

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS' CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ'



Pensamiento

“En fin de aprender las lecciones más importantes de la vida uno debe sobreponerse un miedo”.

Ralph Waldo Emerson

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi difunto padre Faustin C. Augustin quien dedicó su vida al bienestar de su familia . Hace un año que nos despediste. Nunca te olvidaremos.

También quiero dedicar una parte de este trabajo a mi mama Louesta y mis hermanas Alpha, Marcia, Jenneivi y Crisha por brindarme siempre sus útiles consejos, amor, apoyo y comprensión. Por confiar en mí y no defraudarme jamás siempre.



F.C. Augustin
1944-2009

REST IN PEACE DADDY

Agradecimientos

Este trabajo no puede estar completo sin antes brindar mi más grande agradecimiento a cada una de las personas que me brindaron su apoyo en cada etapa de esta investigación.

A mi familia en general que siempre me han apoyado.

A mis tutores Dr. Leonel Martínez y Vladimir Souza por transmitirme dedicadamente sus conocimientos.

A mis amigos Sharon, Cha, Anil, Crepin, Josiah, Angelique y Kessa.

Resumen

El trabajo se realiza en la Universidad de Cienfuegos efectuando la confección de los cálculos del diseño de una instalación solar térmica y fotovoltaica para electrificar un aula especializada en el parque de fuentes renovables de energía en el cual su objetivo principal es promover la cultura en el uso de las energías limpias. Primeramente en el capítulo uno se realiza explicaciones detalladas de la energía solar y los equipos principales de la instalación. En el capítulo dos se elabora el diseño de la instalación donde se calcula el consumo energético de la instalación fotovoltaica y las capacidades de los equipos necesarios para su explotación. Luego se realiza la metodología de cálculo para la selección del colector solar con los equipos necesarios para la parte del calentamiento de agua. Y en el capítulo tres un análisis económico-ambiental de la instalación fue realizado.

Abstract

This project was executed at the University of Cienfuegos with the main objective of designing a thermal and photovoltaic solar installation which will be used to electrify a conference room and heating of water in the Renewable Energy Park located at the university. The objective of the installation is to promote the use of clean energy at the university and surrounding areas. In the first chapter a detailed explanation of solar energy and the main equipment used to complete the installation was realized. In the second chapter, the energetic consumption of the photovoltaic installation and the capacities of the necessary equipment were calculated followed by a methodology of calculations using characteristics of the selected solar collector to calculate parameters for the necessary equipment used in the thermal installation. Lastly an economic-ambient analysis of the installation was carried out.

Índice

Introducción.....	2
Capítulo I Utilización de la energía solar como energía renovable.....	4
1.1 La radiación solar.....	5
1.1.1 Intensidad.....	7
1.1.2 La radiación solar en Cuba.....	8
1.2 Energía solar térmica.....	8
1.3 Colectores solares.....	9
1.3.1 Tipos y clasificaciones.....	10
1.3.2 Beneficios.....	12
1.3.3 Instalación y uso.....	12
1.4 Componentes de un sistema solar térmica.....	13
1.5 Energía fotovoltaica.....	14
1.5.1 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica.....	15
1.6 Paneles fotovoltaicos.....	16
1.6.1 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	17
1.6.2 Características técnicas y operacionales.....	19
1.6.3 Teoría y construcción.....	20
1.6.4 Corte transversal de un panel fotovoltaico.....	21
1.6.5 Rendimiento.....	22
1.6.6 El panel y la sombra.....	23

1.7 Plano general de la instalación fotovoltaica.....	24
1.7.1 Componentes básicos de un sistema fotovoltaico.....	25
Conclusiones parciales.....	28
Capitulo II Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.....	29
2.1 Instalación fotovoltaica.	29
2.2 Dimensionado de la instalación fotovoltaica.....	30
2.3 Selección del calentador solar.....	39
2.3.1 Metodología de cálculo.....	39
2.3.2. Resultados para las condiciones impuestas.....	39
2.3.3 Resultados para las condiciones impuestas	41
2.3.4 Sistema de termosifón.....	43
Conclusiones parciales.....	44
Capitulo III Análisis económico-ambiental.....	45
3.1 Costo total de la instalación.....	45
3.2 Costo de operación.....	46
3.3 Análisis ambiental.....	46
Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Bibliografía	
Anexos	

Introducción

Introducción

El consumo de electricidad y la vida moderna son prácticamente sinónimos en el mundo industrializado. Nuestras comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de alimentos y la mayor parte de los agrados y servicios de los hogares, oficinas y fábricas de nuestros días dependen de un suministro fiable de energía eléctrica. El consumo mundial de energía se ha multiplicado por 25 desde el siglo pasado. El promedio del consumo de electricidad per cápita es alrededor de diez veces mayor en los países industrializados que en el mundo en desarrollo. La generación de energía eléctrica en el mundo entero sigue dependiendo en gran parte de la quema de combustibles fósiles, que son sumamente contaminantes. Una de las amenazas más graves para el medio ambiente mundial procede de esta contaminación: las emisiones en rápido aumento de los denominados gases contaminantes, en especial el dióxido de carbono (CO_2) considerado por muchos científicos como el principal responsable del recalentamiento de la tierra. Ahora el mundo toma en conciencia y crea medidas para amenguar las contaminaciones al medio ambiente y a su vez invertir la razón del deterioro de la naturaleza. Este acercamiento se apoyó fuertemente en el uso de la energía renovable con la percepción de ser una respuesta inmediata para solucionar los problemas de la energía y su contaminación. Entre los tipos de energía renovable la solar es muy prominente. Se aprovecha a través del uso de celdas fotovoltaicas y colectores para producir energía eléctrica y calefacción de agua respectivamente, en procesos industriales o en sistemas integrados de los domicilios. Uno de los factores más ventajosos en el uso de la energía renovable es su capacidad de tener un impacto muy ligero hacia el medio ambiente. Los calentadores solares, por ejemplo no emiten los gases tóxicos y nocivos tales como CO_2 y NO_x que perjudican el medio ambiente y la vida humana.

El uso de las tecnologías renovables depende en gran medida de los recursos financieros con que se cuente pero una importancia relevante también la tiene el conocimiento que sobre las mismas se tenga. En este sentido la educación energético-ambiental de las diferentes generaciones juegan un rol de conocimiento de y promoción de estas fuentes. En las universidades cubanas y especialmente la Universidad Carlos

Introducción

Rafael Rodríguez se desarrollan cursos, maestrías y doctorados donde se dictan contenidos sobre las diferentes fuentes renovables de energía y se hace muy difícil lograr un conocimiento profundo sobre estas tecnologías. Para ello desde hace 2 cursos se ha iniciado la construcción de un parque de Fuentes Renovables de Energía(FRE), instalándose algunas máquinas que hacen uso de la energía hidráulica pero aún no hay equipamiento que muestre las bondades del sol como FRE , por lo que se puede plantear que existe un **Problema** asociado con :

- La no existencia en la universidad de instalaciones relacionadas con el uso de la energía solar y la incidencia negativa que tiene este hecho sobre el conocimiento y uso del sol como tecnología energética ecológicamente limpia.

Hipótesis:

- El diseño de un sistema solar térmico y fotovoltaico puede contribuir a la creación del conocimiento y promover la cultura en el uso de las energías limpias influyendo positivamente en el impacto global total.

Objetivo general

- Diseñar un sistema solar térmico y fotovoltaico para el parque de FRE de la Universidad de Cienfuegos.

Objetivos específicos:

- Realizar la caracterización de los sistemas solares térmico y fotovoltaico.
- Realizar los cálculos de un sistema solar térmico y fotovoltaico para electrificar una sala de conferencia y producir agua caliente respectivamente.
- Realizar el análisis técnico- económico -ambiental del diseño de las soluciones propuestas.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

La energía solar es una energía renovable con un alto potencial disponible. La misma puede ser empleada para la generación de electricidad y para la producción de energía térmica.

La generación de electricidad a partir de la energía solar puede ser por varios procedimientos. En el sistema termal la energía solar se usa para convertir agua en vapor en dispositivos especiales. En algunos casos se usan espejos cóncavos que concentran el calor sobre tubos que contienen aceite. El aceite alcanza temperaturas de varios cientos de grados y con él se calienta agua hasta ebullición. Con el vapor se genera electricidad en turbinas clásicas. Con algunos dispositivos de estos se consiguen rendimientos de conversión en energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los colectores. La luz del sol se puede convertir directamente en electricidad usando el efecto fotoeléctrico. Las células fotovoltaicas no tienen rendimientos muy altos. La eficiencia media en la actualidad es de un 10 a un 15%, aunque algunos prototipos experimentales logran eficiencias de hasta el 30%. Por esto se necesitan grandes extensiones si se quiere producir energía en grandes cantidades. Uno de los problemas de la electricidad generada con el sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y cara para almacenar. Para intentar solucionar este problema se están investigando diferentes tecnologías. Una de ellas usa la electricidad para disociar el agua, por electrólisis, en oxígeno e hidrógeno. Después el hidrógeno se usa como combustible para regenerar agua, produciendo energía por la noche. La producción de electricidad por estos sistemas es más cara, en condiciones normales, que por los sistemas convencionales. Sólo en algunas situaciones especiales compensa su uso, aunque las tecnologías van avanzando rápidamente y en el futuro pueden jugar un importante papel en la producción de electricidad. En muchos países en desarrollo se están usando con gran aprovechamiento en las casas o granjas a los que no llega el suministro ordinario de electricidad porque están muy lejos de las centrales eléctricas.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

1.1 La radiación solar

La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el sol. La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de 1.5.10¹⁷ kWh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o dispersa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo. Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas (de hecho, en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total. De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal (una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada);
- De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: la **radiación directa** y la **radiación difusa**. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables.

