

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN-LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA – ESTADÍSTICA



TEMA: *“APLICACIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE: PANELES SOLARES.”*

MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE MASTER EN DIDACTICA DE LA FISICA.

ELABORADO POR:

Lic. Francisco José Vanegas.

TUTOR: Msc. Carlos José Medina Prado.

León, 15 de Noviembre del 2008.

Índice:	Página
Capitulo 1: INTRODUCCIÓN.	5
Capitulo 2: La Energía Renovable.	7
Capitulo 3: Las células o celdas Fotovoltaicas.	27
Capitulo 4: Paneles Solares Fotovoltaicos.	39
Capitulo 5: Conclusiones	88
Capitulo 6: Proyecto de Paneles Solares para una cooperativa camaronera del pacífico de Nicaragua.	89
BIBLIOGRAFIA	103

OBJETIVOS:

Generales:

- Explicar los diferentes usos y aplicaciones de la energía obtenible de la naturaleza, llamada energía limpia y renovable, como el calor geotérmico, los vientos y la luz solar principalmente.

Específicos:

- Determinar de que manera la luz solar puede ser utilizada construyendo determinados dispositivos que permitan almacenarla y transformarla en energía eléctrica para solucionar problemas energéticos en el mundo y particularmente en Nicaragua.

- Analizar los principios matemáticos y aplicaciones físicas del gradiente solar.

DEDICADA A:

- Los transformadores físicos de la naturaleza, a los sabios que nos han guiados en el conocimiento del mundo.
- Carlos Fonseca Amador por enseñarnos el camino de las transformaciones sociales en nuestro país
- Mi madre, hermanos, sobrinos e hijas y todos los que a lo largo de mi vida me han apoyado y ayudado a caminar este largo y bello camino, particularmente a Valerio Hernández Mayorga, Alberto Cerda Campos y a Carlos Fonseca Terán.

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN:

Con el presente trabajo investigativo abordamos las diferentes formas y usos de la energía renovable y el funcionamiento de algunos aparatos que se construyen con el fin de aprovechar la energía natural existente y ponerla al servicio de la humanidad en el consumo cotidiano de la energía eléctrica obtenida a través de algunas transformaciones. Los aparatos a los que nos referiremos en este trabajo, ya están en pleno uso y servicio en diferentes países del mundo, ya que es una tecnología confiable y comprobada.

Realizamos esta investigación con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y el tipo de estudio que utilizamos fue documental apoyándonos con información bibliografía (literaria) e información disponible en la red (Internet) vinculada a nuestra sociedad.

Este trabajo es una opción para la solución del problema energético que atraviesa actualmente Nicaragua.

Si bien es cierto que se habla mucho del problema energético que atraviesa Nicaragua, pero no se han tomado medidas necesarias en torno a este problema. En Nicaragua los gobiernos neoliberales de las décadas del noventa y dos mil han dejado pasar casi veinte años sin haber puesto en marcha ningún tipo de proyecto energético. Nuestro país tiene mucho potencial en recursos naturales que bien pueden ser aprovechados para la generación de energía y reducir la dependencia del petróleo. Nicaragua, es un país de Lagos y Volcanes, y por tal razón posee una gran riqueza energética. Pero ¿Cuántos proyectos energéticos aprovechan los recursos hidroeléctricos, geotérmicos y eólicos?

Por otro lado, también la "basura" es fuente de energía, ¿cuántos proyectos en el país aprovechan este recurso?

El principal problema, según los expertos, es que comienza a haber escasez en las fuentes tradicionales de suministro de energía, como el petróleo y el carbón, que son los motores de la economía global.

Los especialistas advierten sobre la necesidad de desarrollar energías alternativas para evitar una fuerte crisis energética. A nivel internacional el uso de paneles solares se ha convertido en una alternativa energética frente a los altos costos del petróleo.

Para los expertos, el hidrógeno, la energía eólica, solar e hídrica suministrarán la mayor parte de la energía del mundo en los próximos 50 años.

En este trabajo de investigación, solo hacemos énfasis en el ahorro energético, gracias al aprovechamiento de la luz generada por el sol.

Debido a este problema nace la necesidad de crear aparatos o máquinas que nos ayuden a mantenernos en un ambiente confortable y apto para la sobrevivencia del ser humano.

La instalación de paneles solares como alternativa para la iluminación es actualmente un sistema muy eficiente energéticamente, y puede proporcionar ahorros energéticos superiores al 70%, más su contribución a la reducción de las emisiones de CO₂, con respecto a otros sistemas convencionales, como las plantas de gas o de gasoil, etc.

Capítulo 2:

La Energía Renovable.

Contenido

1 Clasificación

2 Evolución histórica

3 Las fuentes de energía

3.1 No renovables

3.1.1 Energía fósil

3.1.2 Energía nuclear

3.2 Renovables

3.2.1 Energía hidráulica

3.2.2 Biomasa

3.2.3 Energía solar

3.2.4 Energía eólica

3.2.5 Energía geotérmica

3.2.6 Energía mareomotriz

4 Ventajas e inconvenientes de la energía renovable

4.1 Energías ecológicas

4.2 Naturaleza difusa

4.3 Irregularidad

4.4 Fuentes renovables contaminantes

4.5 Diversidad geográfica

4.6 Administración de las redes eléctricas

4.7 La integración en el paisaje

5 Las fuentes de energía renovables en la actualidad

6 Producción de energía

7 Véase también

8 Referencias

9 Instituciones que fomentan las Energías Renovables



El girasol, icono de las energías renovables por su enorme aprovechamiento de la luz solar, su uso para fabricar biodiésel y su "parecido" con el sol.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Clasificación

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

El Sol: energía solar.

El viento: energía eólica.

Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.

Los mares y océanos: energía mareomotriz.

El calor de la Tierra: energía geotérmica.

Las olas: energía undimotriz.

La llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada: energía azul.

Las contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiésel, mediante reacciones de transesterificación y de los residuos urbanos.

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles: en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas. Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán. También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles, porque teóricamente el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. En realidad no es equivalente la cantidad absorbida previamente con la emitida en la combustión, porque en los procesos de siembra, recolección, tratamiento y transformación, también se consume energía, con sus correspondientes emisiones.

Además, se puede atrapar gran parte de las emisiones de CO₂ para alimentar cultivos de microalgas/ciertas bacterias y levaduras (potencial fuente de fertilizantes y piensos, sal [en el caso de las microalgas de agua salobre o salada] y biodiésel/etanol respectivamente, y medio para la eliminación de hidrocarburos y dioxinas en el caso de las bacterias y

levaduras (proteínas petrolíferas) y el problema de las partículas se resuelve con la gasificación y la combustión completa (combustión a muy altas temperaturas, en una atmósfera muy rica en O₂) en combinación con medios descontaminantes de las emisiones como los filtros y precipitadores de partículas (como el precipitador Cottrel), o como las superficies de carbón activado.

También se puede obtener energía a partir de los residuos sólidos urbanos y de los lodos de las centrales depuradoras y potabilizadoras de agua. Energía que también es contaminante, pero que también lo sería en gran medida si no se aprovechara, pues los procesos de pudrición de la materia orgánica se realizan con emisión de gas natural y de dióxido de carbono.

Evolución histórica

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y

futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

Según la Comisión Nacional de Energía española, la venta anual de energía del Régimen Especial se ha multiplicado por más de 10 en España, a la vez que sus precios se han rebajado un 11 %.

En España las energías renovables supusieron en el año 2005 un 5,9% del total de energía primaria, un 1,2% es eólica, un 1,1% hidroeléctrica, un 2,9 biomasa y el 0,7% otras. La energía eólica es la que más crece.

Las fuentes de energía

No renovables

Los combustibles fósiles son recursos no renovables: no podemos reponer lo que gastamos. En algún momento, se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos. Son aquellas cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. Las principales son la energía nuclear y los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón).

Energía fósil

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o

hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno, de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía. La energía fósil se saca de la explotación del petróleo, el gas o el carbón. Estos residuos – hidrocarburos - proceden de la descomposición de organismos vivos durante eras geológicas, por acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias. Al contrario de las energías renovables, la producción de energía fósil se va gastando conforme se agotan las reservas del planeta. La energía más utilizada en el mundo es la energía fósil. Si se considera todo lo que está en juego, es de suma importancia medir con exactitud las reservas de combustibles fósiles del planeta. Se distinguen las “reservas identificadas” aunque no estén explotadas, y las “reservas probables”, que se podrían descubrir con las tecnologías futuras. Según los cálculos, el planeta puede suministrar energía durante 40 años más (si sólo se utiliza el petróleo) y más de 200 (si se sigue utilizando el carbón). Hay alternativas actualmente en estudio: la energía fósil –nuclear y no renovable, las energías renovables, las pilas de hidrógeno o la fusión nuclear.

Energía nuclear

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. se obtiene al romper los átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear.

Una consecuencia de la actividad de producción de este tipo de energía, son los residuos nucleares, que pueden tardar miles de años en desaparecer y tardan mucho tiempo en perder la radiactividad

Renovables

Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes subgrupos: permanentes (renovables) y temporales (no renovables). En principio, las fuentes permanentes son las que tienen origen solar, de hecho, se sabe que el Sol permanecerá por más tiempo que la Tierra. Aun así, el concepto de renovabilidad depende de la escala de tiempo que se utilice y del ritmo de uso de los recursos.

Así, los combustibles fósiles se consideran fuentes no renovables ya que la tasa de utilización es muy superior al ritmo de formación del propio recurso.

Energía hidráulica

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. En España se utiliza un 15 % de esta energía para producir electricidad.

Biomasa

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos

procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

Energía solar



Estos colectores solares parabólicos concentran la radiación solar aumentando temperatura en el receptor.



Los paneles fotovoltaicos convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

Energía solar

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.

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 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 eliminen 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.

Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire.

El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión).

Energía geotérmica

Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas

pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radio génico. Geotérmico viene del griego geo, "Tierra"; y de thermos, "calor"; literalmente "calor de la Tierra".

Energía mareomotriz



Central eléctrica mareomotriz en el estuario del río Rance, al noroeste de Francia.

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación

de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes durante la fase de explotación. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y el impacto ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.

Otras formas de extraer energía del mar son la energía undimotriz, que es la energía producida por el movimiento de las olas; y la energía debida al gradiente térmico oceánico, que marca una diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas del océano.

Ventajas e inconvenientes de la energía renovable

Energías ecológicas

Las fuentes de energía renovables son distintas a las de combustibles fósiles o centrales nucleares debido a su diversidad y abundancia. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables. Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

No obstante, algunos sistemas de energía renovable generan problemas ecológicos particulares. Así pues, los primeros aerogeneradores eran peligrosos para los pájaros, pues sus aspas giraban muy deprisa, mientras que las centrales hidroeléctricas pueden crear obstáculos a la emigración de ciertos peces, un problema serio en muchos ríos del mundo (en los del noroeste de Norteamérica que desembocan en el Océano Pacífico, se redujo la población de salmones drásticamente).

Naturaleza difusa



Batería de paneles solares.

Un problema inherente a las energías renovables es su naturaleza difusa, con la excepción de la energía geotérmica la cual, sin embargo, sólo es accesible donde la corteza terrestre es fina, como las fuentes calientes y los géiseres.

