. Estructura del consumo energético de la UCLV

	kW.h/día	%
Alumbrado	896	8%
Computación	4024	34%
Climatización	4781	40%
Refrigeración	400	3%
Bombeo de agua	840	7%
Motores	300	3%
Otros	600	5%
Total	11841	100%

## 2.6 Conclusiones Parciales

1. La UCLV es considerada a nivel nacional y provincial por parte de la UNE y el Dpto. del URE (Uso Racional de la Energía) un centro gran consumidor de Energía eléctrica.
2. El incremento de los equipos de computación y los sistemas de clima han sido los factores predominantes en la elevación de los índices de consumo.
3. La estructura del área física de la UCLV, por sus características y extensión propicia condiciones favorables para el empleo de energía solar fotovoltaica.
4. Por las características de la carga la factibilidad de empleo de esta FRE debe ser evaluada en instalaciones docentes.

## **CAPÍTULO 3. PROYECTO FOTOVOLTAICO**

### **3.1 Introducción**

Se presenta el modelo general utilizado para estimar los valores de energía producida por el SFCR a lo largo de un año. Además, se calculan los parámetros más representativos que caracterizan a un SFCR, tales como los valores de la tensión, corriente y potencia a la salida del generador. En el modelo empleado se considera que:

- La potencia del sistema coincide con la nominal ofrecida por el fabricante.
- El sistema trabaja siempre en el punto de máxima potencia
- El sistema se encuentra operativo permanentemente.

Además no se consideran las pérdidas por dispersión, las perdidas en los cables, las pérdidas por suciedad del generador, sistema de seguridad o fallos en el sistema, ni paradas programadas.

Los datos necesarios para la aplicación incluyen:

1. Área física en metros cuadrados.
2. Nivel de radiación solar.
3. Ubicación geográfica.
4. Datos técnicos del equipamiento (paneles solares, inversores, transformadores).
5. Carga instalada.

Para la aplicación se ha tomado como ejemplo el edificio de la facultad de Ingeniería Eléctrica.

### 3.2 Cálculo de la potencia pico en cubierta

La figura 3.1, muestra las dimensiones hipotéticas de una cubierta plana de la instalación objeto de estudio, donde se señalan magnitudes que ayudarán al desarrollo de las expresiones de cálculo.

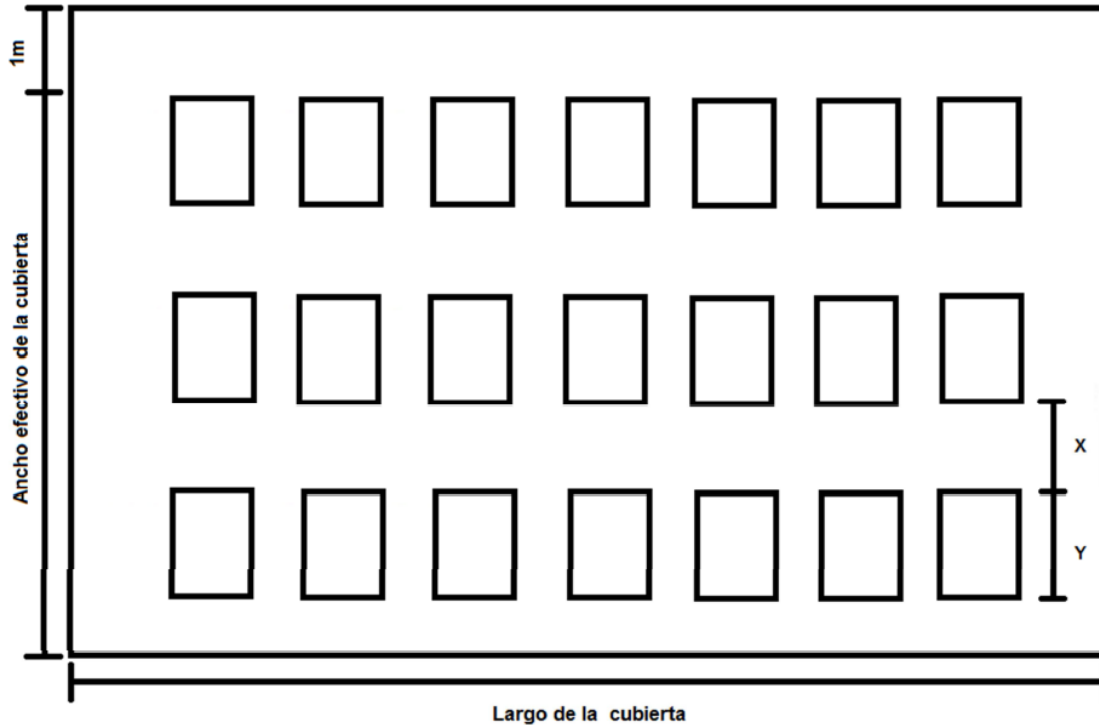


Figura 3.1: Generador fotovoltaico en cubierta plana.

Para calcular el número de paneles en la fila (Ec.3.1), solo es necesario conocer el largo de la cubierta y el ancho del panel.

$$4 \quad N_{pf} = LC/AP \quad (3.1)$$

Donde:

$N_{PF}$  : Número de paneles filas.

$LC$  : Largo de la cubierta en m.

$AP$  : Ancho del panel en m.

Como resultado puede obtenerse un número que no es entero, es necesario entonces tomar como número de paneles de la fila, el menor número entero entre los que se encuentra el resultado.

Para obtener el número de filas de paneles que se pueden ubicar en cubierta, es necesario obtener X e Y de la figura 3.1.

La longitud lineal que ocupa en cubierta el panel inclinado un ángulo  $\beta$ , respecto a la horizontal se obtiene aplicando la expresión 3.2:

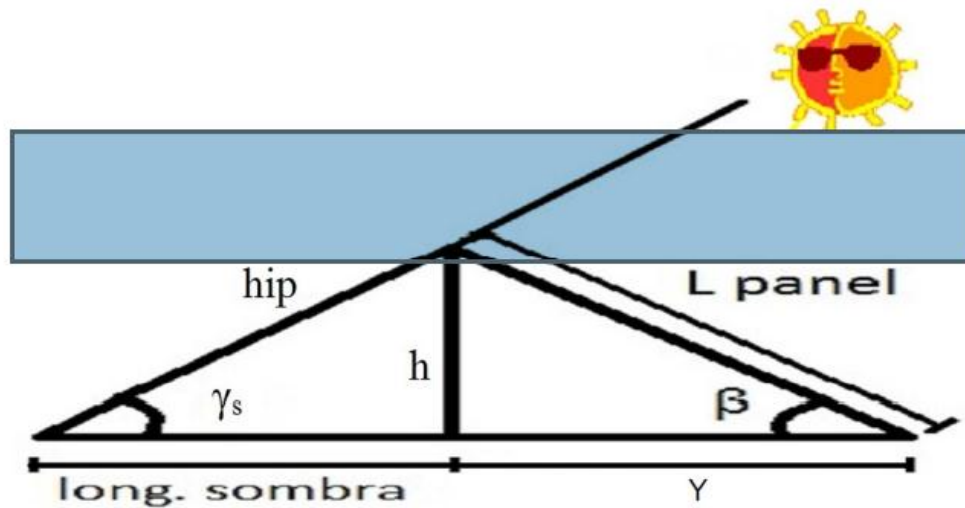
$$5 \quad Y = L_p \cdot \cos \beta \quad (3.2)$$

Donde:

Y: Longitud lineal que ocupa el panel (m).

$L_p$ : Longitud del panel (m)

$B$ : Angulo con respecto a la posición horizontal (Fig.3.2).



6 Figura 3.2 Inclinación del panel solar.

El número de filas de paneles (Ec.3.3), se calcula mediante la siguiente expresión.

$$N_{filas} = A_{efc} / (X + Y) \quad (3.3)$$

Donde:

$N_{filas}$ : Numero de filas de paneles.