Se puede diferenciar entre receptores activos y pasivos en que los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol –llamados seguidores- y captar mejor la radiación directa.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte -que en la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total- y la dependencia energética.

Las diferentes tecnologías fotovoltaicas se adaptan para sacar el máximo rendimiento posible de la energía que recibimos del sol. De esta forma por ejemplo los sistemas de concentración solar fotovoltaica (CPV por sus siglas en inglés), utiliza la radiación directa con receptores activos para maximizar la producción de energía y conseguir así un coste menor por kW/h producido. Esta tecnología resulta muy eficiente para lugares de alta radiación solar, pero actualmente no puede competir en precio en localizaciones de baja radiación solar como Centro Europa, donde tecnologías como la Capa Fina (Thin Film) están consiguiendo reducir también el precio de la tecnología fotovoltaica tradicional.

Es conocido que la disponibilidad potencial de la energía solar es muy superior a las necesidades energéticas de la humanidad y que, además, es prácticamente inagotable y no contaminante.

Por ejemplo, en sólo un metro cuadrado de una azotea soleada de una casa cubana, se recibe como promedio, la cantidad de 150 kWh al mes en energía solar, lo que equivale a la energía eléctrica que consume un hogar normal. Como se sabe, cada transformación energética, ya sea natural o artificial, implica pérdidas de energía, por lo que no es correcto hacer transformaciones que no sean necesarias. Por ejemplo, no es correcto, en la mayoría de los casos, producir electricidad para calentar agua, cuando se puede hacer directamente de la radiación solar con el uso de un calentador, tampoco secar productos agrícolas e industriales con electricidad si se puede utilizar un secador solar, bombear agua con electricidad donde se pueda instalar un molino de

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

viento o un ariete hidráulico. Por esta razón es conveniente en muchos casos hablar de energización y no de electrificación. No obstante, sin dudas, la electricidad desempeña un papel muy importante en el desarrollo de la humanidad. Por eso es útil conocer todos los medios posibles de generación de electricidad a partir de la energía solar como fuente primaria, o sea, la “electricidad solar”. Existen varias formas de convertir la energía que proviene del Sol en electricidad, y casi todas se caracterizan por aprovechar ciclos naturales, aunque hay algunas que no.

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

La energía solar se fundamenta en el aprovechamiento de la radiación solar para la obtención de energía que podemos aprovechar directamente en forma de calor o bien podemos convertir en electricidad.

1.1.1 Intensidad

La existencia de vida en la tierra depende de modo fundamental de la radiación solar, y en particular de la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que incide sobre los organismos vivos. El espectro de emisión del sol corresponde a la de un cuerpo negro de 6000 K, con un máximo alrededor de los 500 nm (verde), con una amplia distribución de longitudes de onda. La radiación solar se puede describir por su longitud de onda o equivalentemente por su energía, siendo la radiación de longitud de onda corta la más energética. El sol, emite radiación ultravioleta (~100 - 400 nm), visible (~400 - 700 nm), infrarrojo cercano (~700 - 1000 nm) e infrarrojo lejano (1000 - 10000

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

nm). La energía de la radiación es transportada por corpúsculos llamados fotones, teniendo cada corpúsculo una energía determinada. La intensidad de la radiación está dada por el número de fotones incidentes en una determinada área. La intensidad de la radiación solar no es constante, sino que depende de la longitud de onda, siendo más intensa en el rango visible (400 – 700 nm).

1.1.2 Radiación solar en Cuba

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 kWh/ 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.

La incidencia de la radiación solar sobre el territorio cubano y sus mares adyacentes, propicia la aparición de corrientes de vientos conocidas como brisas de mar y tierra. Estas, unidas a los vientos alisios y al Anticiclón del Atlántico, que sesitúa casi permanentemente cercano al archipiélago cubano y es el principal aportador de viento, proporcionan importantes áreas para el desarrollo eólico. Los estudios realizados demuestran que existen condiciones muy favorables en la costa norte oriental y central, donde se han estimado altos factores de capacidad de las maquinas que podrían eventualmente instalarse en tierra o mar. Existe una red de estaciones de medición a 50 m de altura y una red de referencia y pronóstico para este fin, que así lo confirma.

1.2 Energía solar térmica.

Se entiende por energía solar térmica, a la transformación de la energía radiante solar en calor o energía térmica. Esta transformación se realiza por medio de unos dispositivos específicamente diseñados denominados colectores solares. La energía solar térmica se encarga de calentar el agua de forma directa alcanzando temperaturas que oscilan entre los 40° y 50° gracias a la utilización de paneles solares (siempre temperaturas inferiores a los 80°C). El agua caliente queda almacenada para su

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

posterior consumo: calentamiento de agua sanitaria, usos industriales, calefacción de espacio, calentamiento de piscinas, secaderos, refrigeración, etc.

Por tanto, la energía solar térmica utiliza directamente la energía que recibimos del Sol para calentar un fluido. La diferencia con la energía solar fotovoltaica es que ésta aprovecha las propiedades físicas de ciertos materiales semiconductores para generar electricidad a partir de la radiación solar.

En su almacenamiento tenemos que distinguir dos tipos de sistemas:

Sistemas de almacenamiento en medio único. El medio utilizado para almacenar la energía térmica es el mismo fluido que circula por los colectores solares. La eficacia de este tipo de sistemas es superior al 90%.

Sistemas de almacenamiento en medio dual. El almacenamiento de calor tiene lugar en un medio diferente al fluido de trabajo que se calienta en los colectores solares. La eficacia que demuestran sistemas es aproximadamente un 70%.

La intensidad de energía utilizable una vez que la radiación solar atraviesa la atmósfera es muy baja, y su utilización está condicionada por la temperatura a la cual se va a aprovechar. La energía solar térmica, según su utilización, se puede clasificar en baja, media o alta temperatura.

1.3 Colectores solares.

Colectores de baja temperatura

Estos colectores realizan la captación de forma directa, sin concentración de los rayos solares. Además la temperatura del fluido a calentar está siempre por debajo del punto de ebullición del agua. Según los materiales y técnicas de captación empleadas se pueden distinguir tres tipos de colectores de baja temperatura: colectores de caucho, de placa plana, y de tubos de vacío.

Colectores de media temperatura

Estos colectores tienen un bajo índice de concentración de los rayos solares, consiguiendo, de este modo, temperaturas más elevadas al aumentar la radiación por unidad de superficie. La temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 100°C- 400°C. Los más representativos son los colectores cilíndrico – parabólicos.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Colectores de alta temperatura

Estos colectores tienen un alto índice de concentración de la radiación solar, consiguiendo temperaturas de trabajo por encima de 400°C. En la actualidad se utilizan solo en instalaciones de ensayo y demostración aplicadas a la generación eléctrica, el ensayo de materiales industriales, la desalinización de agua marina por evaporación, la desalinización de agua marina por evaporación etc. Los más representativos son los heliostatos y los discos parabólicos.

1.3.1 Tipos y Clasificaciones

Planos, de tubo y aleta.



Figura 1.1. Colector plano

Es el más conocido en Cuba, también el más presente en el Mediterráneo y América, además de coexistir con el de tubos al vacío en las restantes áreas. El precio del módulo colector más tanque está hoy en el orden de (300 a 600USD/kW) siendo los productores Chinos los de mejores precios.

Compacto.



Figura 1.2 Colector compacto

- Presente en la Europa Mediterránea en menor escala.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

- Menos sensible a problemas de calidad del agua.
- A diferencia de los otros tipos, no requiere de termo tanque, ya que el colector hace también la función de tanque.
- El precio de este producto es hoy similar al de los sistemas planos con la diferencia de que existen muy pocas fábricas que trabajen esta tecnología.

Tubos al vacío.



Figura 1.3 Colector de tubos al vacío

- Tiene gran presencia junto al plano en el norte de Europa y en China.
- Ya hay experiencia de su explotación en Cuba actualmente se realizan montajes de equipos por RENSOL.
- Los colectores de tubos al vacío están hechos en líneas paralelas. Cada uno consiste de un tubo exterior y uno interior o tubo de absorción; este está cubierto con una capa especial que absorbe la energía solar e inhibe la pérdida de calor Radiante. El aire es evacuado (extraído) del espacio entre los dos tubos para formar el vacío, el cual elimina la pérdida de calor convectivo y conductivo y calienta el agua que fluye dentro de él en el caso en que circula agua por ellos y calienta el tubo de calor en el caso de los tubos al vacío Heat Pipe.
- El componente clave es el colector de tubo de vidrio al vacío, con la más alta y avanzada tecnología disponible para el aprovechamiento y almacenamiento de energía calorífica.
- Un tubo colector al vacío puede ser comparado a un termo de vidrio aislado al vacío y el sistema de colector plano no puede igualar esta característica térmica. Los tubos colectores de vidrio son superiores a los colectores planos en varias maneras.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

- Debido a la forma cilíndrica del tubo al vacío, el sol siempre está impactando a los tubos en un ángulo que es perpendicular a su superficie esto reduce la reflexión y maximiza la cantidad total de radiación solar a la que los colectores están expuestos cada día.
- Los colectores planos tienen la desventaja de que el Sol está solo perpendicular a los colectores en el medio día y es por esto que una proporción de luz solar que impacta a la superficie del colector va a sufrir reflexión.
- Los de tubos de vidrio al vacío son los equipos más baratos del mercado y sus precios oscilan entre (170 y los 300 USD/kW) su limitación es que trabajan solo a presión atmosférica y en las variantes de tubos de calor empleadas en sistemas presurizados los precios aumentan sensiblemente.