Puesto que ciertas fuentes de energía renovable proporcionan una energía de una intensidad relativamente baja, distribuida sobre grandes superficies, son necesarias nuevos tipos de "centrales" para convertirlas en fuentes utilizables. Para 1.000 kWh de electricidad, consumo anual per cápita en los países occidentales, al propietario de una vivienda ubicada en una zona

nublada de Europa debe instalar ocho metros cuadrados de paneles fotovoltaicos (suponiendo un rendimiento energético medio del 12,5%).

Sin embargo, con cuatro metros cuadrados de colector solar térmico, un hogar puede obtener gran parte de la energía necesaria para el agua caliente sanitaria aunque, debido al aprovechamiento de la simultaneidad, los edificios de pisos pueden conseguir los mismos rendimientos con menor superficie de colectores y, lo que es más importante, con mucha menor inversión por vivienda.

Irregularidad

La producción de energía eléctrica permanente exige fuentes de alimentación fiables o medios de almacenamiento (sistemas hidráulicos de almacenamiento por bomba, baterías, futuras pilas de combustible de hidrógeno, etc.). Así pues, debido al elevado coste del almacenamiento de la energía, un pequeño sistema autónomo resulta raramente económico, excepto en situaciones aisladas, cuando la conexión a la red de energía implica costes más elevados.

Fuentes renovables contaminantes

En lo que se refiere a la biomasa, es cierto que almacena activamente el carbono del dióxido de carbono, formando su masa con él y crece mientras libera el oxígeno de nuevo, al quemarse vuelve a combinar el carbono con el oxígeno, formando de nuevo dióxido de carbono. Teóricamente el ciclo cerrado arrojaría un saldo nulo de emisiones de dióxido de carbono, al quedar las emisiones fruto de la combustión fijadas en la nueva biomasa. En

la práctica, se emplea energía contaminante en la siembra, en la recolección y la transformación, por lo que el balance es negativo.

Por otro lado, también la biomasa no es realmente inagotable, aun siendo renovable. Su uso solamente puede hacerse en casos limitados. Existen dudas sobre la capacidad de la agricultura para proporcionar las cantidades de masa vegetal necesaria si esta fuente se populariza, lo que se está demostrando con el aumento de los precios de los cereales debido a su aprovechamiento para la producción de biocombustibles. Por otro lado, todos los biocombustibles producen mayor cantidad de dióxido de carbono por unidad de energía producida que los equivalentes fósiles.

La energía geotérmica no solo se encuentra muy restringida geográficamente sino que algunas de sus fuentes son consideradas contaminantes. Esto debido a que la extracción de agua subterránea a alta temperatura genera el arrastre a la superficie de sales y minerales no deseados y tóxicos. La principal planta geotérmica se encuentra en la Toscana, cerca de la ciudad de Pisa y es llamada Central Geotérmica de Larderello [1] [2]. Una imagen de la central en la parte central de un valle y la visión de kilómetros de cañerías de un metro de diámetro que van hacia la central térmica muestran el impacto paisajístico que genera.

En Argentina la principal central fue construida en la localidad de Copahue [3] y en la actualidad se encuentra fuera de funcionamiento la generación eléctrica. El surgente se utiliza para calefacción distrital, calefacción de calles y aceras y baños termales.

Diversidad geográfica

La diversidad geográfica de los recursos es también significativa. Algunos países y regiones disponen de recursos sensiblemente mejores que otros, en particular en el sector de la energía renovable. Algunos países disponen de recursos importantes cerca de los centros principales de viviendas donde la demanda de electricidad es importante. La utilización de tales recursos a gran escala necesita, sin embargo, inversiones considerables en las redes de transformación y distribución, así como en la propia producción.

Administración de las redes eléctricas

Si la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se generalizase, los sistemas de distribución y transformación no serían ya los grandes distribuidores de energía eléctrica, pero funcionarían para equilibrar localmente las necesidades de electricidad de las pequeñas comunidades. Los que tienen energía en excedente venderían a los sectores deficitarios, es decir, la explotación de la red debería pasar de una "gestión pasiva" donde se conectan algunos generadores y el sistema es impulsado para obtener la electricidad "descendiente" hacia el consumidor, a una gestión "activa", donde se distribuyen algunos generadores en la red, debiendo supervisar constantemente las entradas y salidas para garantizar el equilibrio local del sistema. Eso exigiría cambios importantes en la forma de administrar las redes.

Sin embargo, el uso a pequeña escala de energías renovables, que a menudo puede producirse "in situ", disminuye la necesidad de disponer de sistemas de distribución de electricidad. Los sistemas corrientes, raramente rentables económicamente, revelaron que un hogar medio que disponga de un sistema

solar con almacenamiento de energía, y paneles de un tamaño suficiente, sólo tiene que recurrir a fuentes de electricidad exteriores algunas horas por semana. Por lo tanto, los que abogan por la energía renovable piensan que los sistemas de distribución de electricidad deberían ser menos importantes y más fáciles de controlar.

La integración en el paisaje



Aerogeneradores.

Un inconveniente evidente de las energías renovables es su impacto visual en el ambiente local. Algunas personas odian la estética de los generadores eólicos y mencionan la conservación de la naturaleza cuando hablan de las grandes instalaciones solares eléctricas fuera de las ciudades. Sin embargo, todo el mundo encuentra encanto en la vista de los "viejos molinos a viento" que, en su tiempo, eran una muestra bien visible de la técnica disponible.

Otros intentan utilizar estas tecnologías de una manera eficaz y satisfactoria estéticamente: los paneles solares fijos pueden duplicar las barreras anti-ruido a lo largo de las autopistas, hay techos disponibles y podrían incluso ser sustituidos completamente por captadores solares, células fotovoltaicas amorfas que pueden emplearse para teñir las ventanas y producir energía, etc.

Las fuentes de energía renovables en la actualidad



Central hidroeléctrica.

Representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%.

Alrededor de un 80% de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad.

En España, las renovables fueron responsables del 19,8 % de la producción eléctrica. La generación de electricidad con energías renovables superó en el año 2007 a la de origen nuclear

Producción de energía

Greenpeace presentó un informe en el que sostiene que la utilización de energías renovables para producir el 100% de la energía es técnicamente viable y económicamente asumible, por lo que, según la organización

ecologista, lo único que falta para que en España se dejen a un lado las energías sucias, es necesaria voluntad política. Para lograrlo, son necesarios dos desarrollos paralelos: de las energías renovables y de la eficiencia energética (eliminación del consumo superfluo)

Por otro lado, un 64% de los directivos de las principales utilities consideran que en el horizonte de 2018 existirán tecnologías limpias, asequibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad

Central hidroeléctrica reversible para almacenamiento de energía renovable solar o eólica en forma de agua.

Atravesando la frontera interfase o zona de interconexión de la mayor parte de la fase de agua al interior de las micelas. En adición las mezclas iónicas tuvieron una influencia adicional sobre solutos evidentes pKa a través de los efectos de la electrostática de los grupos líderes.

Capítulo 3:

LA CÉLULAS O CELDAS FOTOVOLTAICAS.

En la naturaleza, la energía luminosa se transforma en eléctrica en el proceso de fotosíntesis. Los humanos conseguimos este mismo resultado utilizando semiconductores.

Las células fotovoltaicas, están formadas por muchos diodos semiconductores juntos y son fabricadas usando diferentes materiales y procesos, ya que todavía se continúa perfeccionando el producto buscando la manera de abaratar el costo e incrementar su eficiencia.

Cuando la luz solar pega sobre estos paneles, tiene la energía y el espectro luminoso necesario para alterar el estado de equilibrio de la juntura N-P en estos diodos y se genera un exceso de cargas libres, las que pueden sostener una corriente, si se cierra el circuito externo.

Conductores y aislantes

Dado que el fenómeno fotovoltaico toma lugar dentro de un semiconductor, se hace necesario entender que hace que un material sea un buen conductor, un buen aislante (no-conductor) y, por último, un semiconductor.

La corriente eléctrica es la cantidad de cargas que circulan por unidad de tiempo. Cuando se aplica un voltaje entre los extremos de un material, se crea un campo eléctrico dentro del mismo. Los electrones ubicados en la órbita exterior del átomo de este material, la más lejana del núcleo, estarán sometidos a una fuerza cuyo valor está dado por la expresión:

$$\mathbf{F = q \times E}$$

Donde "q" es el valor de la carga (en Coulombs) y "E" es el valor del campo eléctrico en "V/m". La conducción o no-conducción eléctrica de un material está determinada por su estructura atómica.

En materiales conductores, como el cobre, el aluminio o el grafito, los electrones de la banda externa tienen mucha movilidad, ya que están saltando de átomo a átomo, aún a la temperatura ambiente.

Bajo la acción de un campo eléctrico (voltaje entre los extremos) la fuerza dada por la expresión " $F = q \times E$ " los pone en movimiento. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevado en estos materiales.

En materiales aislantes, como el vidrio, el diamante o la porcelana, aún con elevados valores del campo eléctrico (altos voltajes) la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para desplazarlos y establecer una corriente, ya que su movilidad es prácticamente nula.

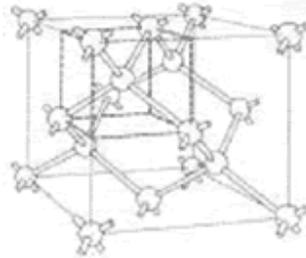
Observe el lector que en los ejemplos he usado, a propósito, dos formas cristalinas distintas para el carbón: el grafito (conductor) y el diamante (aislante) para mostrar cómo la estructura interna de la sustancia determina la movilidad de las cargas en la misma.

Cuando el átomo de una sustancia pierde un electrón, se transforma en una carga positiva. La pérdida de un electrón crea, en efecto, dos cargas dentro del material: una negativa (electrón libre) y otra positiva (resto del átomo).

Estructuras cristalinas

En sustancias como el germanio (Ge) y el silicio (Si) los electrones de la capa exterior de un átomo son compartidos por átomos adyacentes (Figura

1) formando una estructura fija rígida (cristalina) en donde los electrones carecen de movilidad. Por eso el germanio y el silicio puro son sustancias aislantes.



Estructura cristalina

Semiconductores

Si en un cristal de este tipo logramos incorporar átomos de otras sustancias, aún en proporciones muy pequeñas, la conductividad de estos materiales varía drásticamente, convirtiéndolos en semiconductores. Estos materiales tienen un valor de conductividad que los sitúan entre los aisladores y los conductores de corriente.

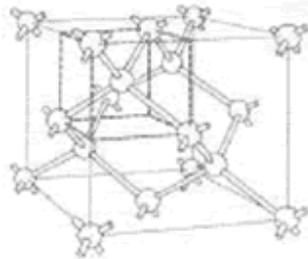
Si la sustancia que se introduce tiene la capacidad de ceder electrones, éstos se convierten en la carga mayoritaria en esa zona (semiconductor tipo N).

Si, por el contrario, los átomos de la sustancia que se introduce son ávidos de electrones, la mayoría de los átomos en esta zona tendrán cargas positivas libres (tipo P). A estas cargas se las denominan "hoyos" ya que el electrón tomado deja un vacío (hoyo) en el átomo que lo cedió. A las sustancias que se usan para alterar la conductividad del cristal puro se las conocen como dopantes o contaminantes.