$A_{efc}$ : Ancho efectivo de la cubierta (m).

X: Longitud de sombra. (m)

El resultado puede ser un número que no es entero y se deben seguir las mismas consideraciones que en el caso anterior para su determinación definitiva.

El número total de paneles del arreglo fotovoltaico (Ec.3.4), se determina entonces a partir de la siguiente expresión:

$$N_{pfa} = N_{pf} \cdot N_{filas} \quad (3.4)$$

Donde:

$N_{pfa}$ : Numero de paneles del arreglo fotovoltaico.

La potencia pico (Ec.3.5), que se podrían instalar en cubierta se determinan a través de la expresión siguiente:

$$P_{maxgen} = P_{maxpanel} \cdot N_{fpa} \quad (3.5)$$

Donde:

$P_{maxgen}$ : Potencia máxima del generador (W).

$P_{maxpanel}$ : Potencia máxima del panel (W).

Aquí se determina la potencia a instalar tomando en consideración la arquitectura y ubicación del inmueble, porque el potencial definitivo está condicionado por la interconexión eléctrica de los módulos en el generador fotovoltaico, en lo cual influye de manera decisiva el inversor o grupos de inversores a colocar en el sistema, por lo que la potencia a instalar pudiera ser menor. Para el desarrollo de esta aplicación se utiliza el software desarrollado por los especialistas de la corporación Copextel S.A en la sucursal Villa Clara (Arias, 2012).

Con las consideraciones del usuario se puede obtener la configuración eléctrica del generador, para determinar, el número de módulos conectados en serie y el número de ramas en paralelo.

Para implementar todas las consideraciones anteriores, se confeccionó una hoja de cálculo, en *Matlab* (figura 3.3), que a partir de los datos aportados por el usuario se puede obtener de manera rápida un grupo de resultados útiles para

conocer la potencia pico del generador fotovoltaico así como la distribución de los módulos en la cubierta.

**Calculo de la Capacidad Fotovoltaica Instalada en Cubiertas Planas**

Datos			
Largo de la cubierta (L en m):	<input type="text"/>	Angulo de Elevacion del panel respecto a la Horizontal ( Beta en Grados):	<input type="text"/>
Ancho de la cubierta (A en m):	<input type="text"/>	Latitud del Lugar (Norte +; Sur -) ( En Grados):	<input type="text"/>
Largo del Panel (L panel en m):	<input type="text"/>	Angulo Azimutal del panel ( Chi):	<input type="text"/>
Ancho del Panel ( m):	<input type="text"/>	Potencia Pico del Modulo Fotovoltaico ( W):	<input type="text"/>
Resultados			
Longitud de la Sombra ( m):	<input type="text"/>	Numero de filas de paneles :	<input type="text"/>
Numero total de paneles :	<input type="text"/>	Cantidad de paneles en la fila:	<input type="text"/>
Separacion entre filas:	<input type="text"/>	Potencia pico Generador Fotovoltaico(Wp):	<input type="text"/>

7 Figura 3.2 Hoja de cálculo.

La carga eléctrica conectada al generador fotovoltaico debe garantizar en dependencia de la condición de irradiancia y temperatura, lograr un punto de operación del conjunto generador-carga eléctrica que garantice la operación en el punto de máxima potencia. Por tal motivo al igual que varía constantemente la característica externa del generador fotovoltaico, la carga eléctrica tiene que variar constantemente para acomodarse, de forma tal que garantice un punto de operación donde el generador aporta su máxima

Para la estimación de los valores de funcionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario conocer la irradiancia global incidente sobre la superficie del generador y la temperatura ambiente del mismo correspondientes a una determinada escala temporal (diaria, horaria, cada diez minutos, etc.)

El Año Meteorológico Típico (en lo sucesivo, AMT) recoge los distintos valores horarios de irradiación global horizontal y temperatura ambiente obtenidos a lo largo de un año hipotético constituido por una sucesión de doce meses pertenecientes a un conjunto de años reales. Estos doce meses se escogen de modo que el AMT represente con fiabilidad las características meteorológicas del lugar en cuestión. Los datos proporcionados por este año “artificial” permiten modelar el comportamiento de los SFCR de forma más precisa que usando los valores de un determinado año o valores medios mensuales.

El AMT sólo se encuentra disponible para muy pocas localidades, incluso resulta difícil conseguir los valores horarios de radiación horizontal y temperatura ambiente para la mayoría de los lugares.

Normalmente, los únicos datos disponibles para todas las localizaciones son los doce valores medios mensuales de irradiación global diaria horizontal junto con los doce valores medios mensuales de la temperatura ambiente diaria máxima y los correspondientes doce valores de la temperatura mínima .

Esta circunstancia obliga a recurrir a procedimientos que, a partir de este reducido número de datos disponibles, estimen la evolución temporal de la irradiancia y de la temperatura ambiente en intervalos de una hora, diez minutos, u otro intervalo de un “día representativo” para cada mes, así como a considerar que todos los días del mismo mes poseen una evolución temporal de la irradiancia y temperatura idéntica a la de su “día representativo”.

### **3.3 Procedimiento de cálculo implementado**

En el modelo propuesto se puede resumir en la siguiente secuencia de acciones:

### 3.3.1 Cálculo de la irradiación diaria media mensual directa y difusa

La componente directa de la radiación en un plano perpendicular a los rayos solares ( $I_D$ ), se puede calcular mediante la expresión siguiente la que representa los rayos solares que inciden en un plano perpendicular al vector solar.

$$I_D = 1367 \cdot ((0,7)^{AM})^{0,678} \tag{3.6}$$

Donde:

$I_D$  se expresa en  $W/m^2$  y AM es la masa de aire.

El valor de 1367 es la constante solar y el número 0.7, es debido al hecho de que alrededor del 70% de la radiación incidente sobre la atmósfera es transmitida a la Tierra.

Aún en días claros la radiación difusa es de alrededor del 10% de la componente de radiación directa. Por tanto la radiación global ( $I_G$ ), se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_G = 1.1 \cdot I_D \tag{3.7}$$

Los datos medios de radiación solar media considerados se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Valor medio de radiación solar incidente. (Berriz, 2007)

$\beta$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov.	Dic.	Promedio anual	$\beta$
0°	4,73	4,92	6,20	7,23	6,66	6,22	6,42	6,48	5,84	5,67	4,28	4,45	5,763	0°
10°	5,29	5,29	6,44	7,22	6,47	5,98	6,20	6,40	5,96	6,05	4,71	5,03	5,924	10°
15°	5,53	5,43	6,50	7,16	6,33	5,82	6,04	6,31	5,97	6,18	4,89	5,27	5,957	15°
18°	5,65	5,51	6,53	7,11	6,23	5,72	5,97	6,27	6,00	6,25	4,98	5,41	5,972	18°
20°	5,73	5,55	6,53	7,06	6,18	5,67	5,89	6,19	5,95	6,28	5,04	5,49	5,968	20°
25°	5,90	5,63	6,52	6,92	5,96	5,43	5,66	6,03	5,90	6,35	5,16	5,67	5,931	25°
30°	6,04	5,68	6,48	6,74	5,73	5,20	5,66	5,84	5,82	6,38	5,25	5,82	5,871	30°
35°	6,14	5,69	6,40	6,53	5,48	4,95	5,18	5,63	5,70	6,37	5,31	5,94	5,780	35°
40°	6,20	5,68	6,28	6,29	5,21	4,69	4,91	5,39	5,56	6,32	5,34	6,02	5,659	40°
45°	6,23	5,63	6,13	6,01	4,92	4,40	4,62	5,13	5,38	6,24	5,34	6,06	5,509	45°
										<b>Valor máximo promedio anual (kWh/m²)</b>			5,972	18°

### 3.3.2 Evolución de la temperatura ambiente a lo largo del día

El modelo utilizado para estimar la evolución de la temperatura ambiente ( $T_a$ ) a lo largo del día a partir de la temperatura máxima y mínima de ese día asume que:

- La temperatura ambiente máxima (Tamáx), se produce siempre dos horas después del mediodía solar.
- La temperatura ambiente mínima (Tamín), se produce siempre al amanecer ( $\omega = \omega_s$ ).
- Entre estos dos instantes la temperatura ambiente evoluciona de acuerdo con dos semiciclos de dos funciones coseno, en función de la hora solar ( $\omega$ ).