1.3.2 Instalación y uso

La instalación de este tipo de sistemas de calentamiento de agua es considerablemente sencilla, solo se requiere calcular la inclinación necesaria de los colectores solares para poder aprovechar al máximo la radiación solar, inclinación que varía según la latitud del lugar donde se piensa realizar dicha instalación.

Otro factor a considerar es la dimensión de la instalación la cual depende de la capacidad que se determine necesaria. El uso es muy práctico ya que no se requiere casi de ningún tipo de mantenimiento más que de una limpieza periódica de los colectores para mantener su eficiencia.

Actualmente existen varios países donde se utilizan estos tipos de sistemas. Alemania es uno de los países donde más auge han tenido este tipo de tecnologías y si consideramos que las condiciones solares en nuestro país son considerablemente mejores encontramos un gran potencial para la adopción de estos sistemas.

1.3.3 Beneficios

El calentamiento de agua con energía solar es una tecnología muy probada y usada en el mundo. Los beneficios son principalmente económicos y ambientales. La viabilidad económica de esta tecnología es considerable ya que una instalación de este tipo tiene un tiempo de vida aproximado de 20 años lo cual garantiza la amortización total de la

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

inversión. Ambientalmente su efecto es muy positivo ya que ayuda a disminuir el uso de combustibles fósiles para el calentamiento del agua, reduciendo el efecto que tiene el uso de estos combustibles dentro de los hogares.

1.4 Componentes de un sistema solar térmica

Un sistema de calefacción de agua está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- Uno o más colectores para capturar la energía del sol.
- Un tanque de almacenamiento.
- Un sistema de circulación para mover el fluido entre los colectores y el tanque de almacenamiento.
- Un sistema de control para regular la operación del sistema.

Tanques de almacenamiento

Existen varios tipos de tanques de almacenamiento para agua caliente. Los utilizados más frecuentemente con colectores de placa plana en sistemas nuevos son los sistemas integrados, donde los tanques de almacenamiento son montados junto con los colectores, generalmente sobre el techo. Los tanques son ubicados sobre los colectores para aprovechar el efecto de termosifón. La densidad del agua varía según la temperatura. En general, el agua es más densa a mayores temperaturas de lo que es a menor temperatura. Los sistemas de termosifón hacen uso de este principio para hacer circular agua a través del colector, el agua fría, proveniente de las tuberías, atraviesa el colector mientras el agua caliente es extraída del tanque de almacenamiento. Para que el termosifón sea exitoso es esencial que la tubería tenga el diámetro adecuado. Las principales ventajas del uso de sistemas con tanques de almacenamiento integrados son que el sistema es más rentable para quienes lo instalen y el agua caliente se suministra a la presión de las tuberías.

Tuberías

Poseen la función de transportar el agua fría y el agua caliente a través de los elementos que forman el sistema.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

1.5 Energía solar fotovoltaica

Célula Solar.

Algunas células solares funcionan en base a una plaqueta delgada de silicio mono cristalino, que ha sido tratada para poder convertir la luz del sol en corriente eléctrica. El silicio se obtiene de la arena ordinaria. Dada la eficiencia de la célula solar y la duración de su vida útil, se calcula que una tonelada de arena puede generar la misma cantidad de electricidad que se produce quemando más de medio millón de toneladas de carbón.

La producción de electricidad a partir de células fotovoltaicas en 1997 es aún seis veces más cara que la obtenida en centrales de carbón, pero hace tan sólo una década era dieciocho veces más, lo que permite que el empleo de células fotovoltaicas para producir electricidad en lugares alejados de las redes de distribución ya compita con las alternativas existentes, como generadores eléctricos a partir del petróleo. En los próximos 5 años se espera reducir el coste del kWh a 12 centavos de dólar, a 10 para antes del año 2010 y a 4 centavos para el 2030. A lo largo de toda la década el mercado fotovoltaico creció a ritmos anuales superiores al 40%; entre 1971 y 1996 se han instalado en el mundo 700 megavatios de células fotovoltaicas.

La superficie ocupada no plantea problemas. En el área mediterránea se podrían producir 90 millones de kWh anuales por kilómetro cuadrado de superficie cubierta de células fotovoltaicas, y antes del año 2005, con los rendimientos previstos, se alcanzarán los 150 millones de kWh por km². Un país como España podría resolver todas sus necesidades de electricidad con apenas 900 km², el 0,2% de su territorio. Todas las necesidades energéticas mundiales se podrían cubrir ocupando sólo unos 300.000 km² con células fotovoltaicas. Por lo que se refiere al almacenamiento, la producción de hidrógeno por electrólisis y su posterior empleo para producir electricidad u otros usos, puede ser una óptima solución.

Para el año 2005 se podrían llegar a alcanzar los 100 MWp, cifra importante si se comparan con los 6,7 megavatios de 1996, pero no descabellada, dadas las claras perspectivas que se abren con las nuevas tecnologías. Tal cifra irá destinada a la electrificación rural, a señalización y comunicación, y a los usos agrícolas y ganaderos, aunque deberían igualmente instalarse algunas centrales destinadas al suministro a la

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

red. En España, con una radiación solar diaria superior en la casi totalidad del territorio a 4 kWh por metro cuadrado, el potencial es inmenso. Sólo en los tejados de las viviendas españolas se podrían producir anualmente 180 TWh, cifra superior al consumo de 137 TWh en 1993.

La energía solar fotovoltaica, es decir, los paneles solares para producción de electricidad tienen ahora un peso estadísticamente nulo entre las renovables y en el IDAE creen que deberán pasar bastantes años para que despegue. Dicen que es muy cara porque la tecnología no está suficientemente desarrollada para hacerla rentable. Greenpeace no está de acuerdo, José Luis García Ortega, experto en renovables de esta organización ecologista, asegura que "si el billón de pesetas que el Gobierno va a donar a las eléctricas se destinara a la solar fotovoltaica tendría un presente y futuro asegurado". Este grupo ecologista mantiene que el futuro de la solar fotovoltaica pasa porque el Ejecutivo, además de fijar el precio para su trasvase a la red (60 pesetas por kilovatio transferido), las exigencias de la reglamentación no sean disuasorias sino que la potencien. Las empresas que fabrican estos paneles confían en que esta nueva norma impulse considerablemente su industria.

1.5.1 Impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye, frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.).

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

Clima: la generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología: Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo: al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas: No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna: la repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje: los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

Ruidos: el sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

Medio social: El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los tejados de las viviendas.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica representa la mejor solución para aquellos lugares a los que se quiere dotar de energía eléctrica preservando las condiciones del entorno; como es el caso por ejemplo de los Espacios Naturales Protegidos. .

1.6 El panel fotovoltaico

Panel solar.

Se denomina energía solar fotovoltaica a la obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están extendidos en ángulo recto, con perforaciones a lo largo del perímetro, las que facilitan su montaje a un sostén formado por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica. Alemania es en la actualidad el segundo productor mundial de energía solar fotovoltaica tras Japón, con cerca de 5 millones de metros cuadrados de colectores de sol, aunque sólo representa el 0,03% de su producción energética total. La venta de paneles fotovoltaicos ha crecido en el mundo al ritmo anual del 20% en la década de los noventa. En la Unión Europea el crecimiento medio anual es del 30%, y Alemania tiene el 80% de la potencia instalada de la unión.

1.6.1 Tipos de paneles fotovoltaicos

Los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a solo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Es a máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de las principales parámetros de diseño que el proyectista debe definir.

Tipos de paneles en función de los materiales

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se emplean. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

Silicio puro monocristalino. Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza.



Figura 1.4 Panel solar monocristalino

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Silicio puro policristalino. Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo.



Figura 1.5. Panel solar policristalino

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada.

Así pues, los tipos de paneles de lámina delgada son:

- Silicio amorfo. (TFS) Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

- Teluro de cadmio, Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.
- Arseniuro de Galio- Uno de los materiales más eficientes. presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%
- Diseleniuro de cobre en indio- con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.
- Existen también los llamados paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%.

1.6.2 Características técnicas y operacionales

Voltaje de salida

La industria de baterías precedió a la de los sistemas FVs, de manera que la adopción de 12V para el voltaje de salida del panel era una opción práctica. Por otra parte, este valor no demanda la conexión de un número excesivo de células en serie. La industria de aparatos electrodomésticos usados en vehículos recreacionales (**RVs**, en inglés) adoptó asimismo el valor de 12V, de manera que el usuario de un sistema FV con este voltaje podrá incorporar electrodomésticos de CC diseñados para vehículos recreacionales en su sistema FV domiciliario.

Número de células

En principio, se necesitaría conectar un **mínimo** de 24 células **en serie** para alcanzar un voltaje nominal de salida de **12V**. Los paneles comerciales contienen un mayor número de ellas (36 o más). La explicación la tendrá el lector cuando se analice la curva I-V del panel.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Potencia de salida

La potencia máxima de salida (**potencia pico**) de un panel FV es, sin duda alguna, la característica eléctrica más importante del mismo. La implementación de un sistema FV doméstico requiere el uso de paneles con potencias de salida entre 60 y 100 watts. El uso de paneles con baja potencia de salida (menor costo) no se justifica en muchos casos, ya que deberá usarse un mayor número de ellos.