El proceso de introducción de átomos que ceden o toman electrones, difusión, se ha convertido en un proceso robotizado, en donde los átomos de las sustancias dopantes se introducen usando cañones electrónicos que bombardean los cristales (proceso de implantación).

La industria usa el cristal de silicio (Si) porque su comportamiento a altas temperaturas es superior al del germanio (Ge).

Quizá en el futuro haya células fotovoltaicas hechas con diamantes, ya que se han descubierto varios procesos para fabricarlos en cantidad y a bajo precio, pero no se ha investigado como llevar adelante el proceso de difusión. Este material, carbón, es superior al silicio cuando la temperatura ambiente es elevada.



Juntura N-P

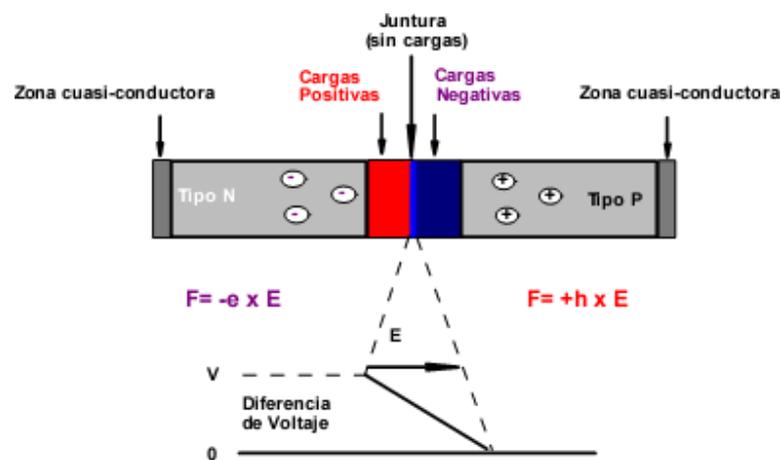
El proceso de difusión es repetitivo, de manera que pueden crearse zonas cuasi-conductoras, aisladoras o semiconductoras con diferentes cargas mayoritarias. Esto permite crear dos zonas cuasi-conductoras en los extremos del diodo, las que sirven para anclar los conectores externos, así como dos zonas adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. La zona entre estas dos regiones se denomina juntura.

Nótese que la letra N se correlaciona con negativo y la letra P con positivo, indicando cual es la carga mayoritaria en cada zona.

La teoría muestra que las cargas mayoritarias (electrones de un lado y hoyos del otro) no permanecen inmóviles, desplazándose hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja. Este desplazamiento de cargas (corrientes de desplazamiento) acumula cargas positivas en la zona N y negativas en la zona P, creando una diferencia de potencial en la juntura, la que establece un campo eléctrico (E).

El proceso migratorio continúa hasta que se ve interrumpido cuando el valor del potencial alcanza lo que se denomina el nivel de Fermi para esa sustancia.

El campo eléctrico E (V/distancia) en esta zona tendrá un valor elevado, ya que la juntura tiene muy pequeño espesor.



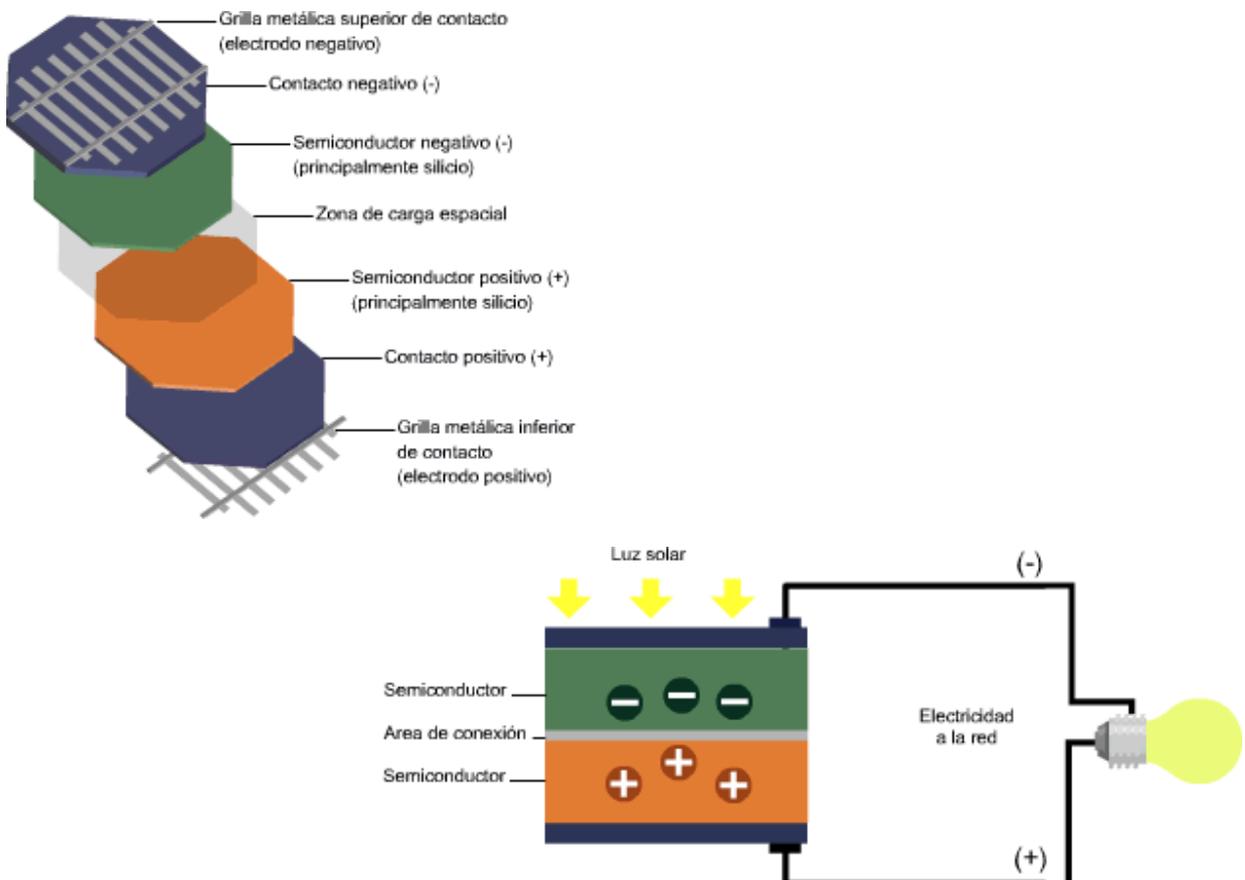
El estado de equilibrio para una juntura N-P

En la expresión " $F = q \times E$ " la dirección de la fuerza depende del signo de la carga, de manera que los electrones y los hoyos se desplazan en sentidos opuestos.

Célula fotovoltaica.

Cuando la luz solar que incide sobre la zona adyacente a la juntura tiene el espectro y nivel de energía requerido por el material (Si) el bombardeo de los fotones crea pares de cargas libres (Figura 3), los que se mueven libremente. Algunos de estos pares se recombinan (neutralizan) antes de migrar a la zona de juntura, pero un elevado porcentaje de electrones del lado P y de hoyos del lado N serán impulsados a través de la juntura. La dirección del campo eléctrico E (Figura 2) hace que estas cargas no puedan volver, alterándose el estado de equilibrio. Las cargas libres están listas para sostener una corriente cuando se conecten el lado N y P a una carga eléctrica externa.

Corte y capas de una célula fotovoltaica



La eficiencia de conversión (energía luminosa en eléctrica) está dada, en forma porcentual, por la expresión:

$$e/n = (\text{Energía eléctrica de salida} / \text{Energía luminosa de entrada}) \times 100$$

Donde n (nu) es el valor porcentual de la eficiencia.

Tipos de células fotovoltaicas

El mercado ofrece numerosos tipos de células FVs. Algunas gozan de más difusión que otras debido a que fueron introducidas hace largo tiempo atrás. Todas las células pertenecen a uno de los grupos mencionados a continuación:

Mono-cristalinas.

Poli-cristalinas.

Amorfas.

El orden dado es el mismo cuando se considera el costo o la eficiencia de conversión.

Las células de estructura mono-cristalina fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear las mismas técnicas usadas previamente en la fabricación de diodos y transistores.

A este tipo de células, conocidas simplemente como cristalinas, se le asigna la abreviatura (cSi). El proceso de fabricación del cristal de silicio requiere un alto consumo de energía eléctrica, lo que eleva el costo de estas células, las que proporcionan los más altos valores de eficiencia.

Recientemente, la compañía Sun-Power ha anunciado la introducción de una célula de cSi, sin rejilla de contacto frontal, la que tendría una eficiencia del 20% (máximo teórico: aprox. 25%).

La versión poli-cristalina (pSi) se obtiene fundiendo silicio de grado industrial, el que se vierte en moldes rectangulares, de sección cuadrada. Como el costo del material y el procesado se simplifican, las células amorfas alcanzan un valor intermedio entre las cristalinas y las amorfas. La eficiencia ha ido creciendo, llegando a ofrecerse (Kyocera) células de pSi con eficiencia de conversión del 15%, un valor reservado pocos años atrás para las células de cSi.

Identificación visual

Las células de cSi se reconocen a simple vista, ya que su superficie es uniforme. Expuestas a la luz actúan como un espejo grisáceo.

Las células policristalinas reflejan la luz en forma no uniforme, pudiéndose observar las imperfecciones en el cristal. Tienen, asimismo, una coloración azulada.



Células policristalinas (izq) y monocristalinas (der)

El otro tipo corresponde a las células amorfas. Como su nombre lo indica estas células no poseen una estructura cristalina. Precisamente esa simplificación en la estructura conduce a un abaratamiento drástico de las mismas.

Es un hecho que cuando más se aleja la técnica de fabricación de una célula fotovoltaica de la estructura cristalina pura, más defectos estructurales aparecerán en la sustancia semiconductor, los que aumentan el aprovechamiento de las cargas libres, disminuyendo la eficiencia de conversión.

Para reducir este efecto, el espesor del material activo en estas células es diez (10) veces menor que el de una célula de cSi. Esto, a su vez, contribuye a bajar el costo.

Para compensar el bajo nivel de conversión los fabricantes adicionan juntas, las que responden a diferentes frecuencias del espectro luminoso. La compañía UNISOLAR apila tres juntas. La primera responde a la zona del azul, la segunda al verde y la tercera al rojo, la de menor energía en el espectro. Los depósitos activos se hacen sobre una lámina continua de acero inoxidable de bajo espesor que permite que las células sean flexibles. Si se requiere una estructura rígida se les agrega un marco metálico. La compañía British Petroleum (BP) ofrece un modelo similar que usa dos capas convertoras.

Pérdidas de energía luminosa

Estas pérdidas ocurren fuera del material semiconductor. Su mención y análisis ayudarán al lector a entender algunos detalles auxiliares contenidos en las hojas de especificaciones.

Consideraremos:

La reflectancia de la superficie colectora.

El "sombreado" de los contactos.