Con la aplicación del simulador a partir de la información obtenida con relación al comportamiento de las variables meteorológicas y de ubicación geográfica así como las características constructivas del emplazamiento son determinados los componentes del diseño del ejemplo seleccionado. (Arias, 2010)

La FIE tiene un área techada de la potencia pico del generador fotovoltaico así como la distribución de los módulos en la cubierta obtenida a partir de la aplicación del procedimiento anteriormente descrito se muestra en la Fig. 3.4 y Fig. 3.5.

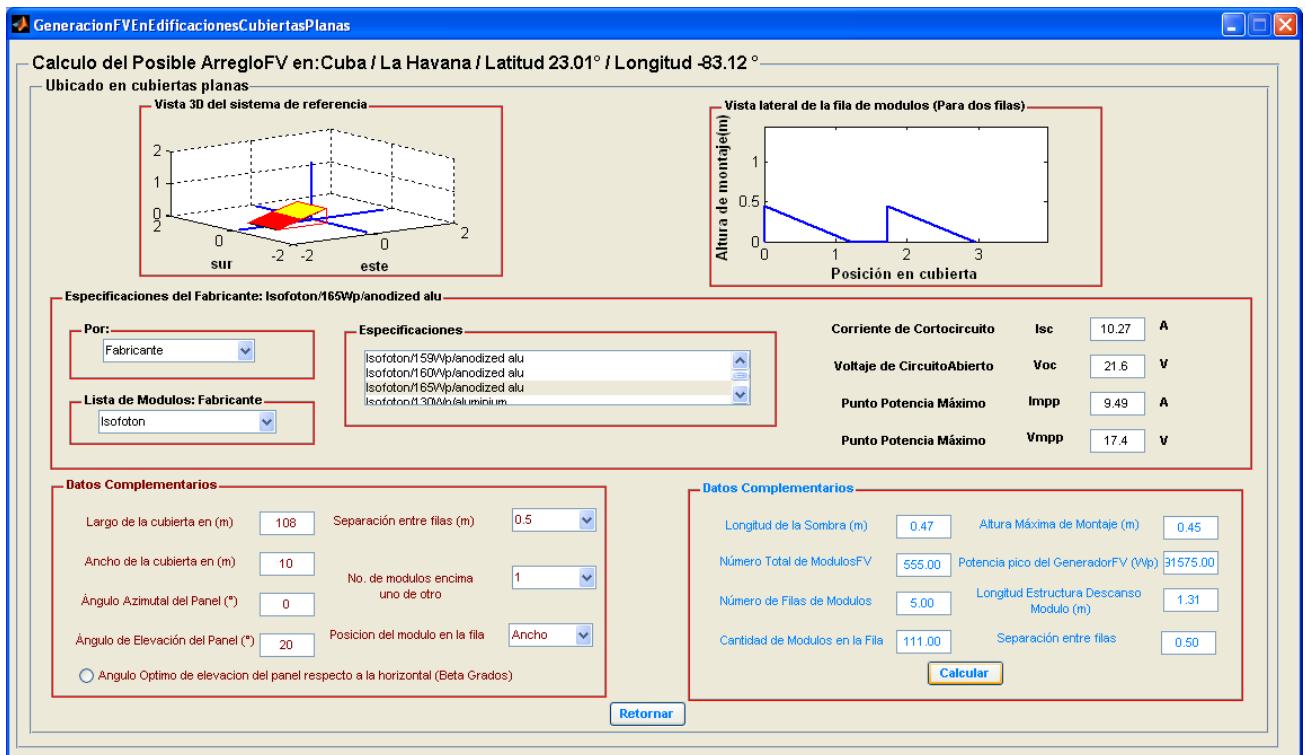


Fig.3.4 Componentes del SFV.

Como puede notarse en condiciones de máxima radiación la potencia pico del generador fotovoltaico asciende a 91,5 kW. Los valores de potencia máximo registrados en las mediciones realizadas oscilan entre 35 y 40 kW en el horario del

día, lo que significa que la instalación fotovoltaica sería capaz de cubrir el total de la demanda para esas condiciones y entregar energía a la red.

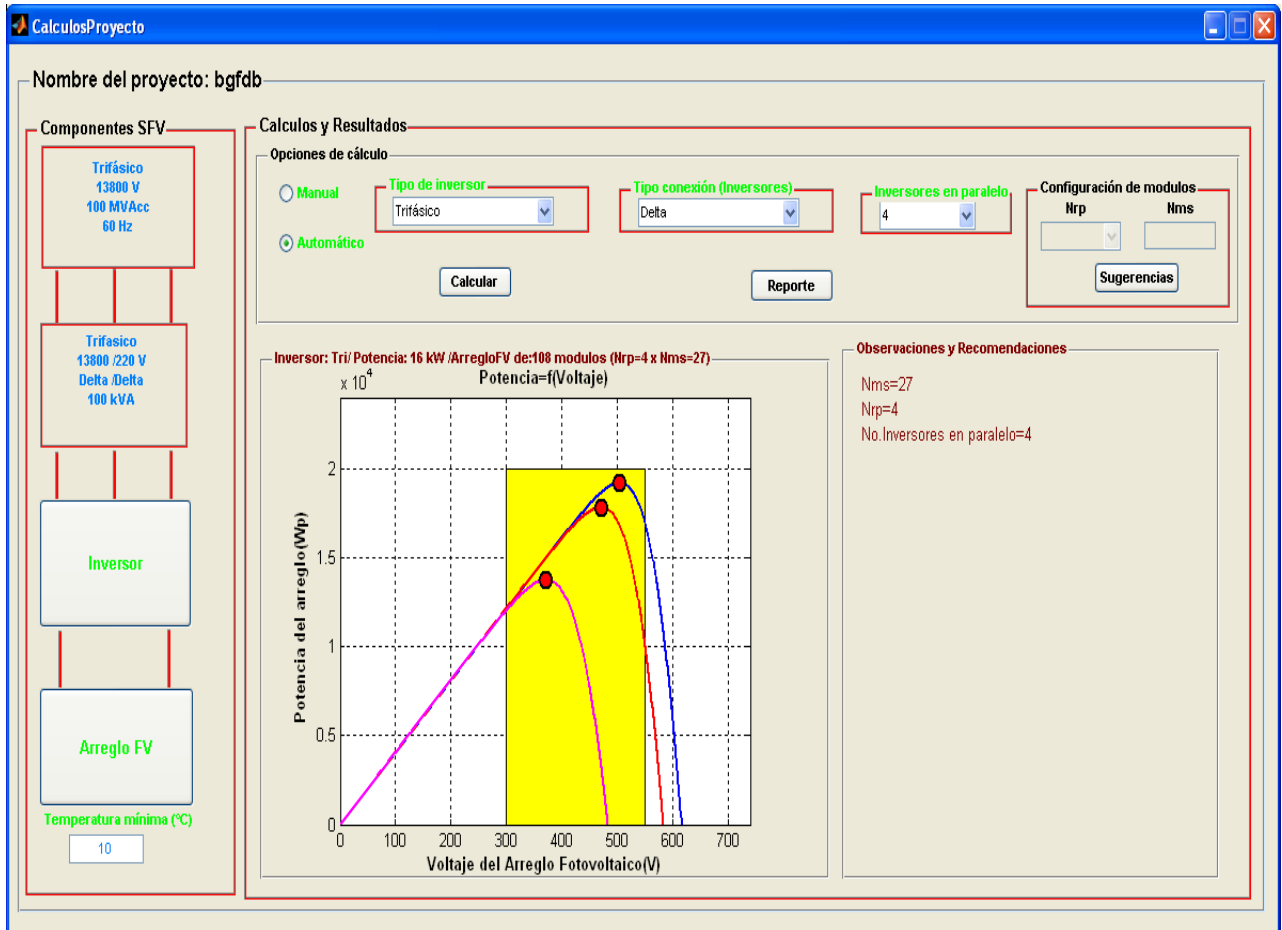


Fig.3.5 Componentes del SFV.