1.6.3 Teoría y Construcción del Panel fotovoltaico

Silicio cristalino y Arseniuro de galio son la elección típica de materiales para celdas solares. Los cristales de Arseniuro de galio son creados especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de Silicio están disponibles en lingotes estándar más baratos producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El Silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión pero también menor costo.

Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de Silicio de 6cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un rango de usualmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El Arseniuro de Galio es más eficaz que el Silicio, pero también más costoso.

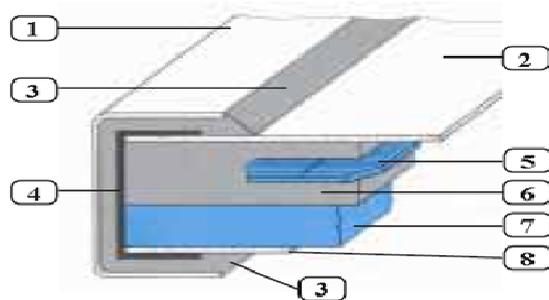
Los lingotes cristalinos son cortados en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes (impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras) dentro de las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles solares son construidos con estas celdas cortadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños en la superficie frontal causados por radiación o por el mismo manejo de éstos se los enlaza en una cubierta de vidrio y se cementan sobre un sustrato (el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda). Se realizan conexiones eléctricas en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.

Un panel solar es una colección de celdas solares. Aunque cada celda solar provee una cantidad relativamente pequeña de energía, muchas de estas repartidas en un área grande pueden proveer suficiente energía como para ser útiles. Para obtener la mayor cantidad de energía las celdas solares deben apuntar directamente al sol.

1.6.4 Corte transversal de un panel fotovoltaico



Nota: Dimensiones no están en escala

Figura 1.6 Montaje típico de un panel FV

El marco del panel **(1)** está hecho de aluminio anodizado, para evitar su oxidación. Su rigidez provee la presión necesaria para mantener juntas las partes que integran el "sandwich". Los marcos tienen extensiones en ángulo recto, con perforaciones a lo largo del perímetro, las que facilitan su montaje a un sostén. La superficie colectora **(2)** tiene un vidrio templado o un plástico de alto impacto, con un alto valor de transmisividad para la luz incidente. Ambos materiales resisten severas granizadas y vientos portadores de arena o tierra. El uso del vidrio ofrece una acción autolimpiante, ya que la suciedad tiende a adherirse menos a su superficie. Un material esponjoso **(3)** cumple con una doble función: proteger los bordes del vidrio y proveer un cierre hermético para el panel a lo largo del perímetro de la estructura. Todos los materiales expuestos a la luz solar son resistentes a la acción deteriorante de los rayos ultravioletas.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

La junta selladora **(4)**, colocada a lo largo del perímetro, contribuye a evitarla presencia de agua (humedad) dentro del panel, evitando que las conexiones internas se oxiden (mayor resistencia óhmica) o causen la apertura del contacto al semiconductor. Las células FVs**(5)** son cubiertas con un material encapsulante**(6)** de alta transparencia. Es común el uso del acetato de etil-vinilo (**EVA**, en inglés), el que se aplica en capas muy finas que, al hornearse, se polimerizan solidificando la estructura.

Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan. Los elementos son los siguientes:

- Encapsulante, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- Cubierta exterior de vidrio templado, que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- Cubierta posterior, constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- Marco de metal, normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios (generalmente taladros) para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- Caja de terminales: incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- Diodo de protección: impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

1.6.5 Rendimiento del panel solar

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de:

- Fundamentalmente de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares.
- Variación de intensidad y tensión con la radiación y la temperatura según potencia nominal.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

- La intensidad de corriente que genera el panel aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje aproximadamente constante. En este sentido tiene mucha importancia la colocación de los paneles (su orientación e inclinación respecto a la horizontal), ya que los valores de la radiación varían a lo largo del día en función de la inclinación del sol respecto al horizonte.

El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. El efecto global es que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un panel unos 30 grados por encima de la temperatura del aire circundante, lo que reduce la tensión en 2 mV(célula*grado) * 36 células * 30 grados = 2,16 Voltios y por tanto la potencia en un 15%. Por ello es importante colocar los paneles en un lugar en el que estén bien aireados.

1.6.6 Los paneles y la sombra¹

Uno de los errores más observados en las instalaciones solares lo constituyen las sombras evitables sobre los paneles.

Es muy importante que se conozca que una sombra sobre un colector solar térmico disminuye su capacidad de producción proporcionalmente al área de sombra, pero 10% de área sombreada sobre un panel fotovoltaico puede disminuir hasta 90% de la producción de electricidad. Además, una pequeña sombra puede provocar puntos calientes en el panel, que pueden disminuir su tiempo de duración. Por eso se debe poner especial atención al proyectar las instalaciones solares y definir correctamente la ubicación de los captadores, sobre todo si son paneles fotovoltaicos.

El efecto negativo de las sombras producidas por el polvo, los excrementos de los pájaros u hojas caídas de los árboles, está en dependencia de las particularidades del entorno y de la autolimpieza de la instalación, así como de la limpieza sistemática y el mantenimiento de los paneles. La sombra causada por los obstáculos colindantes

¹

CUBASOLAR (2009). Energía y tú, conciencia energética: respeto ambiental. 45.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

sobre los captadores solares, puede determinarse por el medio del conocimiento de la trayectoria solar. Para la determinación de las sombras se utilizan dos métodos:

- **Método de la altitud solar.** Observar desde un punto los objetos colindantes y determinar las posibles sombras que darían dichos objetos sobre el punto.
- **Método de la sombra sobre la superficie horizontal.** Observar desde el objeto colindante el área de sombra que este produce.

Aunque el primero es el más utilizado y el que más se encuentra en la literatura, por ser el más adecuado para países de altas latitudes, el segundo es el más preferido porque da directamente la información del mejor lugar donde se puede situar el captador solar, y es más adecuado para los países tropicales.

Si se coloca una varilla perpendicularmente encima de una superficie plana horizontal, la sombra de la punta de la misma sobre dicha superficie define la trayectoria de sol en ese día específico. Esta trayectoria es una curva hiperbólica, la cual es más pronunciada en los solsticios (solsticio de verano = día más largo del año; solsticio de invierno = día más corto del año) y llega a ser una recta en los equinoccios (cuando el día dura tanto como la noche).

1.7 Plano general de la instalación fotovoltaica

Datos necesarios para dimensionar un sistema

- Tensión nominal del sistema. Se refiere a la tensión típica en que operan las cargas a conectar.
- Potencia exigida por la carga. La potencia que cada carga exige es un dato esencial.
- Horas de utilización de las cargas. Juntamente con la potencia requerida por la carga, se deberán especificar las horas diarias de utilización de la referida potencia. Multiplicando potencia por horas de utilización, se obtendrán los vatios hora requeridos por la carga al final de un día.
- Localización geográfica del sistema (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar del sitio de la instalación). Estos datos son necesarios para determinar el ángulo de

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

inclinación adecuado para el módulo fotovoltaico y el nivel de radiación (medio mensual) del lugar.

- Autonomía prevista. Esto se refiere al número de días en que se prevé que disminuirá o no habrá generación y que deberán ser tenidos en cuenta en el dimensionamiento de las baterías de acumuladores. Para sistemas rurales domésticos se toman de 3 a 5 días y para sistemas de comunicaciones remotos de 7 a 10 días de autonomía.

1.7.1 Componentes básicos de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos tienen en particular dos ventajas:

- Hacen la conversión de la luz solar en electricidad con componentes electrónicos de estado sólido solamente, y no necesitan piezas móviles con lo cual prometen una alta disponibilidad de equipo y costos de funcionamiento y de mantenimiento muy bajos.
- Estos sistemas también parecen tener un efecto ambiental muy limitado, porque no emiten los contaminantes gaseosos asociados con el uso de combustibles fósiles y tienen pocos de los problemas asociados con algunas otras fuentes de energía renovables.

Los paneles solares son sólo uno de los elementos de un sistema solar completo. Para poder ser usado en aplicaciones similares a la que se obtiene a través de la distribución domiciliaria, necesita un inversor para convertir la electricidad de C.C. en C.A., compatible con la alimentación de la línea de canalización. También es necesario contar con un sistema de baterías y un regulador de carga, además de un conmutador de control para accionar dispositivos de emergencia. En instalaciones más sencillas, también necesitará una batería para cargas diurnas, un regulador de carga para llevar a cabo con eficiencia esta función, y un inversor – en caso que necesite C.A.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Componentes del sistema:

Corriente continua 12V/24V:

- Paneles de los módulos de células fotovoltaicas
- Soportes para los paneles
- Regulador de carga de baterías y banco de baterías. Corriente alterna 110/220V:
- Además de los elementos anteriores, entre las baterías y el consumo será necesario instalar un inversor de corriente con la potencia adecuada. El inversor convierte la corriente continua (DC) de las baterías en corriente alterna (AC). La mayoría de los electrodomésticos utiliza corriente alterna.

Los productos de la tecnología fotovoltaica son de construcción modular y pueden montarse in situ de manera flexible, con lo cual se reducen al mínimo el riesgo financiero inicial y los costos de inversión.