La superficie colectora de una célula de cSi actúa como un espejo, reflejando hasta el 30% de la luz incidente. Para disminuir la reflectancia, la superficie de colección recibe una capa antireflectiva de monóxido de silicio (SiO), la que disminuye la reflectancia a un 10%. Una segunda capa baja la reflectancia a un 4%, pero incrementa el costo. La necesidad de una capa antireflectiva se extiende a todo tipo de células, si bien el tratamiento es diferente.

El contacto ubicado sobre la superficie colectora utiliza una rejilla metálica, de trazos finos, la que contribuye a disminuir el área activa de la célula. A este problema se lo conoce como el "sombreado" de los contactos y no debe confundirse con el sombreado externo sobre el área colectora. Esta reducción, en células modernas, varía entre un 3 y un 5% de la superficie activa. Un fabricante ha anunciado la producción de células sin rejillas frontales (Sun Power).

Tensión, corriente y potencia

El voltaje de juntura depende exclusivamente del material usado (nivel de Fermi para el cristal usado). Para las células de silicio este valor es de alrededor de 0,5 V. Como las cargas son impulsadas por un campo eléctrico fijo, el voltaje de una celda FV es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado positivo (lado P) y otro negativo (lado N), asumiendo que la corriente circula en sentido opuesto al de los electrones.

El valor de la corriente dependerá del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna.

En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la célula FV está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida.

Forma geométrica

El método de fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la célula FV.

Las primeras versiones de cSi eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección circular. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi-cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°.

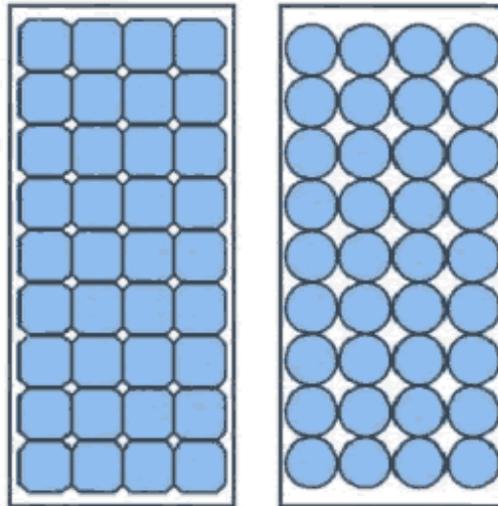
Las células de pSi son cuadradas porque el molde donde se vierte el semiconductor fundido tiene esta forma.

La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel fotovoltaico, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (Figura 4).

La celda FV es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado positivo (lado P) y otro negativo (lado N), asumiendo que la corriente circula en sentido opuesto al de los electrones.

El valor de la corriente dependerá del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna.

En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la célula FV está dada por el producto de los valores instantáneos del voltaje y la corriente de salida.



Eficiencia de empaque

En la naturaleza, la energía luminosa se transforma en eléctrica en el proceso de fotosíntesis. Los humanos conseguimos este mismo resultado utilizando semiconductores.

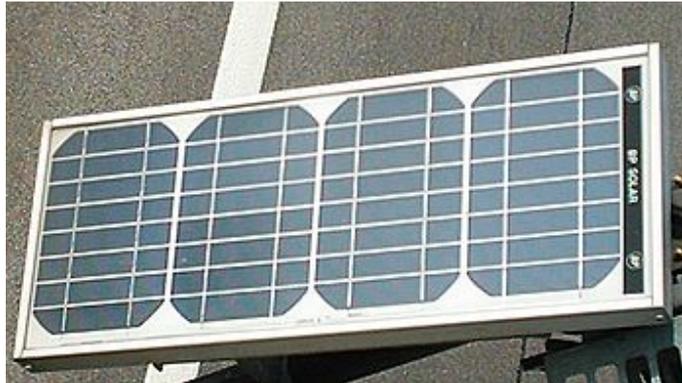
Las células fotovoltaicas, están formadas por muchos diodos semiconductores juntos y son fabricadas usando diferentes materiales y procesos, ya que todavía se continúa perfeccionando el producto buscando la manera de abaratar el costo e incrementar su eficiencia.

Cuando la luz solar pega sobre estos paneles, tiene la energía y el espectro luminoso necesario para alterar el estado de equilibrio de la juntura N-P en estos diodos y se genera un exceso de cargas libres, las que pueden sostener una corriente, si se cierra el circuito externo.

Capítulo 4:

PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Panel fotovoltaico



Paneles solares

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. La potencia máxima que puede suministrar un módulo se denomina potencia pico.

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

Cristalinas

Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular o hexagonal).

Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.

Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 1%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

Contenido

1 Historia

2 Las distintas generaciones de células fotovoltaicas

2.1 Breve introducción sobre la física de los semiconductores

2.2 Las cuatro generaciones de células fotovoltaicas

3 Principio de funcionamiento

3.1 Principios teóricos de funcionamiento. Explicación simplificada

3.2 Foto generación de portadores de carga

3.3 Separación de los portadores de carga

3.4 Generación de corriente en un placa convencional

3.5 La unión p-n

4 Factores de eficiencia de una célula solar

4.1 Punto de máxima potencia

4.2 Eficiencia en la conversión de energía

4.3 Factor de potencia

5 Potencia y costos

5.1 Fabricación de paneles convencionales

6 Usos de las celdas fotovoltaicas solares

6.1 Lista de aplicaciones

6.2 Panel de alta concentración

7 Véase también

8 Referencias

9 Enlaces externos

Historia.

El término fotovoltaico proviene del griego φῶς: phos, que significa "luz" y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta, (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de medidas). El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de sólo un 1%. Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles.

La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958. Este hito generó un

gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

En 1970 la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la antigua URSS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

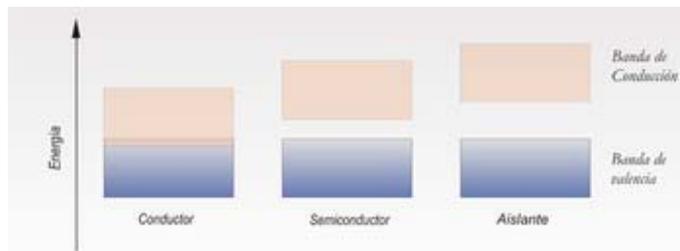
La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition), no se desarrolló hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio. La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AM0 (Air Mass Zero) del 17% fue la norteamericana ASEC (Applied Solar Energy Corporation). La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del GaAs sobre los sustratos de GaAs a GaAs sobre sustratos de germanio.

El dopaje accidental de germanio (Ge) con GaAs como capa amortiguadora creó circuitos de voltaje abiertos, demostrando el potencial del uso de los sustratos de germanio como otras celdas. Una celda de uniones simples de GaAs llegó al 19% de eficiencia AM0 en 1993. ASEC desarrolló la primera celda de doble unión para las naves espaciales usadas en los EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente.

Estas celdas no usan el germanio como segunda celda, pero usan una celda basada en GaAs con diferentes tipos de dopaje. De manera excepcional, las

células de doble unión de GaAs pueden llegar a producir eficiencias AM0 del orden del 22%. Las uniones triples comienzan con eficiencias del orden del 24% en el 2000, 26% en el 2002, 28% en el 2005, y han llegado, de manera corriente al 30% en el 2007. En 2007, dos compañías norteamericanas Emcore Photovoltaics y Spectrolab, producen el 95% de las células solares del 28% de eficiencia.

Las distintas generaciones de células fotovoltaicas



El esquema de la figura corresponde a las diferencias de energía que hay entre las bandas de valencia y las bandas de conducción en tres tipos distintos de materiales. Dicha diferencia condiciona la conductividad eléctrica de los mismos.

Breve introducción sobre la física de los semiconductores

En una muestra de metal, los electrones exteriores de sus átomos, denominados electrones de valencia pueden moverse libremente. Se dice que están deslocalizados en regiones del espacio que ocupan toda la red cristalina, como si de una malla se tratase. En términos energéticos esto quiere decir que los electrones de la última capa del átomo ocupan niveles de energía altos que les permite escaparse del enlace que les une a su átomo.

El conjunto de estos niveles, muy próximos unos de otros, forman parte de la llamada banda de conducción (en adelante BC). Esta banda está formada, además, por niveles de energía vacíos y es, precisamente, la existencia de estos niveles vacíos la que permite que los electrones puedan saltar a ellos cuando se les pone en movimiento, al aplicar un campo eléctrico. Precisamente esta circunstancia permite que los metales sean conductores de la electricidad.

Los demás electrones del átomo, con energías menores, forman la banda de valencia (BV). La distancia entre ambas bandas, en términos de energía, es nula. Ambas bandas se solapan de manera que los electrones de la BV con más energía se encuentran, también, en la BC.

En las sustancias aislantes la BC está completamente vacía porque todos los electrones, incluidos los de la última capa están ligados al átomo, tienen una energía más baja, y por lo tanto se encuentran en la banda de valencia, y además la distancia entre las bandas (se denomina a esta distancia energética banda prohibida, o gap) es bastante grande, con lo que les es muy difícil saltar a la BC. Como la BV está llena, los electrones no pueden moverse y no puede haber corriente eléctrica al aplicar un voltaje entre los extremos del aislante.

En los semiconductores, las bandas de valencia y conducción presentan una situación intermedia entre la que se da en un conductor y la que es normal en un aislante. La BC tiene muy pocos electrones. Esto es debido a que la separación que hay entre la BV y la BC no es nula, pero si pequeña. Así se explica que los semiconductores aumentan su conductividad con la temperatura, pues la energía térmica suministrada es suficiente para que los electrones puedan saltar a la banda de conducción, mientras que los conductores la disminuyen, debido a que las vibraciones de los átomos aumentan y dificultan la movilidad de los electrones.

Lo interesante de los semiconductores es que su pequeña conductividad eléctrica es debida, tanto a la presencia de electrones en la BC, como a que la BV no está totalmente llena.

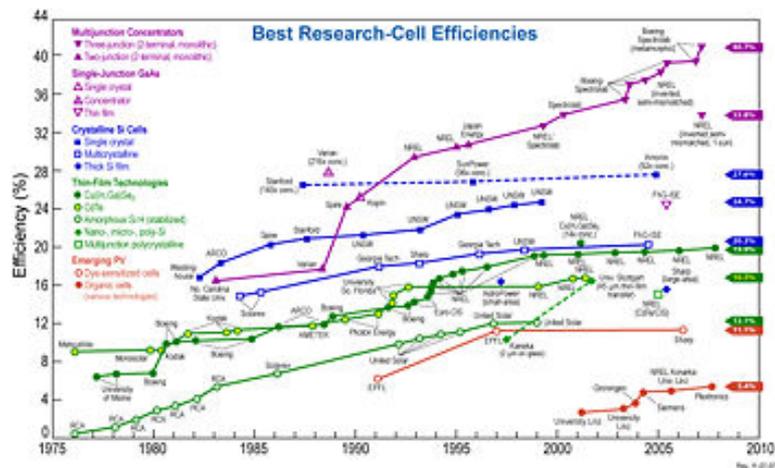
Las cuatro generaciones de células fotovoltaicas



Barra de silicio policristalino

La primera generación de células fotovoltaicas consistían en una gran superficie de cristal simple. Una simple capa con unión diodo p-n, capaz de generar energía eléctrica a partir de fuentes de luz con longitudes de onda similares a las que llegan a la superficie de la Tierra provenientes del Sol. Estas células están fabricadas, usualmente, usando un proceso de difusión con obleas de silicio. Esta primera generación (conocida también como células solares basadas en oblea) son, actualmente, (2007) la tecnología dominante en la producción comercial y constituyen, aproximadamente, el 86% del mercado de células solares terrestres.