### 3.3.3 Cálculo de la energía generada a partir de los valores V-I obtenidos para el generador y el modelo usado de inversor

La agencia COPEXTEL SA comercializa diferentes modelos de inversores los cuales han sido colocados en la base de datos del Sistema desarrollado. Para esta aplicación teniendo en cuenta los resultados de las variables (corriente de cortocircuito, voltaje máximo, potencia máxima) a la salida de los arreglos fotovoltaicos (Fig. 3.6).

Fig.3.6 Cálculo de los inversores

Para el generador fotovoltaico obtenido se selecciona un total de cuatro inversores de modo que el mismo se ajuste a las condiciones de carga y operación en el punto de máxima potencia.

### 3.3.4 Análisis económico de la inversión.

El análisis económico se realiza atendiendo al valor que representa la inversión y el costo del kW.h, dejado de consumir del SEN.

La energía que el generador fotovoltaico inyecta a la red, depende de la potencia fotovoltaica instalada y del comportamiento de la irradiancia solar del sitio, así como de las interrupciones por roturas o mantenimientos de la red eléctrica, las cuales se desprecian en este análisis.

Para un generador fotovoltaico de inyección a red, resulta importante conocer la relación kW.h/kWp, este tiempo expresa la cantidad de horas equivalentes del año

en que el generador fotovoltaico entrega los kWp instalados y es conocido en la literatura como tiempo característico (Sarmiento, 2013).

Por otra parte se establece el ciclo de vida del generador fotovoltaico, como el tiempo que demora en disminuir la potencia pico del generador fotovoltaico en alrededor de un 1%, este tiempo se encuentra alrededor de 25 años, aunque el módulo fotovoltaico del generador comienza a degradar su potencia a partir de los 35 años de funcionamiento. (Lorenzo E., 2006)

Adicionalmente para desarrollar el análisis se considera que por cada kW.h generado, se emite a la atmosfera aproximadamente 700g de CO<sub>2</sub> y se consumen además 250g de petróleo, con una eficiencia en la central termoeléctrica de alrededor del 30%.

A partir del año 2010 (Sunny Family 2010-2012), el costo de los inversores de inyección a red ha disminuido considerablemente como consecuencia del incremento de la producción y desarrollo de tecnología y técnicas para mejorar su funcionamiento. El precio oscila alrededor de 0,375 CUC/W. De igual modo el precio de Wp de los módulos fotovoltaicos se encuentra alrededor de 2,3 CUC/Wp. Por otra parte el costo de instalación de los sistemas, con las tarifas actuales de la corporación Copextel S.A, se encuentran en 100 pesos en Moneda total/kWp.

Con estas consideraciones se plantean las siguientes ecuaciones que permiten determinar el costo de la inversión.

$$CI_{gfv} = Wp_{mfv} \cdot Nm_{gfv} \cdot C_{wp} \quad (3.8)$$

Donde:

$CI_{gfv}$ : Costo de inversión del generador fotovoltaico (\$).

$Wp_{mfv}$ : Potencia pico del módulo (W).

$Nm_{gfv}$ : Número de módulos del generador.

$C_{wp}$ : Costo específico (\$/Wp<sub>mfv</sub>)

En la expresión anterior se considera un costo de un 1% para la compra de angulares requeridos para la confección de las estructuras, fijación y cableado del generador fotovoltaico.

$$CI_{inv} = Pp_{inv} \cdot Nm_{inv} \cdot C_{Pp_{inv}} \quad (3.9)$$

Donde:

$CI_{inv}$ : Costo de inversión de los inversores (\$/kW<sub>p</sub>).

$Pp_{inv}$ : Potencia del inversor (W).

$Nm_{inv}$ : Numero de inversores del generador.

$C_{wp}$ : Costo específico (\$/C<sub>p<sub>inv</sub></sub>)

Empleando las dos expresiones anteriores y el costo de mano de obra se determina el costo total de la inversión (Ec.3.10).

$$CI_T = CI_{gfv} + CI_{inv} + kW_p \cdot 100 \quad (3.10)$$

Donde:

$kW_p$ : Potencia fotovoltaica instalada.

El ahorro (\$/año), expresado en función de la energía anual generada se determina en función de la energía ahorrada. (Ec.3.11)

$$Ahorro = (E_{año}) \cdot C_{kwh}$$

Donde:

Ahorro: Ahorro total (\$)

$E_{año}$ : Energía ahorrada kW.h por año.

$C_{kwh}$ : Costo específico del kW.h (\$)

Se confecciona el flujo de caja del proyecto y como criterio de decisión se aplica el valor actual neto (VAN).

Para este ejemplo los resultados del flujo de caja se muestran en la Tabla 2.2

Tabla 2.2. Flujo de caja del proyecto

Costo promedio de la energía	0.25							
Costo del generador fotovoltaico	137862							
Costo de inversores	24000							
Costos Instalación	9157.5							
Costo de Inversión Total	171019.5							
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Tasa de intereses (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kW.h)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Energía Generada (MW.h) por año	166.1	166.1	166.1	166.1	166.1	166.1	166.1	166.1
Ingreso Energía Generada (\$) por año	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8
INGRESO TOTAL	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8	41518.8
Depreciación	17102.0	17102.0	17102.0	17102.0	17102.0	17102.0	17102.0	17102.0
Ahorro sin impuestos (\$)	24416.8	24416.8	24416.8	24416.8	24416.8	24416.8	24416.8	24416.8
Impuesto (\$)	2441.7	2441.7	2441.7	2441.7	2441.7	2441.7	2441.7	2441.7
Ahorro con impuestos (\$)	24392.4	24392.4	24392.4	24392.4	24392.4	24392.4	24392.4	24416.8
Flujo efectivo no descontado (\$)	41494.3	41494.3	41494.3	41494.3	41494.3	41494.3	41494.3	41518.8
Factor descuento por intereses	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
Flujo efectivo descontado (\$)	39145.6	36929.8	34839.4	32867.4	31007.0	29251.9	27596.1	26049.4
Flujo de caja	-131874	-94944	-60104.	-27237.	3769.7	33021.6	60617.7	86667.1
Valor Presente Neto	86667.1							

El resultado del flujo de caja del ejemplo desarrollado para el caso de la FIE , muestra que a pesar del alto costo de la inversión, la misma resulta atractiva pues la misma se recupera a partir del cuarto año de explotación.

### 3.4 Resultados de evaluación por áreas

Siguiendo el procedimiento anteriormente expuesto, fueron analizadas un grupo del resto de las áreas techadas en la UCLV. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.3.

En la mayoría de los casos se observa como la propuesta del proyecto resulta atractiva pues en un periodo medio de 5 años se recupera la inversión inicial, al contrario del Comedor en el cual no es factible la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 2.3 Resultados en otras áreas universitarias

Dependencia	Área m <sup>2</sup>	Generador fotovoltaico (Paneles)	Inversores	Potencial de Generación	Inversión Total	Periodo de recuperación
FIE	1080	555	4	91,57	171019,5	5
CEI	500	250	2	41,25	78225	3
U2	500	198	3	32,67	56387,7	2
COMEDOR	2000	1125	3	185,62	364387	-
900	1280	660	3	108,9	204084	7

Aquí han sido analizadas las áreas fundamentales que por su infraestructura tecnológica y elevados índices de consumo pueden ser representativas en la disminución de los índices de consumo de energía de la UCLV, en caso de aplicación del proyecto planteado. El cálculo de los diferentes proyectos fotovoltaicos así como su evaluación económica se muestra en el anexo I.