El regulador

Monitoriza constantemente la tensión de la batería de acumuladores. Cuando la tensión referida alcanza un valor para el cual se considera que la batería se encuentra cargada (aproximadamente 14.1 voltios para una batería de plomo ácido de 12 voltios nominales) el regulador interrumpe el proceso de carga.

Esto puede ser conseguido abriendo el circuito entre los módulos fotovoltaicos y la batería (control tipo serie) o cortocircuitando los módulos fotovoltaicos (control tipo shunt). Cuando el consumo hace que la batería comience a descargarse y por tanto a bajar su tensión, el regulador reconecta el generador a la batería y recomienza el ciclo.

Inversor

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. La corriente continua produce un flujo de corriente en una sola dirección, mientras que la corriente alterna cambia rápidamente la dirección del flujo de corriente de una parte a otra. La frecuencia de la corriente alterna en España es de 50 ciclos normalmente. Cada ciclo incluye el movimiento de la corriente primero en una dirección y luego en otra. Esto significa que la dirección de la corriente cambia 100 veces por segundo.

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

Efecto de factores ambientales sobre la característica de salida del dispositivo.

Efecto de la intensidad de radiación solar

- El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión.
- La corriente varía con la radiación de forma directamente proporcional. La tensión
- se mantiene prácticamente constante.

Efecto de la temperatura

- El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo es una
- reducción de la tensión de forma directamente proporcional.
- Es por eso que para lugares con temperatura ambiente muy elevada son adecuados.

Módulos que posean mayor cantidad de células en serie a fin de que las mismas tengan suficiente tensión de salida para cargar baterías. Potencia máxima de salida durante el día.

- La característica I-V del módulo varía con las condiciones ambientales (radiación, temperatura). Esto quiere decir que habrá una familia de curvas I-V que nos mostrará
- las características de salida del módulo durante el día en una época del año.
- La curva de potencia máxima de un módulo en función de la hora del día tiene la forma indicada en este diagrama de carga:
- se mide en vatios hora/día.

Baterías de acumuladores

- La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad a fin de poder ser utilizada a la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.
- Otra importante función de las baterías es proveer una intensidad de corriente superior a aquella que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Es el caso de un

Capítulo I. Utilización de la energía solar como energía renovable.

motor, que en el momento del arranque puede exigir una corriente de 4 a 6 veces u corriente nominal durante unos pocos segundos.

- Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías
- Normalmente el banco de baterías de acumuladores y los módulos fotovoltaicos trabajan en conjunto para alimentar las cargas.

Conclusiones parciales

- Se utiliza la energía solar en varios procesos como la generación de electricidad y el calentamiento de agua.
- La energía solar puede transformarse en energía térmica mediante colectores solares, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica.
- Los impactos ambientales producidos por las energías renovables son muy limitados.
- La energía solar es una fuente gratuita e inagotable.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

2.1. Instalación fotovoltaica.

La instalación que se propone está basada en el diseño de un sistema solar fotovoltaico, cuyo esquema es el siguiente:

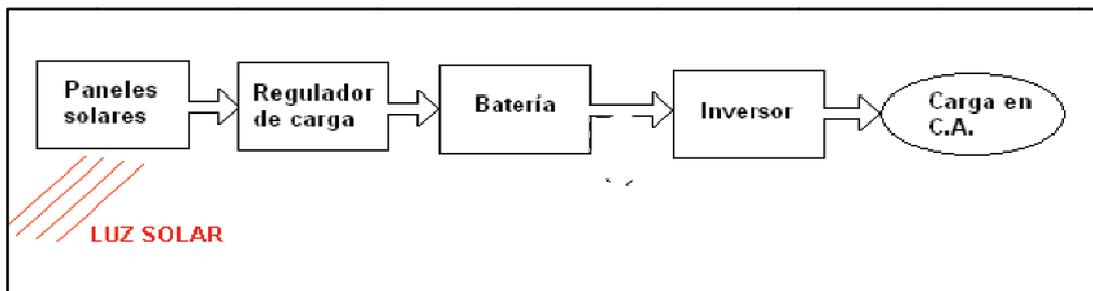


Figure 2. 1 Diagrama del proceso fotovoltaico

En primer lugar la luz solar incide en los paneles o módulos fotovoltaicos formados por un material semiconductor de silicio cristalino que posee efecto fotoeléctrico, es decir, transforma (con un rendimiento aproximado del 18%), la luz solar en energía eléctrica continua de 24V. Posteriormente esa electricidad debe acumularse en una batería para disponer de energía durante periodos nocturnos o de poca irradiación solar (días nublados, o con niebla).

Entre los paneles solares y la baterías es necesario incluir un regulador de carga de modo que cuando la batería esté cargada (por media de su tensión) el regulador cierre el aporte de energía desde los paneles solares a la batería, para impedir la sobrecarga de esta y por consiguiente el acortamiento de su vida útil.

Finalmente, la energía acumulada por la batería (en forma de corriente continua) puede emplearse como tal en luminarias y otros equipos, si bien lo más habitual es transformar, por medio de un inversor, la corriente en alterna a 110V y 60Hz en forma onda sinusoidal, pudiendo entonces alimentar equipos como televisiones, lavadores, frigoríficos, que trabajan con corriente alterna, y que son habituales e imprescindibles para la vida diaria.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

El proyecto trata sobre la electrificación de un aula especializada, por medio de una instalación solar fotovoltaica.

Está situada en el parque de energía renovable en la Universidad de Cienfuegos, en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Está ubicada en el centro sur con una latitud de $22^{\circ}08' N$ y una longitud de $80^{\circ}26' O$. Su altitud es de 100m sobre el nivel del mar² y presenta una buena insolación solar.

El aula se utiliza durante el año escolar entre los meses de septiembre y julio para educar los profesores y alumnos sobre los beneficios en el uso de las energías renovables y como puede ayudarlos a hacer elecciones sabias respecto a la energía a utilizar.

Datos del sistema:

Tensión nominal del sistema: 110 V

Potencia exigida por la carga: 742 W

Horas de utilización de las cargas: 5 horas

Localización geográfica del sistema (Cienfuegos):

Latitud= $22^{\circ}08' N$ longitud= $80^{\circ}26' O$

Autonomía prevista: 4 días

2.2. Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Selección del banco de baterías

En primer lugar se estima los consumos eléctricos diarios de los equipos eléctricos que van a operar en el local seleccionado que este caso lo constituye el aula de conferencias del parque de Fuentes renovables de Energía. En la tabla 2.1 que se muestra a continuación aparecen los estimados de carga instalada:

²"Geografía de Cuba." from <http://www.hicuba.com/geografia.htm>.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Tabla 2. 1 Consumo energético estimado

Equipo	Unidades	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (W-h)
Lámparas	6	20	5	600
PC	1	350	5	1750
Proyector	1	230	5	1150
Ventilador	1	42	5	210
Total	9	742	5	3710
Consumo energético teórico: E_T (W-h)				3710

A partir del consumo energético teórico E_T (W-h), se debe calcular el consumo energético real E(W-h), necesario para hacer frente a los múltiples factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, del siguiente modo:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (2.1)$$

Donde R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d}\right) \quad (2.2)$$

Dónde:

k_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas

0,1 en sistemas con descargas profundas

k_c : Coeficiente de pérdidas en el convertidor:

0,05 para convertidores sinusoidales puros, trabajando en régimen óptimo.

0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.

k_v : Coeficiente de pérdidas varias:

Agrupar otras pérdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc.)

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

0,05- 0,15 como valores de referencia.

k_a : Coeficiente de auto descarga diario:

0,002 para baterías de baja autodescarga Ni- Cd

0,005 para baterías estacionarias de Pb-acido (lo más habituales).

0,012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles).

N : Número de días autonomía de la instalación:

Serán los días que la instalación deba operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar. 4- 10 días como valores de referencia.

P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería:

Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con ciclos de carga-descarga muy profundos.

El rendimiento de la instalación fotovoltaica R , es el siguiente

$$R = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,07) * \left(1 - \frac{0,005*4}{0,8}\right) = 0,809 \quad (2.3)$$

A partir de la ecuación 2.1, el consumo energético real E , es:

$$E = \frac{3710}{0,809} = 4585,9W - h$$

Una vez definida la utilidad energética real E , se puede obtener fácilmente la capacidad del banco de baterías $C(A-h)$ necesario, del siguiente modo:

$$C = \frac{E*N}{V*P_d} = \frac{4585,9*4}{24*0,8} = 955,4A - h \quad (2.4)$$

Donde V es la tensión nominal del acumulador, 24 V.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

A partir de la capacidad calculada, se selecciona el equipo comercial más próximo en prestaciones, dentro de la categoría de baterías de plomo-acido. El banco de baterías seleccionado es el Acumulador Estacionario BAE 80PzS 800-1230 A-h.³

Selección del número de paneles solares.

Una vez definida la batería se va a pasar a calcular los paneles solares necesarios para la instalación. Para ello se debe conocer, a partir de valores estadísticos históricos de la zona, el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada H (kWh/m²día) del lugar. Para ello se hará uso de datos de la irradiación solar de Cienfuegos.(Latitud=22°08 N longitud=80°26 O).

Los resultados mensuales medios se recogen en la siguiente tabla, donde se ha considerado que los paneles se disponen en orientación Sur, se logra con orientación hacia el Sur cuando se trata de una región del hemisferio Norte con una inclinación de 22°08 .El ángulo de inclinación óptimo para montar los paneles depende de la latitud.Cualitativamente se puede interpretar que con esa orientación (acimut), se balancean las posibilidades de captación entre la mañana y la tarde, suponiendo que ambas poseen similares características de radiación.También es conocido que ese máximo de captación, como promedio anual, con orientación Sur (acimut = 0°) se logra cuando la inclinación de los colectores es igual a la latitud de la región o zona de captación.