La segunda generación de materiales fotovoltaicos se basan en el uso de depósitos epitaxiales muy delgados de semiconductores sobre obleas con concentradores. Hay dos clase de células fotovoltaicas epitaxiales: las espaciales y las terrestres. Las células espaciales, usualmente, tienen eficiencias AM0 (Air Mass Zero) más altas (28-30%), pero tienen un coste por vatio más alto. En las terrestres la película delgada se ha desarrollado usando procesos de bajo coste, pero tienen una eficiencia AM0 (7-9%), más baja, y, por razones evidentes, se cuestionan para aplicaciones espaciales.



Registro en el que se aprecia la evolución de la eficiencia de las células solares a lo largo de los años

Las predicciones antes de la llegada de la tecnología de película delgada apuntaban a una considerable reducción de costos para células solares de película delgada. Reducción que ya se ha producido. Actualmente (2007) hay un gran número de tecnologías de materiales semiconductores bajo investigación para la producción en masa. Se pueden mencionar, entre estos materiales, al silicio amorfo, silicio policristalino, silicio microcristalino, telururo de cadmio y sulfuros y seleniuros de indio. Teóricamente, una ventaja de la tecnología de película delgada es su masa reducida, muy

apropiada para paneles sobre materiales muy ligeros o flexibles. Incluso materiales de origen textil.

La llegada de películas delgadas de Ga y As para aplicaciones espaciales (denominadas células delgadas) con potenciales de eficiencia AM0 por encima del 37% están, actualmente, en estado de desarrollo para aplicaciones de elevada potencia específica. La segunda generación de células solares constituye un pequeño segmento del mercado fotovoltaico terrestre, y aproximadamente el 90% del mercado espacial.

La tercera generación de células fotovoltaicas que se están proponiendo en la actualidad (2007) son muy diferentes de los dispositivos semiconductores de las generaciones anteriores, ya que realmente no presentan la tradicional unión p-n para separar los portadores de carga fotogenerados. Para aplicaciones espaciales, se están estudiando dispositivos de huecos cuánticos (puntos cuánticos, cuerdas cuánticas, etc.) y dispositivos que incorporan nanotubos de carbono, con un potencial de más del 45% de eficiencia AM0. Para aplicaciones terrestres, se encuentran en fase de investigación dispositivos que incluyen células fotoelectroquímicas, células solares de polímeros, células solares de nanocristales y células solares de tintas sensibilizadas.

Una hipotética cuarta generación de células solares consistiría en una tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan, conjuntamente, nanopartículas con polímeros para fabricar una capa simple multiespectral. Posteriormente, varias capas delgadas multiespectrales se podrían apilar para fabricar las células solares multiespectrales definitivas. Células que son más eficientes, y baratas. Basadas en esta idea, y la tecnología multiunión, se han usado en las misiones de Marte que ha llevado a cabo la NASA. La primera capa es la que convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última es una capa para el espectro

infrarrojo. De esta manera se convierte algo del calor en energía aprovechable. El resultado es una excelente célula solar compuesta. La investigación de base para esta generación se está supervisando y dirigiendo por parte de la DARPA^[2] (Defense Advanced Research Projects Agency) para determinar si esta tecnología es viable o no. Entre las compañías que se encuentran trabajando en esta cuarta generación se encuentran Xsunx, Konarka Technologies, Inc., Nanosolar, Dyesol y Nanosys.

Principio de funcionamiento

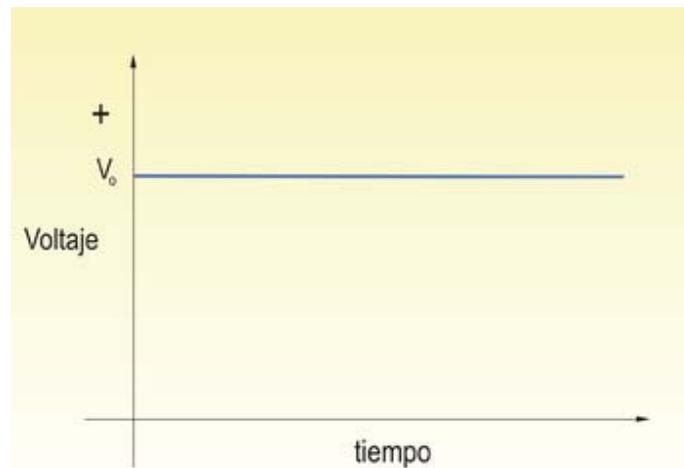
Principios teóricos de funcionamiento. Explicación simplificada [editar]

Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio.

Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados.

Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Se ha de comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.



Representación de la diferencia de potencial, o voltaje de corriente con respecto al tiempo en corriente continua

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua, también denominada DC (acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un sólo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos).

Opcionalmente:

La corriente continua se lleva a un circuito electrónico conversor (inverter) que transforma la corriente continua en corriente alterna, (AC) (tipo de corriente disponible en el suministro eléctrico de cualquier hogar) de 120 o 240 voltios.

La potencia de AC entra en el panel eléctrico de la casa.

La electricidad generada se distribuye, casi siempre, a la línea de distribución de los dispositivos de iluminación de la casa, ya que estos no consumen excesiva energía, y son los adecuados para que funcionen correctamente con la corriente generada por el panel.

La electricidad que no se usa puede ser enrutada y usar en otras instalaciones.

Foto generación de portadores de carga

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

El fotón puede pasar a través del material de silicio sin producir ningún efecto, esto ocurre, generalmente para fotones de baja energía.

Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.

El fotón es absorbido por el silicio, en cuyo caso puede ocurrir:

Generar calor

Producir pares de electrones-huecos, si la energía del fotón incidente es más alta que la mínima necesaria para que los electrones liberados lleguen a la banda de conducción.

Nótese que si un fotón tiene un número entero de veces el salto de energía para que el electrón llegue a la banda de conducción, podría crear más de un único par electrón-hueco. No obstante, este efecto no es significativo, de

manera usual, en las células solares. Este fenómeno, de múltiplos enteros, es explicable mediante la mecánica cuántica y la cuantización de la energía.

Cuando se absorbe un fotón, la energía de este se comunica a un electrón de la red cristalina. Usualmente, este electrón está en la banda de valencia, y está fuertemente vinculado en enlaces covalentes que se forman entre los átomos colindantes. El conjunto total de los enlaces covalentes que forman la red cristalina da lugar a lo que se llama la banda de valencia. Los electrones pertenecientes a esa banda son incapaces de moverse más allá de los confines de la banda, a no ser que se les proporcione energía, y además energía determinada. La energía que el fotón le proporciona es capaz de excitarlo y promocionarlo a la banda de conducción, que está vacía y donde puede moverse con relativa libertad, usando esa banda, para desplazarse, a través del interior del semiconductor.

El enlace covalente del cual formaba parte el electrón, tiene ahora un electrón menos. Esto se conoce como hueco. La presencia de un enlace covalente perdido permite a los electrones vecinos moverse hacia el interior de ese hueco, que producirá un nuevo hueco al desplazarse el electrón de al lado, y de esta manera, y por un efecto de traslaciones sucesivas, un hueco puede desplazarse a través de la red cristalina. Así pues, se puede afirmar que los fotones absorbidos por el semiconductor crean pares móviles de electrones-huecos.

Un fotón solo necesita tener una energía más alta que la necesaria para llegar a los huecos vacíos de la banda de conducción del silicio, y así poder excitar un electrón de la banda de valencia original a dicha banda.

El espectro de frecuencia solar es muy parecido al espectro del cuerpo negro cuando este se calienta a la temperatura de 6000K y, por tanto, gran cantidad de la radiación que llega a la Tierra está compuesta por fotones con

energías más altas que la necesaria para llegar a los huecos de la banda de conducción. Ese excedente de energía que muestran los fotones, y mucho mayor de la necesaria para la promoción de electrones a la banda de conducción, será absorbida por la célula solar y se manifestará en un apreciable calor (dispersado mediante vibraciones de la red, denominadas fonones) en lugar de energía eléctrica utilizable.

Separación de los portadores de carga

Hay dos modos fundamentales para la separación de portadores de carga en un célula solar:

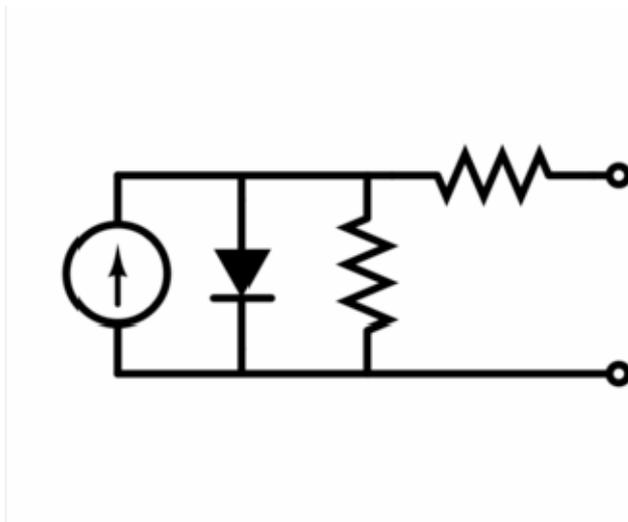
Movimiento de los portadores, impulsados por un campo electrostático establecido a través del dispositivo.

Difusión de los portadores de carga de zonas de alta concentración de portadores a zonas de baja concentración de portadores (siguiendo un gradiente de potencial eléctrico).

En las células de unión p-n, ampliamente usadas en la actualidad, el modo que predomina en la separación de portadores es por la presencia de un campo electrostático. No obstante, en células solares en las que no hay uniones p-n (típicas de la tercera generación de células solares experimentales, como células de película delgada de polímeros o de tinta sensibilizada), el campo eléctrico electrostático parece estar ausente. En este caso, el modo dominante de separación es mediante la vía de la difusión de los portadores de carga.

Generación de corriente en un placa convencional

Esquema eléctrico.



Los módulos fotovoltaicos funcionan, como se ha dejado entrever en el anterior apartado, por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada N. Ambas están separadas por un semiconductor.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, inciden sobre la superficie de la capa P, y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. Si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía que, usualmente y de forma genérica se denomina carga, se iniciará una corriente eléctrica continua.

Este tipo de paneles producen electricidad en corriente continua y aunque su efectividad depende tanto de su orientación hacia el sol como de su inclinación con respecto a la horizontal, se suelen montar instalaciones de paneles con orientación e inclinación fija, por ahorros en mantenimiento. Tanto la inclinación como la orientación, al sur, se fija dependiendo de la latitud y tratando de optimizarla al máximo usando las recomendaciones de la norma ISO correspondiente.

La unión p-n

La célula solar más usual está fabricada en silicio y configurada como un gran área de unión p-n. Una simplificación de este tipo de placas puede considerarse como una capa de silicio de tipo n directamente en contacto con una capa de silicio de tipo p. En la práctica, las uniones p-n de las células solares, no están hechas de la manera anterior, más bien, se elaboran por difusión de un tipo de dopante en una de las caras de una oblea de tipo p, o viceversa.