### 3.5 Conclusiones Parciales

- 1 Las características de los inmuebles así como las condiciones meteorológicas en la UCLV, propician excelentes condiciones para la aplicación de proyectos de SFCR.
- 2 El potencial fotovoltaico de las áreas techadas analizadas en la UCLV asciende a 460 kW lo cual representa aproximadamente el 40% de la carga instalada.
- 3 Los resultados de la evaluación económica de estos proyectos muestran que en la mayoría de las áreas estudiadas resulta factible llevar a cabo este tipo de inversión pues el periodo de recuperación considerando solamente la mitad de la vida útil del proyecto oscila entre 2 y 7 años.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

Los resultados de esta investigación muestran el elevado potencial fotovoltaico presente en las áreas universitarias que no precisan de grandes inversiones teniendo presente sus características constructivas. La evaluación económica de estos proyectos muestra que en la mayoría de las áreas estudiadas resulta factible llevar a cabo este tipo de inversión pues el periodo de recuperación considerando solamente la mitad de la vida útil del proyecto oscila entre 2 y 7 años en todos los casos, lográndose obtener un cubrimiento de la demanda de energía que alcanza hasta un 40 % en horarios de máxima demanda.

### **Recomendaciones**

Extender los estudios al resto de las áreas universitarias haciendo énfasis en las tecnologías fotovoltaicas producidas en Cuba

## **BIBLIOGRAFIA**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Abella, M. A. (2005). *Sistemas fotovoltaicos. SAPT Publicaciones Técnicas, SL.*
2. Abella, M. A., Polo, S. L., & Díaz, U. J. E. (2001). *Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica.*
3. Aguilera Folgueiras, J. A. (2012). Fuentes de energía y Protocolo de Kioto en la evolución del sistema eléctrico español.
4. Arias Rodolfo, Parla B. "Instalaciones fotovoltaicas urbanas interconectadas a red" Trabajo de Diploma Curso 2012-2013.
5. B. Kroposki, K. Emery, D. Myers, L.Mrig, A comparison of fotovoltaic module performance evaluation.
6. Bala, G., Kalidindi, S., Modak, A., & Caldeira, K. (2014, December). Modeling of Solar Radiation Management: A Comparison of Simulations Using Reduced Solar Constant and Stratospheric Sulphate Aerosols. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 1, p. 02).
7. Benito, T. P. (2005). *Guía Del Instalador de Energías Renovables.* Creaciones Copyright.
8. Berriz, P L "Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora en la radiación incidente" CubaEnergia V-2 2007.
9. Bube, R. (2012). *Fundamentals of solar cells: photovoltaic solar energy conversion.* Elsevier.
10. Buresch, M. (1983). *Photovoltaic energy systems: Design and installation.*

## BIBLIOGRAFIA

11. Calvache Alarcón, D. A., & Sopalo Moposita, J. C. (2009). Estudio del aprovechamiento de los sistemas fotovoltaicos instalados en el centro de estudio solar de la ciudad escolar Camilo Cienfuegos.
12. Castro, R., Suárez, E., & Vázquez, J. L. (2014). Control de un Sistema Fotovoltaico para Incrementar su Eficiencia Energética. *Ecodiseño y Sostenibilidad*, 4(4), 206-214.
13. De Cuba, P. C. (2011). *Proyecto de Lineamientos de la Política económica y social*. Partido Comunista de Cuba.
14. Díaz Villar, P. (2003). *Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural* (Doctoral dissertation, Telecomunicación).
15. Dincer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713-720.
16. G. Nofuentes, G. Almonacid y F. Polaina "Calensof: un software destinado a la docencia y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red", *I Certamen Iberoamericano y III Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, Madrid, 1998.
17. Gasquet, H. L. (1997). *Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas Fotovoltaicos*.
18. Green, M. A. (1982). Solar cells: operating principles, technology, and system applications.
19. H. Gabler y E. Wiemken, Wow much energy will a specific PV-system produce?, Actas del XIII Congreso europeo de Energía solar fotovoltaica. Niza, 942-946 (1995)
20. Herald, E. N. (2013). "Cuba pone en marcha su segunda central de energía solar fotovoltaica de 2013". Retrieved <http://www.elnuevoherald.com>
21. Huang, S. J., & Pai, F. S. (2001, May). Design and operation of grid-connected photovoltaic system with power-factor control and active islanding detection. In *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-* (Vol. 148, No. 3, pp. 243-250). IET.

## BIBLIOGRAFIA

22. Huld, T., Müller, R., & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86(6), 1803-1815.
23. Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. “Boletín IDAE”, Nº 7. Madrid 2005.
24. International Energy Agency (IEA) [«Solar Energy Perspectives: Executive Summary»](#)(PDF). International Energy Agency. 2011.
25. Iqbal, M. (2012). *An introduction to solar radiation*. Elsevier.
26. J.D. Aguilar et al, “Sitio web como herramienta de apoyo a la docencia de sistemas fotovoltaicos”. *VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, Valencia, 2004.
27. Joshua Pearce, "*Photovoltaics - A Path to Sustainable Futures*", *Futures* **34** (7), 663-674, 2002. [open access](#)
28. Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., & Demirkol, S. (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable energy*, 29(8), 1265-1275.
29. Kadri, R., Gaubert, J. P., & Champenois, G. (2011). An improved maximum power point tracking for photovoltaic grid-connected inverter based on voltage-oriented control. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 58(1), 66-75.
30. Krenzinger, A., & Prieb, C. W. M. (2005). Clasificación y selección de módulos fotovoltaicos para una central conectada a la red. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 04-19.
31. Li, G., Zhu, R., & Yang, Y. (2012). Polymer solar cells. *Nature Photonics*, 6(3), 153-161.
32. López, J. R. D., Cuán, J. E. C., Cruz, I. B., Heredia, R. R., Pérez, R. H., Cisnero, I., & Borges, A. (2000). Two year experience in the operation of the first community photovoltaic system in Cuba. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(1), 105-110.
33. Lorenzo, E. (2011). Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos. *CATÁLOGO DE PUBLICACIONES 2013*, 25.
34. M. Alonso-Abella, F. Chenlo, A model for energy production estimation of PV grid connected systems based on energetic losses and experimental data. On site

## BIBLIOGRAFIA

- diagnosis, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, June, Paris (2004), 2447-2450.
35. Manuel Menéndez Castellanos. Cuba: posibilidades para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, contexto, fortalezas y perspectivas de la energía solar en el archipiélago.
  36. Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1777-1790.
  37. Montero, M. (2003). *Evaluación y análisis del comportamiento eléctrico de paneles fotovoltaicos expuestos a la intemperie por más de 10 años* (Doctoral dissertation, tesis de maestría).
  38. Paatero, J. V., & Lund, P. D. (2007). Effects of large-scale photovoltaic power integration on electricity distribution networks. *Renewable Energy*, 32(2), 216-234.
  39. Pérez, C. (2001). Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil.
  40. Rodríguez Gámez, M., Vázquez Pérez, A., Castro Fernández, M., & Vilaragut Llanes, M. (2013). Sistemas fotovoltaicos y la ordenación territorial. *Ingeniería Energética*, 34(3), 247-259.
  41. Rodríguez Roqueta P, Leonardo Casas Fernández, Gretchen Villar Vázquez. "Procedimiento de cálculo para la ubicación de paneles fotovoltaicos" Tesis de Grao, 2012
  42. Romero, F. C., & Abella, M. A. (2006). Sistemas fotovoltaicos conectados a red: estimación de la energía generada (II). *Era solar: Energías renovables*, (132), 52-66.
  43. S.J. Ransome, J.H. Woohlgemuth, S. Poropat and Rhys Morgan. kWh/kWp dependency on PV technology and balance of systems performance. Proc of the 29th IEEE PVSC, New Orleans, (2002) 1420-1423.
  44. Sarasa-Maestro, C. J., Dufo-López, R., & Bernal-Agustín, J. L. (2013). Photovoltaic remuneration policies in the European Union. *Energy Policy*, 55, 317-328.
  45. Swanson, R. M. (2009). «Photovoltaics Power Up». *Science* **324** (5929): 891–892. [doi:10.1126/science.1169616](https://doi.org/10.1126/science.1169616). [PMID 19443773](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19443773/).