Tabla 2.2 Irradiación solar diaria media, H (kWh/m² día)

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
H	7,26	9,26	8,66	9,54	8,96	6,96	8,72	7,48	8,20	9,07	7,50	6,90	8,20

Ahora es necesario introducir un concepto muy importante, las horas pico solar **HPS (h)**, definido como las horas de luz solar por días equivalentes, pero definidas en base a

³"Acumuladores estacionarios." From http://www.teknosolr.com/baterias-acumuladores-estacionarios-c-31_73.html.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

una irradiación I (kW/m^2) constante de 1 kW/m^2 , a la cual esta siempre medida la potencia de los paneles solares.

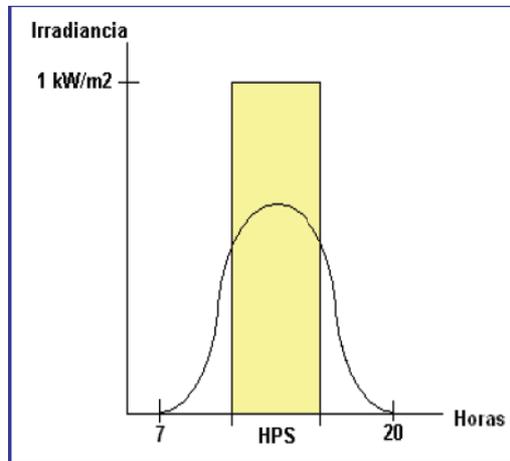


Figura 2.2 Definición de horas de pico solar

La irradiación H (kWh/día) es igual al producto de la irradiación I (kW/m^2) por las horas de pico solar HPS (h). Luego entonces los valores numéricos de la irradiación y horas de pico solar son iguales.

$$H (\text{kWh/día}) = I (1 \text{ Kw/m}^2) * HPS (\text{h}) \quad (2.5)$$

Entonces, según la ecuación 2.5, los valores numéricos de la tabla 2.2 son igualmente válidos para las horas de pico solar.

Tabla 2.3 Horas de pico solar, HPS (h)

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
HPS	7,26	9,26	8,66	9,54	8,96	6,96	8,72	7,48	8,20	9,07	7,50	6,90	8,20

Los paneles solares producen energía eléctrica durante todo el día equivalente a solo la hora de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de principales parámetros de diseño.

En el mercado hay paneles de diversas potencias máximas: 5,30, 50, 75(W) etc.; según la demanda de energía que se precise. Así mismo hay paneles de diversas calidades,

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

según las celdas cristalinas de silicio semiconductor de las que están formados sean monocristalinas (las más eficientes y caras), policristalinas (menos eficientes pero más baratas) o amorfas (poco eficientes pero muy baratas).

En este caso se elijan paneles fotovoltaicos PV-modul P90LS, de 90 W de potencia máxima y 24 V nominales de tensión. En la siguiente tabla 2.4 se muestran otras características.

Tabla 2.4 Características del módulo

Tipo	Voltaje máxima (V)	Pmax (Wp)	Umpp (V)	Impp (A)	Uoc (V)	Isc (A)	G (W/m ²)	Temperatura ambiente (°C)	Masa de aire	L (m)	W (m)
PV-Modul P90LS	750	90	22,20	4,0	27,0	4,4	1000	25	1,5	0,63	1,3

El número de paneles solares NP necesarios se calcula del siguiente modo:

$$NP = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS} \quad (2.6)$$

Donde W_p (W) es la potencia pico de cada panel solar.

Como se puede ver en la tabla 2.3, los valores de las horas de pico varían cada mes, luego como la sala se ocupa en el periodo entre septiembre y julio, se calcula el número de paneles necesarios para los meses con mínimo radiación solar de ese intervalo de ocupación, según la ecuación 2.6 teniendo en cuenta tabla 2.4:

$$NP = \frac{4585,9}{0,9 * 90 * 6,96} = 8,13 \approx 9 \quad (2.7)$$

$$NP = \frac{4585,9}{0,9 * 90 * 6,90} = 8,2 \approx 9 \quad (2.8)$$

Para la comprobación del funcionamiento adecuado de los paneles solares propuestos, se calcula el factor de utilización o cobertura del mes i (F_i) de la instalación. Este factor es la relación entre la energía fotovoltaica y la consumida.

$$F_i = \frac{\text{Energía disponible}}{\text{Energía consumida}} = \frac{NP * 0,9 * W_p * HPS_i}{E} \quad (2.9)$$

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Los resultados obtenidos a partir de la ecuación 2.9, se muestran a continuación:

Tabla 2.5 Factor de cobertura F_i

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Fi	1,15	1,47	1,37	1,51	1,42	1,10	1,38	1,18	1,3	1,44	1,19	1,09	1,3

Luego se puede comprobar que se cumple plenamente con la demanda energética necesaria durante los meses de ocupación, logrando un factor de cobertura medio anual superior al 100 %.

Los paneles se sitúan en el tejado del edificio, la superficie ocupada por estos será de $7,31m^2$. Se orientan al Sur y con una inclinación lo más cercana posible a $22^{\circ}08'$ (el óptimo para la latitud estudiada). Se utiliza un bastidor de acero galvanizado para fijar los paneles al tejado.

Selección del regulador de carga.

Para calcular el regulador de carga necesaria, simplemente se multiplica la intensidad de cortocircuito de cada panel por el número de paneles en paralelo necesarios. Ese producto será la máxima intensidad nominal a la que trabajara el regulador, $I_{max}(A)$:

$$I_{max} = I_{CC} * NP \quad (2.10)$$

$$I_{max} = 4,4 A * 9 = 39,6A$$

Se emplea un regulador de 40 A en paralelo modelo Regulador Mastervolt SMC-40 12/24 V 40A. ⁴

Selección del Inversor.

⁴. "Reguladores de carga." From <http://www.teknosolar.com/reguladores>.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Por último se selecciona el inversor necesario. Para ello se debe estimar la potencia instantánea máxima que la instalación va a demandar.

Analizando la tabla 2.1, se ve que esta puede llegar a ser de unos 742W.

Luego en consecuencia se selecciona un inversor que pueda hacer frente a ese valor, dando además un margen de seguridad para posibles conexiones adicionales que exijan un pico de demanda mayor. Se tiene presente que los inversores son equipos con bajo rendimiento a baja cargas de trabajo, por lo que no es de utilidad aplicar un gran sobredimensionamiento en su elección.

El inversor garantiza:

- Potencia máxima suponiendo que todos los equipos estén conectados a la vez (742 W).
- Voltaje de entrada 24 V
- Voltaje de salida 110 V
- Frecuencia 60 Hz

El equipo seleccionado es el LD900-24⁵ de 900W nominales.

Selección de los conductores.

El cálculo del diámetro de los conductores que transmitirán la energía eléctrica desde la instalación de los paneles solares, hasta los equipos del aula especializada, se realiza utilizando la fórmula de potencia activa.

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.11)$$

Dónde:

P : Potencia máxima demandada por los equipos del aula. (W)

V : Tensión de trabajo. (V)

$\cos\varphi$: Factor de potencia medio de los equipos. (p.u)

⁵"Inversores."From <http://www.pwt.net.au/inverters.htm>.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

I : Corriente demandada por los equipos. (A)

Despejando y considerando un factor de potencia medio de 0.6.

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi}$$

$$I = \frac{742W}{110V \cdot 0.6}$$

$$I = 11,24V$$

A partir de esta corriente se selecciona un conductor de cobre⁶ 1Ø, N^{ro.} 14 AWG, 2,1 mm², 15 A con cualquier tipo de aislamiento, se necesita además un disyuntor de 15 A, cuatro tomacorrientes y un interruptor para el alumbrado.

A continuación en la tabla 2.6 aparece un resumen de los equipos y materiales necesarios.

Tabla 2.6. Resumen de los equipos y materiales necesarios.

Equipo	Materiales	Cantidad
	Conductor de cobre 1Ø, N ^{ro.} 14 AWG, 2,1 mm ² , 15 A	40
Inversor LD900-24 de 900W		1
Regulador de 40 A en paralelo modelo Regulador Mastervolt SMC-40 12/24 V 40A.		1
Acumulador Estacionario BAE 80PzS 800-		1

⁶Martínez, E. A., Ed. (1986). Electrotecnia Básica. Habana, Cuba

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

1230 A-h		
Paneles fotovoltaicos PV-modul P90LS, de 90 W de potencia máxima y 24 V nominales de tensión		9
	Disyuntor de 15 A,	1
	Tomacorrientes	4
	interruptor para el alumbrado	1

2.3. Instalación solar térmica.

2.3.1. Selección del calentador solar

Por sus ventajas en cuanto a rendimiento, mantenimiento y costos se selecciona el colector solar al vacío cuya disponibilidad existe.