Si la pieza de silicio de tipo p es ubicada en íntimo contacto con una pieza de silicio de tipo n, tiene lugar la difusión de electrones de la región con altas concentraciones de electrones (la cara de tipo n de la unión) hacia la región de bajas concentraciones de electrones (cara tipo p de la unión).

Cuando los electrones se difunden a través de la unión p-n, se recombinan con los huecos de la cara de tipo p. Sin embargo, la difusión de los portadores no continua indefinidamente. Esta separación de cargas, que la propia difusión crea, genera un campo eléctrico provocado por el desequilibrio de las cargas parando, inmediatamente, el flujo posterior de más cargas a través de la unión.

El campo eléctrico establecido a través de la creación de la unión p-n crea un diodo que permite el flujo de corriente en un solo sentido a través de dicha unión. Los electrones pueden pasar del lado de tipo n hacia el interior del lado p, y los huecos pueden pasar del lado de tipo p hacia el lado de tipo n. Esta región donde los electrones se han difundido en la unión se llama región de agotamiento porque no contiene nada más que algunos portadores de carga móviles. Es también conocida como la región de espacio de cargas.

Factores de eficiencia de una célula solar

Punto de máxima potencia

Una célula solar puede operar en un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto puede lograrse variando la resistencia de la carga, en el circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la irradiación de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente (y de ahí la potencia transferida), y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, y en tiempo real, la carga para que se transfiera, siempre, la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día.

Eficiencia en la conversión de energía

La eficiencia de una célula solar (η , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

La STC especifica una temperatura de 25 °C y una irradiancia de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal.

Esta condición representa, aproximadamente, la posición del sol de mediodía en los equinoccios de primavera y otoño en los estados continentales de los EEUU con una superficie orientada directamente al sol. De esta manera, bajo estas condiciones una célula solar típica de 100 cm^2 , y de una eficiencia del 12%, aproximadamente, se espera que pueda llegar a producir una potencia de 1,2 vatios.

Factor de potencia

Otro término para definir la eficacia de una célula solar es el factor de potencia (FF), que se define como la relación entre el máximo punto de potencia dividido entre el voltaje en circuito abierto (V_{oc}) y la corriente en

Cortocircuito I_{sc} :

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

Potencia y costos

En un día soleado, el Sol irradia alrededor de 1 kW/m² a la superficie de la Tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica entre el 12%-25%, esto supondría una producción aproximada de entre 120-250 W/m² en función de la eficiencia del panel fotovoltaico y las horas de irradiación solar.

Por otra parte, están produciéndose grandes avances en la tecnología fotovoltaica y ya existen paneles experimentales con rendimientos superiores al 40%.

A latitudes medias y septentrionales, teniendo en cuenta el ciclo diurno y las condiciones atmosféricas, llegan a la superficie terrestre 100 W/m² de media en invierno y 250 W/m² en verano. Con una eficiencia de conversión de, aproximadamente, 12%, se puede esperar obtener 12 y 30 vatios por metro cuadrado de celda fotovoltaica en invierno y verano, respectivamente.

Con los costos actuales de energía eléctrica, 0.08 \$/kWh (USD), un metro cuadrado generará hasta 0.06 \$/día, y un km² generará hasta 30 MW, o 50,000 \$/(km².día). Para comparar, el Sahara despoblado se extiende por 9 millones de km², con menos nubes y un mejor ángulo solar, pudiendo generar hasta 50 MW/km², o 450 TW (teravatio) en total. El consumo de energía actual de la población terrestre está cercano a 12-13 TW en cualquier momento dado (incluyendo derivados del petróleo, carbón, energía nuclear e hidroeléctrica).

El verdadero problema con los paneles fotovoltaicos es el costo de la inversión, como se puede ver en el artículo sobre la ganancia neta de energía, requiriendo hasta más de 10 años (de una vida útil de 40 años o más) para recuperar el costo inicial y generar ganancias. El precio actual de los módulos fotovoltaicos, oscila entre los 3.5 y los 5.0 \$/W (USD), de capacidad de producción, en función de la cantidad que se compre y la procedencia. Los más baratos vienen de China y se debe ser muy prudente con la calidad y garantías de los mismos. El precio de 8 \$/W, aunque algo barato, es el precio completo de una instalación fija: módulos, estructuras de soporte, onduladores, protecciones, sistemas de medición, costos del proyecto, instalación y permisos administrativos. Un precio normal está entre 8.6 y 9.0 \$/W. Si la instalación es con seguidores de sol de dos ejes, el costo puede rondar los 10.60 \$/W, aunque la producción eléctrica obtenida es del orden de un 30% superior que en una fija.

Fabricación de paneles convencionales

Generalmente se elaboran de silicio, el elemento que es el principal componente de la sílice, el material de la arena.

Actualmente, la producción mundial de células fotovoltaicas se concentra en Japón (48%), Europa (27%) y EEUU (11%). El consumo de silicio en 2004 destinado a aplicaciones fotovoltaicas ascendió a 13.000 toneladas.

En España las principales empresas instaladoras de paneles fotovoltaicos son T-Solar, Fotowatio, Renovalia y Solaria.

Usos de las celdas fotovoltaicas solares

Deben su aparición a la industria aeroespacial, y se han convertido en el medio más fiable de suministrar energía eléctrica a un satélite o a una sonda en las órbitas interiores del Sistema Solar. Esto es gracias a la mayor irradiación solar sin el impedimento de la atmósfera y a su bajo peso.

En tierra, son la fuente solar más popular en instalaciones pequeñas o en edificios, frente al método de campos de espejos heliostatos empleados en las grandes centrales solares.

Junto con una pila auxiliar, se usa habitualmente en ciertas aplicaciones de poco consumo como boyas o aparatos en territorios remotos, o simplemente cuando la conexión a una central de energía sea impracticable. Su utilización a gran escala se ve restringida por su alto coste, tanto de compra como de instalación. Hasta ahora, los paneles fotovoltaicos ocupan una pequeña porción de la producción mundial de energía.

Experimentalmente han sido usados para dar energía a automóviles, por ejemplo en el World solar challenge a través de Australia. Muchos yates y vehículos terrestres los usan para cargar sus baterías lejos de la red eléctrica. Programas de incentivo a gran escala, ofreciendo recompensas financieras como la posibilidad de vender el exceso de electricidad a la red pública, han acelerado en gran medida el avance de las instalaciones de

celdas fotovoltaicas solares en España, Alemania, Japón, Estados Unidos y otros países.

La experiencia en producción e instalación, los avances tecnológicos que aumentan la eficiencia de las celdas solares, las economías de escala en un mercado que crece un 40% anualmente, unido a las subidas en los precios de los combustibles fósiles, hacen que las se empiece a contemplar la fotovoltaica para producción eléctrica de base, en centrales conectadas a red.

Actualmente muchos gobiernos del mundo (Alemania, Japón, EEUU, España, Grecia, Italia, Francia, ...) están subvencionando las instalaciones con un objetivo estratégico de diversificación y aumento de las posibilidades tecnológicas preparadas para crear electricidad de forma masiva. La gran mayoría de las instalaciones conectadas a red están motivadas por primas muy elevadas a la producción, pagándose al productor 5 o 6 veces el coste de la energía eléctrica generada por vías tradicionales, o mediante incentivos fiscales, lo que ha generado críticas desde grupos favorables a un mercado libre de generación eléctrica.



Paneles solares formados con módulos fotovoltaicos, Expo 2005 Aichi Japan, Japón.

Lista de aplicaciones

Estaciones repetidoras de microondas y de radio.

Electrificación de pueblos en áreas remotas (Electrificación rural).

Instalaciones médicas en áreas rurales.

Corriente eléctrica para casas de campo.

Sistemas de comunicaciones de emergencia.

Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua.

Faros, boyas y balizas de navegación marítima.

Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado.

Balizamiento para protección aeronáutica.

Sistemas de protección catódica.

Sistemas de desalinización.

Vehículos de recreo.

Señalización ferroviaria.

Sistemas para cargar los acumuladores de barcos.

Fuente de energía para naves espaciales.

Postes SOS (Teléfonos de emergencia de carretera).

Parquímetros.

Recarga de Scooters Eléctricos

Panel de alta concentración

Fruto de un convenio de colaboración firmado por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), a través de su Instituto de Energía Solar, la empresa Guascor Fotón^[4] y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, organismo del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio español, se ha realizado la primera instalación solar de alta concentración de silicio en explotación comercial de Europa.

Se trata de una instalación solar fotovoltaica que, frente a una convencional, utiliza una extraordinaria reducción de silicio y convierte la luz solar en energía eléctrica con muy alta eficiencia. Esta tecnología surge como forma de aprovechar al máximo el potencial del recurso solar y evitar por otra parte la dependencia del silicio, cada vez más escaso y con un precio cada vez mayor debido al aumento de la demanda por parte de la industria solar.

Desde los años 70 se han realizado investigaciones sobre la tecnología de concentración fotovoltaica de manera que ha mejorado su eficiencia hasta conseguir superar a la fotovoltaica tradicional. No fue hasta los años 2006-2007 que las tecnologías de concentración pasaron de estar reducida al ámbito de la investigación y empezar a conseguir los primeros desarrollos comerciales. En 2008 el ISFOC (Instituto de Sistemas Solares Fotovoltaicos de Concentración) puso en marcha en España una de las mayores de este tipo a nivel mundial, conectando a la red 3MW de potencia. En este proyecto participaron varias empresas que utilizaban diversas tecnologías de concentración fotovoltaica (CPV).

Algunas de estas tecnologías utilizan lentes para aumentar la potencia del sol que llega a la célula. Otras concentran con un sistema de espejos la energía

del sol en células de alta eficiencia para obtener un rendimiento máximo de energía. Algunas empresas como SolFocus ya han empezado a comercializar la tecnología CPV a gran escala y están desarrollando proyectos en Europa y EE.UU. que superan los 10MW en 2009.

La tecnología de concentración fotovoltaica se dibuja como una de las opciones más eficientes en producción energética a menor coste para zonas de alta radiación solar como son los países mediterráneos, las zonas del sur de EE.UU, México, Australia...

Paneles solares, colectores solares y paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar, el componente principal de los paneles solares son las células de silicio, las células de silicio es el componente base de los paneles solares.

Haciendo una gran división podemos decir que tenemos dos clases distintas de paneles solares dependiendo del uso que le queramos dar principalmente, los paneles solares para el calentamiento del agua generalmente para uso domestico o colectores solares, estos paneles solares son los que podemos ver principalmente en los tejados de nuestras casas y edificios, a través de un circuito cerrado calientan agua que es almacenada en un deposito para su posterior uso domestico. A partir de Enero de 2007 la instalación de estos colectores solares será de uso obligatorio en España para todos los edificios de nueva construcción, esto dará un impulso de una magnitud enorme al mercado de los paneles solares en España

La otra parte de la división lo tenemos en los paneles solares fotovoltaicos estos paneles están destinado a la producción de energía solar a partir de las células de silicio, su uso principal se da para instalaciones aisladas a la red,

en las cuales la llegada de la red eléctrica general se hace complicada o imposible, un uso que se está haciendo de forma muy masiva de los paneles solares son las plantas solares dedicados a la producción eléctrica de forma fotovoltaica.