---

***BIBLIOGRAFIA***

46. Williams, A. F. (1986). Handbook of photovoltaic applications: building applications and system design considerations.
47. Yazdani, A., & Dash, P. P. (2009). A control methodology and characterization of dynamics for a photovoltaic (PV) system interfaced with a distribution network. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 24(3), 1538-1551.

## ANEXOS

## Anexo1.1 Tablas de los análisis económicos de inversión

## CEI

Costo promedio de la energía		0,25		\$ por kW.h					
Costo del generador fotovoltaico	62100								
Costo de inversores	12000								
Costos Instalación	4125								
Costo de Inversión Total	78225								
Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de intereses (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	
Costo de la energía (\$/kW.h)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Energía Generada (MW.h) por año	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1
Ingreso Energía Generada (\$) por año	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8
INGRESO TOTAL	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8
Depreciación	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5	7822,5
Ahorro sin impuestos (\$)	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3	33696,3
Ahorro con impuestos (\$)	33662,6	33662,6	33662,6	33662,6	33662,6	33662,6	33662,6	33662,6	33696,3
Flujo efectivo no descontado (\$)	41485,1	41485,1	41485,1	41485,1	41485,1	41485,1	41485,1	41485,1	41518,8
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	39136,8	36921,6	34831,7	32860,0	31000,0	29245,3	27589,9	26049,4	
Flujo de caja	-39088,2	-2166,6	32665,0	65525,1	96525,1	125770,5	153360,4	179409,8	
Valor Presente Neto	179409,8								

Edificio U2

<b>Costo promedio de la energía</b>		<b>0,25</b>		<b>\$ por</b>					
				<b>kW.h</b>					
<b>Costo del generador fotovoltaico</b>	<b>49183,2</b>								
<b>Costo de inversores</b>	<b>3937,5</b>								
<b>Costos Instalación</b>	<b>3267</b>								
<b>Costo de Inversión Total</b>	<b>56387,7</b>								
<b>Vida útil (años)</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Impuestos (%)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Tasa de intereses (%)</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	
<b>Costo de la energía (\$/kW.h)</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
<b>Energía Generada (MW.h) por año</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>
<b>Ingreso Energía Generada (\$) por año</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>
<b>INGRESO TOTAL</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>
<b>Depreciación</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>	<b>5638,8</b>
<b>Ahorro sin impuestos (\$)</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>	<b>35880,0</b>
<b>Ahorro con impuestos (\$)</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35844,1</b>	<b>35880,0</b>
<b>Flujo efectivo no descontado (\$)</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41482,9</b>	<b>41518,8</b>
<b>Factor descuento por intereses</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>
<b>Flujo efectivo descontado (\$)</b>	<b>39134,8</b>	<b>36919,6</b>	<b>34829,8</b>	<b>32858,3</b>	<b>30998,4</b>	<b>29243,8</b>	<b>27588,5</b>	<b>26049,4</b>	
<b>Flujo de caja</b>	<b>-17252,9</b>	<b>19666,7</b>	<b>54496,5</b>	<b>87354,8</b>	<b>118353,2</b>	<b>147597,0</b>	<b>175185,5</b>	<b>201234,9</b>	
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>201234,9</b>								

## COMEDOR

<b>Costo promedio de la energía</b>		<b>0,25</b>		<b>\$ por</b>					
				<b>kW.h</b>					
<b>Costo del generador fotovoltaico</b>	<b>279450</b>								
<b>Costo de inversores</b>	<b>66375</b>								

<b>Costos Instalación</b>	<b>18562</b>							
<b>Costo de Inversión Total</b>	<b>364387</b>							
<b>Vida útil (años)</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Impuestos (%)</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Tasa de intereses (%)</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Costo de la energía (\$/kW.h)</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
<b>Energía Generada (MW.h) por año</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>	<b>166,1</b>
<b>Ingreso Energía Generada (\$) por año</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>
<b>INGRESO TOTAL</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>	<b>41518,8</b>
<b>Depreciación</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>	<b>36438,7</b>
<b>Ahorro sin impuestos (\$)</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>	<b>5080,1</b>
<b>Impuesto (\$)</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>	<b>508,0</b>
<b>Ahorro con impuestos (\$)</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5075,0</b>	<b>5080,1</b>
<b>Flujo efectivo no descontado (\$)</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41513,7</b>	<b>41518,8</b>
<b>Factor descuento por intereses</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>
<b>Flujo efectivo descontado (\$)</b>	<b>39163,8</b>	<b>36947,0</b>	<b>34855,7</b>	<b>32882,7</b>	<b>31021,4</b>	<b>29265,5</b>	<b>27609,0</b>	<b>26049,4</b>
<b>Flujo de caja</b>	<b>-325223,2</b>	<b>-288276,1</b>	<b>-253420</b>	<b>-220537,7</b>	<b>-189516,3</b>	<b>-160250</b>	<b>-132641</b>	<b>-106592</b>
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>-106592,5</b>							

### Edificio 900

<b>Costo promedio de la energía</b>	<b>0,25</b>	<b>\$ por kW.h</b>
<b>Costo del generador fotovoltaico</b>	<b>163944</b>	
<b>Costo de inversores</b>	<b>29250</b>	
<b>Costos Instalación</b>	<b>10890</b>	
<b>Costo de Inversión Total</b>	<b>204084</b>	

Vida útil (años)	10	10	10	10	10	10	10	10
Impuestos (%)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Tasa de intereses (%)	6	6	6	6	6	6	6	6
Año	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo de la energía (\$/kW.h)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Energía Generada (MW.h) por año	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1	166,1
Ingreso Energía Generada (\$) por año	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8
<b>INGRESO TOTAL</b>	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8	41518,8
Depreciación	20408,4	20408,4	20408,4	20408,4	20408,4	20408,4	20408,4	20408,4
Ahorro sin impuestos (\$)	21110,4	21110,4	21110,4	21110,4	21110,4	21110,4	21110,4	21110,4
Ahorro con impuestos (\$)	21089,2	21089,2	21089,2	21089,2	21089,2	21089,2	21089,2	21110,4
Flujo efectivo no descontado (\$)	41497,6	41497,6	41497,6	41497,6	41497,6	41497,6	41497,6	41518,8
Factor descuento por intereses	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6
Flujo efectivo descontado (\$)	39148,7	36932,8	34842,2	32870,0	31009,5	29254,2	27598,3	26049,4
Flujo de caja	-164935,3	-128002,5	-93160,3	-60290,3	-29280,8	-26,6	27571,7	53621,0
<b>Valor Presente Neto</b>	53621,0							

Anexo1.2 Resultados de simulación en las áreas seleccionadas

CEI

**GeneracionFVEnEdificacionesCubiertasPlanas**

Calculo del Posible ArregloFV en: Cuba / La Havana / Latitud 23.01° / Longitud -83.12°

Ubicado en cubiertas planas

Vista 3D del sistema de referencia

Vista lateral de la fila de módulos (Para dos filas)