Los colectores solares de tubos al vacío incluyen una innovación: se ha hecho el vacío en el espacio que queda entre el cristal protector y la superficie absorbente. Con este cambio se consigue eliminar las pérdidas por convección interna, porque internamente no hay aire que pueda transferirlas, y aumentar así la temperatura de trabajo y el rendimiento de la instalación. La forma de estos captadores no es plana, sino cilíndrica, porque permite efectuar mejor el vacío en su interior. La diferencia, en este caso, está en que no se requiere de un material aislante, ya que el propio vacío de los tubos elimina totalmente las pérdidas térmicas hacia el exterior del vidrio. Por ello su rendimiento es siempre superior al de los colectores de placa plana, especialmente en condiciones de baja radiación solar.

2.3.2. Metodología de cálculo.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Demanda energética⁷

Es la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua, desde una temperatura inicial (T_i) hasta una temperatura de consumo (T_f).

$$Q = M * C_p * (T_f - T_i)$$

(2.13)

Dónde:

Q: Demanda energética $\left(\frac{kJ}{dia} \right)$

M: Masa de agua a calentar en un día $\left[\frac{Kg}{dia} \right]$

C_p : Capacidad calorífica del agua $\left[\frac{kJ}{Kg^{\circ}C} \right]$

T_i : Temperatura inicial del agua [$^{\circ}C$]

T_f : Temperatura del consumo del agua [$^{\circ}C$]

De otra parte, la masa de agua M está dada por la siguiente ecuación:

$$M = n_p * \delta_{H_2O} * V_p \quad (2.14)$$

n_p : Número de personas [personas/día]

δ_{H_2O} : Densidad del agua $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

V_p : Volumen de agua per cápita [lt/ persona]

El volumen de agua per cápita V_p es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente, este volumen varía en un rango de 20 a 60 litros.

En la determinación del número de colectores del sistema de calentamiento de agua, es necesario conocer el área de captación y la eficiencia global del colector.

Área de captación

⁷Pérez Luis, B. e. G. M. Á. (2008). "Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares." Cubasolar.

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética. El área depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua.

$$A_{cap} = \frac{Q}{H_p * \eta_g}$$

(2.15)

Dónde:

A_{cap} : Área de captación [m^2]

H_p : Radiación solar [kWh/m^2]

Para un cálculo más preciso se considera H_p para los seis meses de invierno donde las condiciones de radiación son más críticas según la recomendación de Rensol.

η_g : Eficiencia global diaria del sistema [%]

Número de colectores

La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética está determinada por la relación:

$$N_c = \frac{A_{cap} * FS}{A_c}$$

(2.16)

N_c : Número de colectores

A_{cap} : Área de captación [m^2]

A_c : Área de un colector [m^2]

FS : Factor de seguridad o de proyección de demanda (1- 1,5)

Volumen del depósito de almacenamiento

$$V_{dep} = 1,15 * M$$

(2.17)

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Dónde:

V_{dep} : Volumen del depósito de almacenamiento (lt)

M : Masa de agua a almacenar $\left[\frac{Kg}{dia} \right]$

2.3.3. Resultados para las condiciones impuestas.

En tabla Excel, anexo 4 aparecen resultados para diferentes condiciones. En el caso que nos ocupa tomaremos las condiciones siguientes:

$$T_i = 25^{\circ}C$$

$$T_f = 40^{\circ}C$$

$$n_p = 4 \text{ personas}$$

Los resultados son:

Tabla 2.7 Resultados para los cálculos de la instalación térmica

T_i (°C)	25
T_f (°C)	40
V_p (m ³)	0,16
n_p	4
C_p (kJ/Kg°C)	4,18
δ_{H_2O} (Kg/m ³)	1000
M (Kg)	640
Q (kJ)	40128
H_P (kWh/m ²)	8,11
η_g	55%
A_c (m ²)	3
A_{cap} (m ²)	2,49

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

N_c	1
FS	1,1
$V_{dep}(litros)$	736

Como se puede observar solo se necesita un colector (ver columna 1 fila 13 tabla anterior). El tipo de colector es del tipo al vacío LPC47-1530 del anexo 3..

Altura del depósito de almacenamiento:

$$v = \pi r^2 h \quad (2.18)$$

$$h = \frac{v}{\pi r^2} \quad (2.19)$$

Dónde:

h- la altura del depósito(m)

v- El volumen del depósito(m^3)= 736 litros = $0.736m^3$

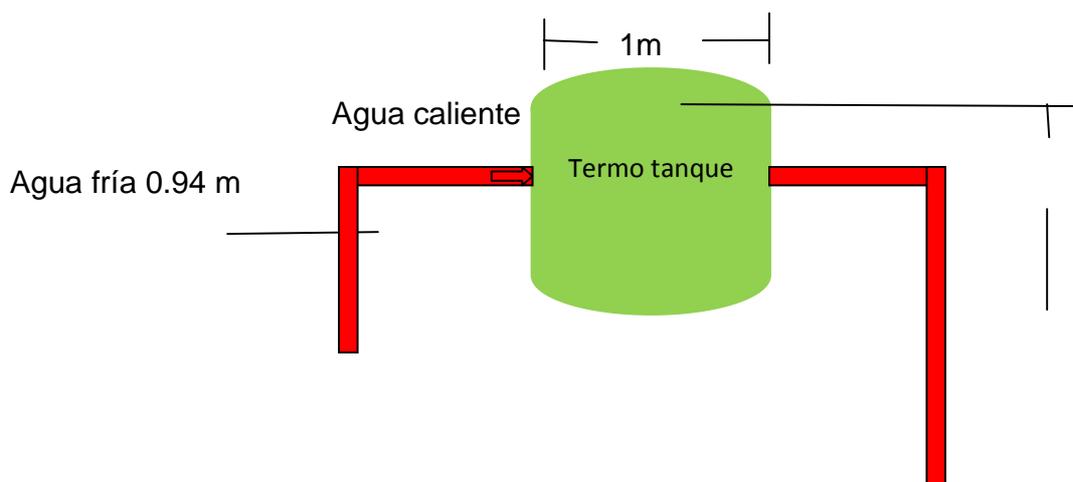
r- el radio del depósito(m)= 0.5m

$$h = \frac{0.736}{3.14 * 0.5^2} = 0.94 \text{ m}$$

2.3.4. Sistema de termosifón o pasivo

El principio de este sistema se base en que al calentarse el agua que se encuentra en el colector, esta adquiere una menor densidad, siendo menos pesada que el agua fría a igual volumen. Así el agua recibe una presión del agua fría, capaz de vencer la resistencia del circuito, y empuja a la primera a volver al colector. Su única desventaja es que el colector debe encontrarse próximo y por debajo del tanque de almacenamiento (mínimo 40cm).

La instalación se realizará de acuerdo al siguiente esquema:



Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

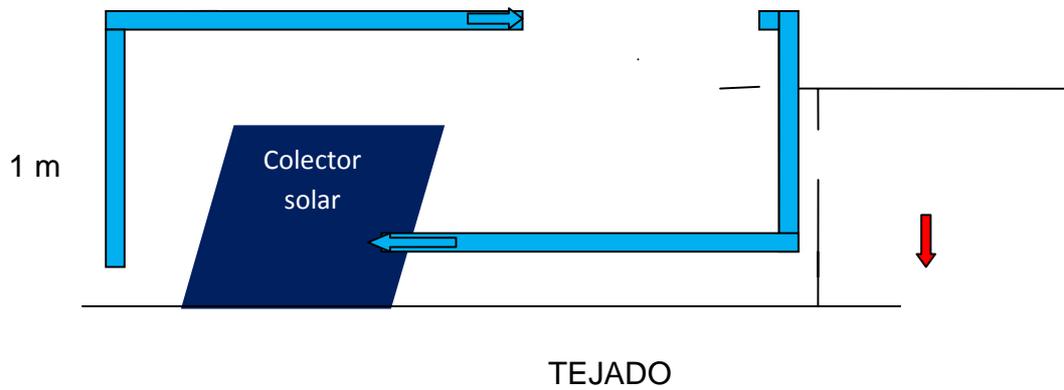


Figura 2.3. Esquema de la instalación solar térmica

A continuación en la tabla 2.8 aparece un resumen de los equipos y materiales necesarios.

Tabla 2.8. Resumen de los equipos y materiales necesarios.

equipo	materiales	cantidad
Colector tipo al vacío LPC47-1530		1
Depósito de almacenamiento 750 litros		1
	Tuberías PVC	30m
	Válvulas Compuerta DN 25	2

Capítulo II. Descripción del proyecto de instalación del sistema solar fotovoltaico y térmico.

Conclusiones parciales

1. La potencia total de la instalación fotovoltaica es 742 W y un consumo energético de 4585,9Wh teniendo 4 días autónomos previendo que la batería no se descarga menos de 80%.
2. Se necesitan 9 paneles en paralelo de tipo PV modul-P90LS con potencia máxima de 90W cada uno, un regulador de carga Regulador Master volt SMC-40 12/24 V 40A, un inversor LD900-24 de 900W, y un banco de baterías Acumulador Estacionario BAE 80PzS 800-1230 A-h.
3. Para la instalación térmica se necesita un colector solar, con un depósito de almacenamiento de 750 litros, 30m de tuberías y dos válvula.

Capítulo III. Análisis económico-ambiental.

Capitulo III. Análisis económico-ambiental.