España ha tenido a lo largo del 2006 un serio desabastecimiento de paneles solares a pesar de ser uno de los principales fabricantes de paneles solares a nivel mundial, esto es debido a que el silicio a pesar de ser un componente muy común dentro de la naturaleza tiene que sufrir un proceso complejo para poder fabricarse con el las células solares fotovoltaicas capaces de convertir la radiación solar en energía eléctrica, este proceso en la actualidad solo se hacen en 5 fabricas en todo el panorama mundial y ninguna de ellas radica en España, es este motivo por el cual muchas organizaciones ecologistas exigen al gobierno español la construcción de una fabrica de células solares capaz de abastecer al mercado español, por otro lado la fuerte demanda de algunos países que están apostando de manera seria y fuerte por las energías limpias como es el caso de Alemania, hace se produzcan serios desabastecimientos de los paneles solares.

El principal productor de paneles solares a nivel mundial es Japón en España podríamos destacar a la empresa Isofoton como principal fabricante de paneles solares en España.

Paneles solares híbridos

Hasta ahora conocíamos dos tipos de paneles solares para el aprovechamiento de la energía solar, los módulos fotovoltaicos para producir electricidad y los colectores o paneles térmicos para agua caliente. Ambos sistemas son totalmente independientes y diferentes.

Es un hecho cierto que los paneles fotovoltaicos son enemigos del calor, como ya habréis visto en las hojas de características de los fabricantes, la potencia del panel esta especificada en base a unas condiciones de prueba estándar, (Irradiancia 100 mW/cm², temperatura de la célula 25°C, masa de aire de 1,5, etc.). En la vida real, la temperatura de la célula es muchísimo más elevada, con lo cual la eficiencia de las células cae al aumentar la temperatura, reduciendo la potencia del panel aproximadamente un 15%. (TK=-0.44% °C)

Lo mencionado anteriormente a modo de introducción es algo que casi todos conocemos, pero ¿existe otra alternativa? La respuesta es sí. En la Oficina Española de Patentes y Marcas está registrado un invento llamado "Panel Solar Híbrido", dicho invento es un panel que integra la energía solar fotovoltaica y Térmica en un único Panel Solar.

En el Panel Solar Híbrido, utilizado en edificaciones, el calor existente en las células fotovoltaicas, que era un problema, es transferido a un absorbedor de temperatura ntegrado en su parte posterior, el serpentín o similar del absorbedor es recorrido por un fluido calor-portante. Dicho fluido llega al intercambiador de calor del acumulador de agua caliente, donde cede su energía solar térmica para ser usada en A.C.S. u otros usos. Con este sistema conseguimos aumentar la producción de electricidad un 15% y reducir el espacio necesario para instalar ambos sistemas, ya que obtenemos una cogeneración, mediante la cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía solar térmica útil

El Panel Solar Híbrido usado en Huertas Solares funciona de una forma similar, pero se sustituye el acumulador de agua por un sistema de refrigeración basado en radiadores que enfrían el fluido calor-portante por convección de aire. De esta forma el Panel Solar Híbrido se usa como un

Panel Solar Fotovoltaico Refrigerado, concentrando su función en la producción de electricidad.

La vida útil de la instalación es más prolongada debido a que la temperatura de trabajo de los Paneles es más baja.

Introducción a los Paneles solares híbridos

El presente proyecto de investigación persigue dos objetivos fundamentales relacionados con la mejora de la eficiencia energética de los paneles solares fotovoltaicos. Por una parte incrementar la eficiencia fotovoltaica y al mismo tiempo y en el mismo espacio obtener A.C.S.

El sistema desarrollado consta principalmente de un absorbedor formado por una pletina de cobre, aluminio o cualquier otro material con buena conductividad térmica sobre la cual se ha soldado un serpentín o sistema similar, para formar todo ello un absorbedor de calor refrigerado por un líquido calor-portante. Este absorbedor estará adosado a la parte posterior de un panel fotovoltaico, con el fin de disminuir la temperatura en sus células, en los diodos de protección y bypass que forman el panel. Con todo ello se pretende conseguir un incremento notable en la eficiencia de los paneles solares, que se prevé sea superior al 15% sobre la potencia de pico suministrada por el panel F.V. Este incremento de potencia es muy significativo, ya que la eficiencia conseguida en los paneles que se comercializan actualmente está situada entre el 15% y el 25%.

Este sistema desarrollado refrigera las células solares incrementando notablemente la eficiencia en la producción de energía eléctrica. El calor

absorbido del panel es conducido a un acumulador de agua caliente, para utilizarlo en un sistema de A.C.S., calefacción, etc....

De todos es conocida la estrecha relación que existe entre la temperatura y cualquier sistema basado en la electricidad; pero, ¿realmente le damos la importancia que tiene? Los Transformadores de alta tensión indican en su placa de características que se ha de reducir la potencia en un tanto % a partir de cierta temperatura, los motores eléctricos disminuyen su eficiencia cuando se calientan, las baterías para almacenamiento de electricidad, las células fotovoltaicas, los alternadores de las grandes centrales productoras de electricidad; todo lo que tiene relación con la electricidad está sometido a los efectos negativos del incremento de la temperatura. En valores porcentuales la pérdida de potencia de un sistema eléctrico es algo considerable, pero si adoptamos una visión más amplia y lo vemos a nivel global, podremos intuir la pérdida de muchos gigavatios por efectos de la temperatura.

Lo mencionado anteriormente, es algo que la física conoce, pero en tiempos de abundancia energética, se desprecia. Entramos en nuevos tiempos en los cuales el problema energético se agudizará. Si somos responsables, si nos preocupa el futuro del planeta, de nuestros hijos y sus descendientes; deberíamos empezar a pensar en como exprimir cada vatio de potencia en cualquier sistema productor o consumidor de energía, mejorando la eficiencia de los mismos y tomando una actitud responsable de su consumo. La mayor parte de estos problemas se solventaran cuando lleguen los superconductores a temperatura ambiente, pero mientras esto no acontezca se seguirá investigando.

Planteamiento del problema:

El rendimiento de las células fotovoltaicas que se comercializan en la actualidad está comprendido entre un 15% y un 25%, es decir, que sólo una pequeña parte de la energía lumínica se aprovecha realmente en forma de energía eléctrica. Este rendimiento es menor cuanto más alta es la temperatura.

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 solar disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un panel al menos 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 otra parte, actualmente para instalar energía solar fotovoltaica y térmica, requiere dos instalaciones completamente independientes en el lugar de captación que habitualmente será en la cubierta de los edificios; esto implica tener que disponer de más superficie para realizar ambas instalaciones. El Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía calcula que por cada vivienda (cuatro personas, 100 m²) hacen falta uno o dos metros cuadrados de paneles.

El impacto medioambiental y visual, aunque pequeño, también es un dato a tener en cuenta, ya que si vemos una instalación aislada, no es significativo, pero si lo vemos desde un punto de vista más generalizado, podría recordarnos los bosques de antenas que veíamos en los tejados no hace mucho tiempo, hasta la entrada en vigor de la ley sobre las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones, (I.C.T.).

El presente proyecto pretende aportar alguna solución viable a los problemas planteados.

Justificación

Después de haber visto la relación directa entre temperatura y eficiencia energética de los paneles solares se ha indagado en Internet, libros, revistas especializadas, bases de datos en oficinas de patentes, y se ha comentado el problema con profesionales del sector, no encontrando ninguna solución técnica que solvete el problema de la temperatura en los paneles fotovoltaicos, que por otra parte es inherente a la propia energía solar.

Si bien es cierto que en las instalaciones fotovoltaicas es recomendable situar los paneles en lugares bien ventilados, para paliar los efectos negativos de la temperatura sobre las células fotovoltaicas, también es cierto que se está desaprovechando la energía en forma de calor que existe en las mismas.

Por otra parte la idea de integrar energía solar fotovoltaica y térmica en un mismo panel es un concepto novedoso, y que merece la pena investigar, ya que conllevaría las siguientes ventajas:

Menos superficie necesaria para instalar energía fotovoltaica y térmica.

Menos residuos alcanzado el fin de la vida útil de la instalación.

Incremento de al menos un 15% en la producción de electricidad.

Obtención de agua caliente para usos sanitarios, calefacción, etc....

Prolongación de la vida útil de los paneles solares.

Reducción de la radiación solar reflejada.

Paneles solares híbridos, objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

Aumentar el rendimiento de un panel solar fotovoltaico en un 15%

Obtener A.C.S. a partir del calor absorbido del panel fotovoltaico.

Reducir la superficie necesaria para obtener electricidad y A.C.S simultáneamente.

Aprovechar al máximo la radiación solar por metro cuadrado.

Incrementar la vida útil de las instalaciones fotovoltaicas

(a) El aumento de la eficiencia se deberá a la reducción del factor de degradación por efectos de la temperatura sobre las células fotovoltaicas.

(Se mejora la zona de transición para la curva I-V)

(b) El calor extraído de las células será transferido al absorbedor que será el generador A.C.S.

(c) Al ser el mismo captador se reducirá a la mitad la superficie necesaria.

(d) Se producirá una cogeneración aprovechando la energía en forma de electricidad y calor.

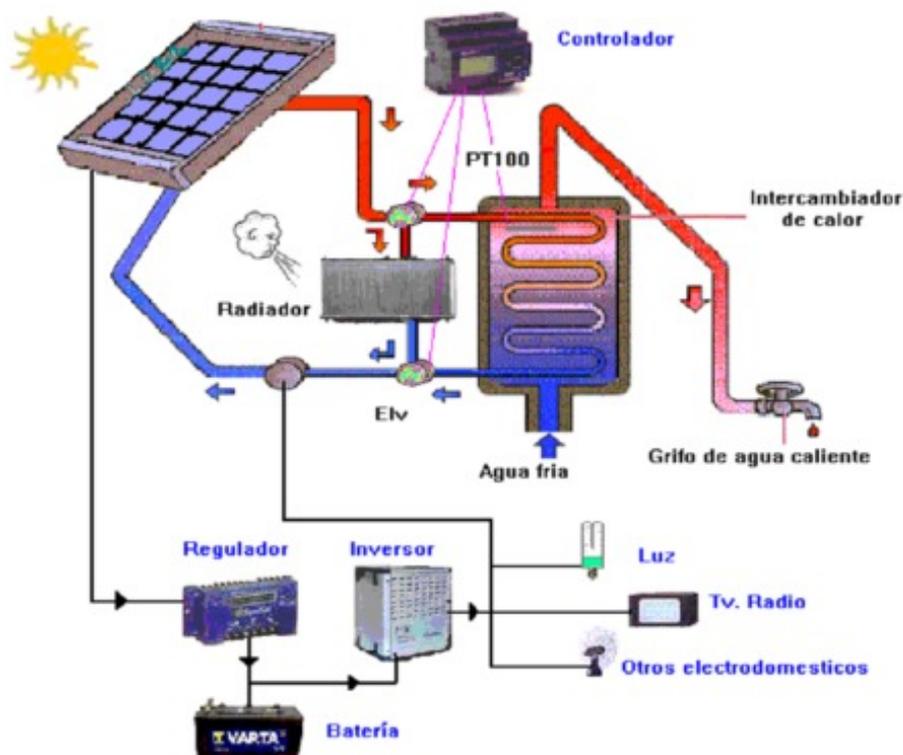
(e) Los semiconductores que forman las células operarán a temperaturas más bajas y por lo tanto más idóneas, debido a las propiedades intrínsecas del silicio.