Especificaciones del Fabricante: Isofoton/165Wp/anodized alu

Por: Fabricante

Lista de Módulos: Fabricante: Isofoton

Especificaciones:

Isofoton/159Wp/anodized alu  
 Isofoton/160Wp/anodized alu  
 Isofoton/165Wp/anodized alu  
 Isofoton/130Wp/aluminio

Corriente de Cortocircuito Isc: 10.27 A

Voltaje de Circuito Abierto Voc: 21.6 V

Punto Potencia Máximo Impp: 9.49 A

Punto Potencia Máximo Vmpp: 17.4 V

Datos Complementarios

Largo de la cubierta en (m): 25    Separación entre filas (m): 0.5

Ancho de la cubierta en (m): 20    No. de módulos encima uno de otro: 1

Ángulo Azimutal del Panel (\*): 0    Posición del módulo en la fila: Ancho

Ángulo de Elevación del Panel (\*): 20

Ángulo Óptimo de elevación del panel respecto a la horizontal (Beta Grados)

Datos Complementarios

Longitud de la Sombra (m): 0.47    Altura Máxima de Montaje (m): 0.45

Número Total de MódulosFV: 250.00    Potencia pico del GeneradorFV (Wp): 41250.00

Número de Filas de Módulos: 10.00    Longitud Estructura Descanso Módulo (m): 1.31

Cantidad de Módulos en la Fila: 25.00    Separación entre filas: 0.50

**Calcular**

**Retornar**

**CalculosProyecto**

Nombre del proyecto: bgfdb

Componentes SFV

Trifásico  
13800 V  
100 MVAcc  
60 Hz

Trifásico  
13800 /220 V  
Delta /Delta  
50 kVA

Inversor

Arreglo FV

Temperatura mínima (°C): 10

Calculos y Resultados

Opciones de cálculo:

Manual    Tipo de inversor: Trifásico    Tipo conexión (Inversores): Delta    Inversores en paralelo: 2

Automático

**Calcular**    **Reporte**

Configuración de módulos

Nrp:    Nms:

Sugerencias

Observaciones y Recomendaciones

Nms=27  
Nrp=4  
No. Inversores en paralelo=2

Inversor: Tri/ Potencia: 16 kW /ArregloFV de:108 módulos (Nrp=4 x Nms=27)

Potencia=f(Voltaje)

U2

**GeneracionFVEndificacionesCubiertasPlanas**

Calculo del Posible ArregloFV en:Cuba / La Havana / Latitud 23.01° / Longitud -83.12 °

Ubicado en cubiertas planas

Vista 3D del sistema de referencia

Vista lateral de la fila de módulos (Para dos filas)

**Especificaciones del Fabricante: Isofoton/165Wp/aluminium**

Por:

Lista de Módulos: Fabricante

Especificaciones

- Isofoton/159Wp/aluminium
- Isofoton/165Wp/aluminium
- Isofoton/36Wp/aluminium
- Isofoton/40Wp/aluminium

Corriente de Cortocircuito **Isc**  **A**

Voltaje de CircuitoAbierto **Voc**  **V**

Punto Potencia Máximo **Impp**  **A**

Punto Potencia Máximo **Vmpp**  **V**

**Datos Complementarios**

Largo de la cubierta en (m)  Separación entre filas (m)

Ancho de la cubierta en (m)  No. de módulos encima uno de otro

Ángulo Azimutal del Panel (°)  Posición del módulo en la fila

Ángulo de Elevación del Panel (°)   Ángulo Optimo de elevacion del panel respecto a la horizontal (Beta Grados)

**Datos Complementarios**

Longitud de la Sombra (m)  Altura Máxima de Montaje (m)

Número Total de MódulosFV  Potencia pico del GeneradorFV (Wp)

Número de Filas de Módulos  Longitud Estructura Descanso Módulo (m)

Cantidad de Módulos en la Fila  Separación entre filas

**CalculosProyecto**

Nombre del proyecto: bgfdb

**Componentes SFV**

Trifásico  
13800 V  
100 MVAcc  
60 Hz

Trifásico  
13800 /220 V  
Delta /Delta  
75 kVA

Inversor

Arreglo FV

Temperatura mínima (°C)

**Calculos y Resultados**

Opciones de cálculo

Manual  Automático

Tipo de inversor  Tipo conexión (Inversores)  Inversores en paralelo

Configuración de módulos  
Nrp  Nms

Inversor: Mono/ Potencia: 3.5 kW /ArregloFV de:22 módulos (Nrp=1 x Nms=22)

Potencia=f(Voltaje)

**Observaciones y Recomendaciones**

Nms=22  
Nrp=1  
No.Inversores en paralelo=3

InversoresProyecto
\_ □ ×

## Inversores

### Revisar Inversores

**Por:**

Potencia de entrada ▼

**Lista de Inversores: Potencia de entrada(kW)**

3.5 ▼

**Especificaciones**

3.5kWp/masterV00IP 44  
3.5kWp/Sharp/NEMA 3R  
3.5kWp/SMAI-25 - +60°C, IP 65: outdoor installation  
3.5kWp/SMAI-25 - +45°C, IP 65 - NEMA 3R: outdoor installable

**Especificaciones del Fabricante: 3.5kWp/SMAI-25 - +45°C, IP 65 - NEMA 3R: outdoor installable**

**Parámetros de entrada**

Potencia nominal	PnomFV	<input type="text" value="3.5"/>	kWp	Vmppmin	<input type="text" value="218"/>	V
Tensión máxima	Vocmax	<input type="text" value="600"/>	V	Vmppmax	<input type="text" value="480"/>	V
Corriente máxima	IFVmax	<input type="text" value="18"/>	A	Switch CC	<input type="text" value="y"/>	
Número máximo de string		<input type="text" value="2"/>		Potencia máxima	<input type="text" value="4"/>	kWp

**Parámetros mecánicos**

Alto	<input type="text" value="352"/>	mm	Profundidad	<input type="text" value="236"/>	A
Ancho	<input type="text" value="450"/>	mm	Peso	<input type="text" value="40"/>	kg

**Parámetros de Salida**

Potencia máxima	Pcamax	<input type="text" value="3.3"/>	kW	Conexión	<input type="text" value="Mono"/>			
Potencia nominal	Pcanom	<input type="text" value="3.3"/>	kW	Switch CA	<input type="text" value="n"/>			
Tensión nominal	Vcanom	<input type="text" value="208"/>	V	Tecnología	<input type="text" value="LF transfo, 16 kHz, IGBT"/>			
Frecuencia nominal	Fnom	<input type="text" value="60"/>	Hz	Inom	<input type="text" value="16"/>	Imax	<input type="text" value="16"/>	A

**Eficiencia**

Eficiencia máxima	N	<input type="text" value="96.5"/>	%
Eficiencia Europea	N	<input type="text" value="95"/>	%

COMEDOR

**GeneracionFVEndificacionesCubiertasPlanas**

Calculo del Posible ArregloFV en:Cuba / La Havana / Latitud 23.01° / Longitud -83.12 °

Ubicado en cubiertas planas

Vista 3D del sistema de referencia

Vista lateral de la fila de módulos (Para dos filas)

Especificaciones del Fabricante: Isofoton/165Wp/anodized alu

Por: Fabricante

Lista de Módulos: Fabricante Isofoton

Especificaciones

Isofoton/165Wp/anodized alu  
Isofoton/165Wp/anodized alu  
Isofoton/130Wp/aluminium  
Isofoton/130Wp/aluminium

Corriente de Cortocircuito Isc 10.27 A

Voltaje de Circuito Abierto Voc 21.6 V

Punto Potencia Máximo Imp 9.49 A

Punto Potencia Máximo Vmpp 17.4 V

Datos Complementarios

Largo de la cubierta en (m) 25 Separación entre filas (m) 0.5

Ancho de la cubierta en (m) 80 No. de módulos encima uno de otro 1

Ángulo Azimutal del Panel (°) 0 Posición del módulo en la fila Ancho

Ángulo de Elevación del Panel (°) 20

Ángulo Optimo de elevación del panel respecto a la horizontal (Beta Grados)