3.1. Costo total de la instalación

Tabla 3.1 Costo total de la instalación fotovoltaica

Equipo	Unidades	Costo unitario \$USD	Costo total \$USD
Paneles solares	9	600.00	5400.00
Bastidor paneles	1x35m	29.77	1041.95
Batería	1	3448,40	3448,40
Reguladores de carga	1	273,80	273,80
Breaker o disyuntor	1	40.00	40.00
Inversor	1	1000.00	1000.00
Cableado	1x 40m	1.20	48.00
Tomacorriente	4	1.50	6.00
Interruptores	1	1.40	1.40
			11259.55

Tabla 3.2 Costo de la instalación solar térmica

Equipos	Unidades	Costo unitario \$USD	Costo total \$USD
Colector solar	1	362.00	362.00
Tanque	1	500.00	500.00
Tuberías	1x 30m	6.74	202.20
Accesorios	2	39.55	79.10
			1143.30

De las tablas anteriores el costo total de la instalación solar térmica y fotovoltaica es $\$11259.55 + \$1143.30 = \text{USD } \$12402.85$

Capítulo III. Análisis económico-ambiental.

3.2. Costo de operación.

Para la potencia instalada de 0.810 kW y la tarifa de 0.036 CUC/kW-h, tenemos que:

$$0,810kW * \frac{5horas}{dias} * \frac{20dias}{mes} * \frac{0,036CUC}{kWh} = 2,916CUC/año$$

Este es el costo del uso de la energía eléctrica en la sala de conferencias del parque de FRE, que de usarse los paneles fotovoltaicos no se incurriría.

Como se observa no es significativo pues una instalación con una pequeña carga instalada, pero el objetivo del trabajo no es precisamente abaratar este de operación sino la de contribuir desde la universidad al uso de las FRE.

3.3. Análisis ambiental.

La ganancia en el efecto indirecto por el uso de la instalación a través de los paneles solares es el siguiente:

Energía suministrada por los paneles solares: 810 Watts.

Horas díasfuncionando: 5

Considerando que el uso de la instalación sea 20 días- mes y 5 meses efectivos al año, tenemos que el consumo de energía será de 405 Kw-h.

A partir de lo anterior:

$$\frac{405kWh}{año} * \frac{0,94kgCO_2}{kWh} = 380kgCO_2/año$$

Conclusiones Generales.

Conclusiones Generales.

- El costo de total la instalación solar térmica y fotovoltaica sería USD \$12402.85.
- Se dejarían de emanar al ambiente la cantidad 380 Kg. de CO₂ por concepto de no utilizar energía eléctrica en la sala de actividades expositivas del parque de FRE.
- Constituye la ejecución del proyecto de las instalaciones que se abordan en el trabajo un aporte al proceso de enseñanza- aprendizaje en la maestría de eficiencia energética y la divulgación en la comunidad universitaria de los conocimientos acerca de las riquezas energéticas del sol
- También puede contribuir al desarrollo de investigaciones científicas en relación al uso de la energía solar como energía renovable, así como para la realización de prácticas de laboratorio.

Recomendaciones:

Recomendaciones:

- Ejecutar el proyecto acorde a los resultados expuestos en este trabajo.
- Desarrollar prácticas de laboratorio tanto en pregrado como en postgrado sobre la temática abordada en el trabajo una vez ejecutado el proyecto.
- Ampliar la educación energético- ambiental en la universidad.
- Hacer más extensivo el uso de la energía solar en la Universidad de Cienfuegos como insignia del uso de las FRE en el territorio.
- Evaluar el impacto ambiental del uso de la energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos y ejecutar proyecto a mediana escala del uso de energía solar para disminuir este impacto.
- Promover el uso eficiente de la energía en todas sus formas y aplicaciones, haciendo énfasis particular en el desarrollo de las tecnologías para el suministro de energía.

Bibliografía

Bibliografía

"Acumuladores estacionarios." from http://www.teknosolr.com/baterias-acumuladores-estacionarios-c-31_73.html.

Almanza Salgado, Rafael F. M. G., Ed. (2003). Ingeniería de la energía solar México.

Antoine, D. (2009). Análisis de la factibilidad técnico económica de uso de calentadores solares en la UCF. CEEMA. Cienfuegos, universidad de Cienfuegos.

Arresti, D. O. (2006). Diseño de una instalación solar fotovoltaica. España

Cabrera, J. C. M. (2009). Calentamiento de agua por energía solar en el Hotel Pasacaballo. CEEMA. Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.

Chávez, I. "Dimensionado o diseño de sistemas solares fotovoltaicos autónomo." CUBAENERGIA.

CUBASOLAR. "Sociedad Cubana para la promoción de las Fuentes renovables de energía y el respeto ambiental." from <http://www.cubaenergia.cu>.

CUBASOLAR (2009). Energía y tú, conciencia energética: respeto ambiental. 45,47.

Diez, P. F. Procesos Termo solares en baja, media y alta temperatura. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria

"Geografía de Cuba." from <http://www.hicuba.com/geografia.htm>.

Hernández, I. F. H. Dimensionado de un sistema solar fotovoltaico autónomo. Pinar del Rio. Universidad de Pinar del Rio 'Hermanos Saiz Montes de Oca. .

"Influencia de la orientación de los colectores solares en la captación de energía." from <http://www.cubaenergia.cu/ecosolar>.

"Inversores." from <http://www.pwt.net.au/inverters.htm>.

Martínez, E. A., Ed. (1986). Electrotecnia Básica. Habana, Cuba.

Pérez Luis, B. e. G. M. Á. (2008). "Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares." Cubasolar.

Bibliografía

Ravelo, V. M. G. (2008). Diseño del parque de energía renovable. CEEMA. Cienfuegos, Universidad de Cienfuegos.

"Reguladores de carga." from <http://www.teknosolar.com/reguladores>.

"Sistemas de agua caliente sanitaria." from <http://www.anepta.es>.

Society., T. G. S. E., Ed. (2005). Planning and Installing Photovoltaic Systems .A guide for installers, architects and engineers. Berlín, James &James.

Unidas, N. (1992). La conversión directa de energía solar en electricidad. Nueva York.

Bibliografía

Anexos

Tabla 1. Longitud y latitud de ciudades cubanas

Lugar	longitud	latitud
Punta de Maisi	74° 07'	20 ° 12'
Baracoa	74° 29'	20 ° 20'
Guantánamo	75 ° 12'	20 ° 08'
Santiago de Cuba	75 ° 49'	20 ° 01'
Holguín	76 ° 15'	20 ° 53'
Bayamo	76 ° 38'	20 ° 22'
Las Tunas	76 ° 57'	20 ° 58'
Manzanillo	77° 07'	20 ° 20'
Cabo Cruz	77 ° 43'	19 ° 50'
Camagüey	77° 54'	21 ° 23'
Cayo Coco	78 ° 20'	22° 30'
Santi Spíritus	79 ° 26'	21 ° 55'
Placetas	79 ° 39'	22 ° 18'
Santa Clara	79 ° 57'	22 ° 24'
Trinidad	79 ° 59'	21 ° 48'
Cienfuegos	80 ° 26'	22 ° 08'
Matanzas	81 ° 33'	23 ° 02'
La Habana	82° 22'	23 ° 08'
Nueva Gerona	82° 48'	21 ° 53'
Pinar del Rio	83 ° 42'	22 ° 25'
Cabo de San Antonio	84° 57'	21 ° 51'

Tabla 2 Datos de la cantidad de agua asignada a una persona etc.

Viviendas unifamiliares	40 litros por persona y día
Viviendas multifamiliares	30 litros por persona y día
hospitales	80 litros por cama y día
Hoteles (***) o más)	80 litros por persona y día
Duchas colectivas	20 litros por servicio

Tabla 3 Datos técnicos del calentador solar al vacío

Tipo	LPC47-1530
Caja exterior	Aluminio estructurado
Insulación	Espuma de poliuretano 45mm
Tubo de vacío	Dimensiones $\varnothing 47 \times 1500$ mm
Numero de tubos	30 piezas
Soldadura	Automática argón- arc
Conexiones entrada y salida	Acero inoxidable 27 mm
Eficiencia global del sistema	55%
Área del colector	3m ²

Tabla 3.4 Resultados de los cálculos de colectores solares para diferentes condiciones

Anexos

T_i (°C)	T_f (°C)	V_p (m ³)	ρ_{n_0} (Kg/m ³)	n_p	M (Kg)	c_p (kJ/Kg°C)	Q (kJ)	A_{cap} (m ²)	H_p (kWh/m ²)	N_c	η_g	A_c (m ²)	FSV_{dep} (litros)	
25	40	0.04	1000	1	40	4.18	2508	0.156185779	8.11	0.057268119	0.55	3	1.1	46
25	40	0.08	1000	2	160	4.18	10032	0.624743115	8.11	0.229072476	0.55	3	1.1	184
25	40	0.12	1000	3	360	4.18	22572	1.40567201	8.11	0.51541307	0.55	3	1.1	414
25	40	0.16	1000	4	640	4.18	40128	2.498972462	8.11	0.916289903	0.55	3	1.1	736
25	40	0.2	1000	5	1000	4.18	62700	3.904644472	8.11	1.431702973	0.55	3	1.1	1150
25	40	0.24	1000	6	1440	4.18	90288	5.622688039	8.11	2.061652281	0.55	3	1.1	1656
25	40	0.28	1000	7	1960	4.18	122892	7.653103165	8.11	2.806137827	0.55	3	1.1	2254
25	40	0.32	1000	8	2560	4.18	160512	9.995889848	8.11	3.665159611	0.55	3	1.1	2944
25	40	0.36	1000	9	3240	4.18	203148	12.65104809	8.11	4.638717633	0.55	3	1.1	3726
25	40	0.4	1000	10	4000	4.18	250800	15.61857789	8.11	5.726811892	0.55	3	1.1	4600