Datos Complementarios

Longitud de la Sombra (m) 0.47 Altura Máxima de Montaje (m) 0.45

Número Total de MódulosFV 1125.00 Potencia pico del GeneradorFV (Wp) 35625.00

Número de Filas de Módulos 45.00 Longitud Estructura Descanso Módulo (m) 1.31

Cantidad de Módulos en la Fila 25.00 Separación entre filas 0.50

**Calcular**

**Retornar**

**CalculosProyecto**

Nombre del proyecto: hgf

Componentes SFV

Trifásico  
13800 V  
100 MVAcc  
60 Hz

Trifásico  
13800 /220 V  
Delta /Delta  
185 kVA

Inversor

Arreglo FV

Temperatura mínima (°C)  
10

Calculos y Resultados

Opciones de cálculo

Manual  Automático

Tipo de inversor Trifásico

Tipo conexión (Inversores) Delta

Inversores en paralelo 3

Configuración de módulos Nrp Nms

**Calcular** **Reporte** **Sugerencias**

Inversor: Tri/ Potencia: 59 kW /ArregloFV de:364 módulos (Nrp=14 x Nms=26)

Potencia=f(Voltaje)

Observaciones y Recomendaciones

Nms=26  
Nrp=14  
No. Inversores en paralelo=3

**InversoresProyecto**

## Inversores

**Revisar Inversores**

Por:

Lista de Inversores: Potencia de entrada(kW)

Especificaciones

**Especificaciones del Fabricante: 59kWp/Fronius USA/NEMA 3R**

**Parámetros de entrada**

Potencia nominal	PnomFV	<input type="text" value="59"/>	kWp	Vmppmin	<input type="text" value="230"/>	V
Tensión máxima	Vccmax	<input type="text" value="600"/>	V	Vmppmax	<input type="text" value="500"/>	V
Corriente máxima	IFVmax	<input type="text" value="151.4"/>	A	Switch CC	<input type="text" value="y"/>	
Número máximo de string		<input type="text" value="3"/>		Potencia máxima	<input type="text" value="65"/>	kWp

**Parámetros mecánicos**

Alto	<input type="text" value="1945"/>	mm	Profundidad	<input type="text" value="797"/>	A
Ancho	<input type="text" value="1105"/>	mm	Peso	<input type="text" value="355"/>	kg

**Parámetros de Salida**

Potencia máxima	Pcamax	<input type="text" value="55.5"/>	kW	Conexión	<input type="text" value="Tri"/>			
Potencia nominal	Pcanom	<input type="text" value="55.5"/>	kW	Switch CA	<input type="text" value="y"/>			
Tensión nominal	Vcanom	<input type="text" value="208"/>	V	Tecnología	<input type="text" value="HF Transformer"/>			
Frecuencia nominal	Fnom	<input type="text" value="60"/>	Hz	Inom	<input type="text" value="154.2"/>	Imax	<input type="text" value="154.2"/>	A

**Eficiencia**

Eficiencia máxima	N	<input type="text" value="95.9"/>	%
Eficiencia Europea	N	<input type="text" value="NaN"/>	%

900

**GeneracionFV en Edificaciones Cubiertas Planas**

Calculo del Posible ArregloFV en: Cuba / La Havana / Latitud 23.01° / Longitud -83.12°  
 Ubicado en cubiertas planas

Vista 3D del sistema de referencia

Vista lateral de la fila de módulos (Para dos filas)

**Especificaciones del Fabricante: Isofoton/165Wp/anodized alu**

Por: Fabricante

Lista de Módulos: Fabricante

Especificaciones

- Isofoton/159Wp/anodized alu
- Isofoton/160Wp/anodized alu
- Isofoton/165Wp/anodized alu
- Isofoton/130Wp/Aluminium

Corriente de Cortocircuito **Isc** [ ] A

Voltaje de Circuito Abierto **Voc** [ ] V

Punto Potencia Máximo **Imp** [ ] A

Punto Potencia Máximo **Vmpp** [ ] V

**Datos Complementarios**

Largo de la cubierta en (m) [ 160 ] Separación entre filas (m) [ 0.5 ]

Ancho de la cubierta en (m) [ 8 ] No. de módulos encima uno de otro [ 1 ]

Ángulo Azimutal del Panel (°) [ 0 ] Posición del módulo en la fila [ Ancho ]

Ángulo de Elevación del Panel (°) [ 20 ]

Ángulo Optimo de elevación del panel respecto a la horizontal (Beta Grados)

**Datos Complementarios**

Longitud de la Sombra (m) [ 0.47 ] Altura Máxima de Montaje (m) [ 0.45 ]

Número Total de MódulosFV [ 660.00 ] Potencia pico del GeneradorFV (Wp) [ 38900.00 ]

Número de Filas de Módulos [ 4.00 ] Longitud Estructura Descanso Módulo (m) [ 1.31 ]

Cantidad de Módulos en la Fila [ 165.00 ] Separación entre filas [ 0.50 ]

**Calcular**

**Retornar**

**CalculosProyecto**

Nombre del proyecto: hgf

**Componentes SFV**

- Trifásico 13800 V 100 MVAcc 60 Hz
- Trifásico 13800 V 220 V Delta /Delta 150 kVA
- Inversor
- Arreglo FV
- Temperatura mínima (°C) [ 10 ]

**Calculos y Resultados**

Opciones de cálculo

Manual  Automático

Tipo de inversor [ Trifásico ] Tipo conexión (Inversores) [ Delta ] Inversores en paralelo [ 3 ]

Configuración de módulos: Hrp [ ] Nms [ ]

**Calcular** **Reporte** **Sugerencias**

---

Inversor: Tri/ Potencia: 26 kW /ArregloFV de:162 módulos (Nrp=6 x Nms=27)

Potencia=f(Voltaje)

**Observaciones y Recomendaciones**

Nms=27  
Nrp=6  
No. Inversores en paralelo=3

**InversoresProyecto**

## Inversores

**Revisar Inversores**

Por:

Lista de Inversores: Potencia de entrada(kW)

Especificaciones

**Especificaciones del Fabricante: 26kWp/Ingeteam/Nema 3R**

**Parámetros de entrada**

Potencia nominal	PnomFV	<input type="text" value="26"/>	kWp	Vmppmin	<input type="text" value="300"/>	V
Tensión máxima	Vccmax	<input type="text" value="600"/>	V	Vmppmax	<input type="text" value="550"/>	V
Corriente máxima	IFVmax	<input type="text" value="71"/>	A	Switch CC	<input type="text" value="y"/>	
Número máximo de string		<input type="text" value="2"/>		Potencia máxima	<input type="text" value="33"/>	kWp

**Parámetros mecánicos**

Alto	<input type="text" value="1270"/>	mm	Profundidad	<input type="text" value="550"/>	A
Ancho	<input type="text" value="740"/>	mm	Peso	<input type="text" value="323.5"/>	kg

**Parámetros de Salida**

Potencia máxima	Pcamax	<input type="text" value="25"/>	kW	Conexión	<input type="text" value="Tri"/>			
Potencia nominal	Pcanom	<input type="text" value="25"/>	kW	Switch CA	<input type="text" value="y"/>			
Tensión nominal	Vcanom	<input type="text" value="208"/>	V	Tecnología	<input type="text" value="LF Transformer, IGBT"/>			
Frecuencia nominal	Fnom	<input type="text" value="60"/>	Hz	Inom	<input type="text" value="78"/>	Imax	<input type="text" value="78"/>	A

**Eficiencia**

Eficiencia máxima	N	<input type="text" value="NaN"/>	%
Eficiencia Europea	N	<input type="text" value="NaN"/>	%