Sistema de hipótesis.

En este apartado se mostrarán algunas posibles variantes al modelo estudiado.

Sería ideal fabricar paneles fotovoltaicos con el absorbedor integrado,

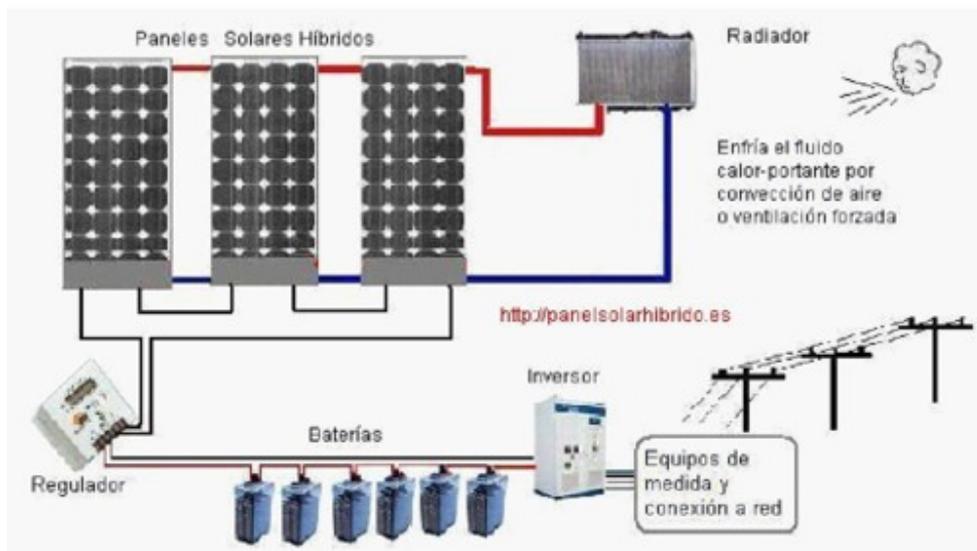
montando directamente las células fotovoltaicas, sobre la superficie del propio absorbedor, disminuyendo de esta forma las pérdidas en la transferencia de calor al mismo. También sería ideal montar dichos paneles en una carcasa, similar al utilizado actualmente para la energía solar térmica, con esto se conseguiría un incremento de la temperatura en el panel por el efecto invernadero generado en su interior; obteniendo más temperatura en el líquido refrigerante, y por lo tanto mayor eficiencia en el sistema térmico. Un automatismo de bajo coste basado en microcontroladores programables (PIC), supervisaría constantemente la temperatura de las células, controlando la circulación de líquido calorportante a través del intercambiador situado en el acumulador de calor o desviándolo al radiador refrigerado por aire, cuando la temperatura en el acumulador se igualase con la existente en las células.



Huertas solares

El Panel Solar Híbrido sería de gran utilidad en Huertas Solares, donde todos los absorbedores de los paneles fotovoltaicos estarían conectados térmicamente en paralelo mediante tuberías. Dichas tuberías transportan el fluido calor-portante que recorre todo el circuito y cederá el calor absorbido en un radiador refrigerado por convección de aire o ventilación forzada. El radiador o radiadores pueden estar instalados horizontalmente con un tubo a modo de chimenea, con sección adecuada con el fin de reforzar la convección de aire. También puede ser interesante una combinación de posición horizontal y vertical.

Una Huerta con una producción de 900 KW/h más un 15% de mejora en eficiencia (135 Kw/h.), el total sería 1.035 KW/h.



Si la Huerta Solar está en las inmediaciones de un río, lago, o cualquier otra masa de agua fría, sería muy interesante bombear agua en el circuito de refrigeración, eliminando el radiador, consiguiendo una temperatura media

en las células por debajo de 25°C, con lo cual el aumento de eficiencia sería notablemente mayor.

Un sistema más económico sería adosarle un radiador de aluminio con aletas de refrigeración al Panel FV, el propio aire circundante disminuiría la temperatura en las células. Como en el caso anterior, no se aprovecharía la potencia térmica.



Limitaciones

Investigar todas las variantes propuestas en el sistema de hipótesis, es lo recomendable, y aunque la lógica lleva a pensar que son factibles, el autor de este proyecto ha decidido probar experimentalmente el propuesto en la figura N° 4, y el descrito en el apartado N° 3.3 "Construcción del prototipo". Las principales razones para ello son la falta de recursos técnicos y financieros para llevar a cabo una investigación seria de todos las variantes posibles.

El objetivo que persigue el incremento de la vida útil de las instalaciones fotovoltaicas, no se podrá constatar, ya que serían necesarios varios años para poder evaluar este punto. No obstante, todos sabemos que los

semiconductores tienen una temperatura de trabajo idónea, que suele estar entorno a los 25°C. El hecho de rebajar la temperatura de trabajo de las células, nos hace creer que este objetivo sería alcanzado, debido a las características intrínsecas de los materiales semiconductores. Para la medición de la radiación solar se ha pedido un sensor LI-200 de la marca LI-COR, procedente de Nebraska, USA. No habiéndose recibido a tiempo para realizar la medida de radiación para efectuar las pruebas del experimento. No obstante las pruebas fueron realizadas en el mes de julio, con el cielo completamente despejado, buena visibilidad y a mediodía, por lo que se prevé que los valores de dicha radiación deben estar en torno a los valores supuestos.

Viabilidad

Dado que la eficiencia energética de los paneles solares fotovoltaicos se puede considerar en un 19%, como media; el autor de este proyecto cree muy viable el desarrollo de este tipo de tecnología, ya que al 19% de eficiencia existente habría que sumar un mínimo de un 15% de ganancia en producción eléctrica, que se debería principalmente como consecuencia de reducir la degradación por efectos de la temperatura en las células. A todo ello habría que sumar también al menos un 30% de energía captada de forma térmica, con lo cual el resultante obtenido es muy superior al conseguido actualmente. Los costes de producción serían inferiores, ya que en un mismo componente estarían situados todos los captadores.

A la hora de realizar las instalaciones serían necesarios menos soportes y puntos de anclaje.

Paneles solares híbridos, la teoría

Semiconductores

Un semiconductor es un componente que no es directamente un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante. En un conductor la corriente es debida al movimiento de las cargas negativas (electrones). En los semiconductores se producen corrientes producidas tanto por el movimiento de electrones como de las cargas positivas (huecos). Los semiconductores son aquellos elementos pertenecientes al grupo IV de la Tabla Periódica (Silicio, Germanio, etc.). Generalmente a estos se le introducen átomos de otros elementos, denominados impurezas, de forma que la corriente se deba primordialmente a los electrones o a los huecos, dependiendo de la impureza introducida. Otra característica que los diferencia se refiere a su resistividad, estando ésta comprendida entre la de los metales y los aislantes

Efecto de la temperatura sobre los materiales.

La resistencia de un conductor metálico aumenta al aumentar la temperatura. Dicho aumento depende de la elevación de la temperatura y del coeficiente térmico de resistividad alfa (α), el cual se define como el cambio de resistividad por grado centígrado de variación. Los semiconductores tienen un coeficiente de temperatura negativo, mientras que muchos metales se tornan superconductores a pocos grados por encima del cero absoluto.

La temperatura de trabajo (T_t) que alcanza un panel fotovoltaico obedece una relación lineal dada por la expresión:

$$T_t = T_a + K \cdot R$$

T_t : Temperatura de trabajo

T_a : Máxima temperatura ambiente

R: radiación solar en mW/cm^2 (varía entre 80 y 100 mW/cm^2).

K: coeficiente que varía entre 0,2 y 0,4 $^{\circ}C.cm^2/mW$ dependiendo de la velocidad promedio del viento.

Cuando ésta es muy baja, o inexistente, el enfriamiento del panel solar es pobre o nulo y K toma valores cercanos o iguales al máximo (0,4). Si la velocidad del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de K será el mínimo (0,2).

$K*R$: Representa el incremento de temperatura que sufre panel sobre la máxima temperatura ambiente.

Para calcular la Potencia de salida a la temperatura de trabajo (P_t) que alcanza un panel fotovoltaico, el primer paso es calcular la temperatura de trabajo y luego se determina el incremento en la temperatura respecto a la de prueba (25 $^{\circ}C$).

La expresión aproximada para el cálculo es:

$$P_t = P_p \delta * D_t$$

P_t : Potencia de salida a la temperatura de trabajo.

P_p : Potencia pico del panel (25 $^{\circ}C$).

δ : Coeficiente de degradación (0,6 % / $^{\circ}C$)

D_t : Incremento de temperatura sobre los 25 $^{\circ}C$ ($T_t - 25^{\circ}C$)

La última evaluación es la más interesante por dos motivos: fue llevada a cabo después de un largo tiempo de uso de los paneles solares fotovoltaicos puestos a prueba y la temperatura de trabajo es la de verano. Ellos evaluaron nueve paneles con tres tipos diferentes de células: cristalina, policristalina y amorfa. Los resultados muestran que la mayoría de los paneles, independientemente del tipo de célula, ofrecen un coeficiente de degradación que oscila entre 0,7 y 0,86%.

Tecnología Fotovoltaica

La célula fotovoltaica.

El fenómeno fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el científico francés, Henri Becquerel. Las primeras celdas solares de selenio fueron desarrolladas en 1880, sin embargo, no fue sino hasta 1950 que se desarrollaron las celdas de silicio monocristalino que actualmente dominan la industria fotovoltaica. Las primeras celdas de este tipo tenían una eficiencia de conversión de solo 1%; ya para 1954 se había logrado incrementar la eficiencia al 6% en condiciones normales de operación, mientras en el laboratorio se lograron eficiencias cercanas a 15%. Desde entonces hasta nuestros días la eficiencia en las células no ha mejorado notablemente.

La producción eléctrica está basada en el fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes en la naturaleza, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada de ellas

una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente de energía la radiación luminosa. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula).

El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 mm².

Los materiales para la fabricación de los paneles solares son:

- Silicio Monocristalino: de rendimiento energético hasta 15 - 17%
- Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético hasta 12 - 14 %
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %;
- Otros materiales: Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio.

Actualmente, el material más utilizado es el silicio monocristalino que tiene prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

Paneles solares híbridos, diseño

Datos de partida:

Se utilizarán dos paneles solares gemelos con las mismas características eléctricas y mecánicas, uno es el utilizado en el prototipo del proyecto y otro

es para poder observar y valorar las diferencias entre ambos en distintas condiciones, (refrigerado o no). Dimensiones del panel: 300x220mm. Potencia de Panel: 6w. Tensión Voc: 22 vdc. Corriente Isc: 500 mA.

Temperatura ambiente: 25°C.

Radiación solar: $\sim 97\text{mW/cm}^2$

Velocidad del viento: 0 m/s

Diámetro del tubo del serpentín absorbedor: 6 mm.

Medidas de la pletina del absorbedor: 285x210x5 mm.

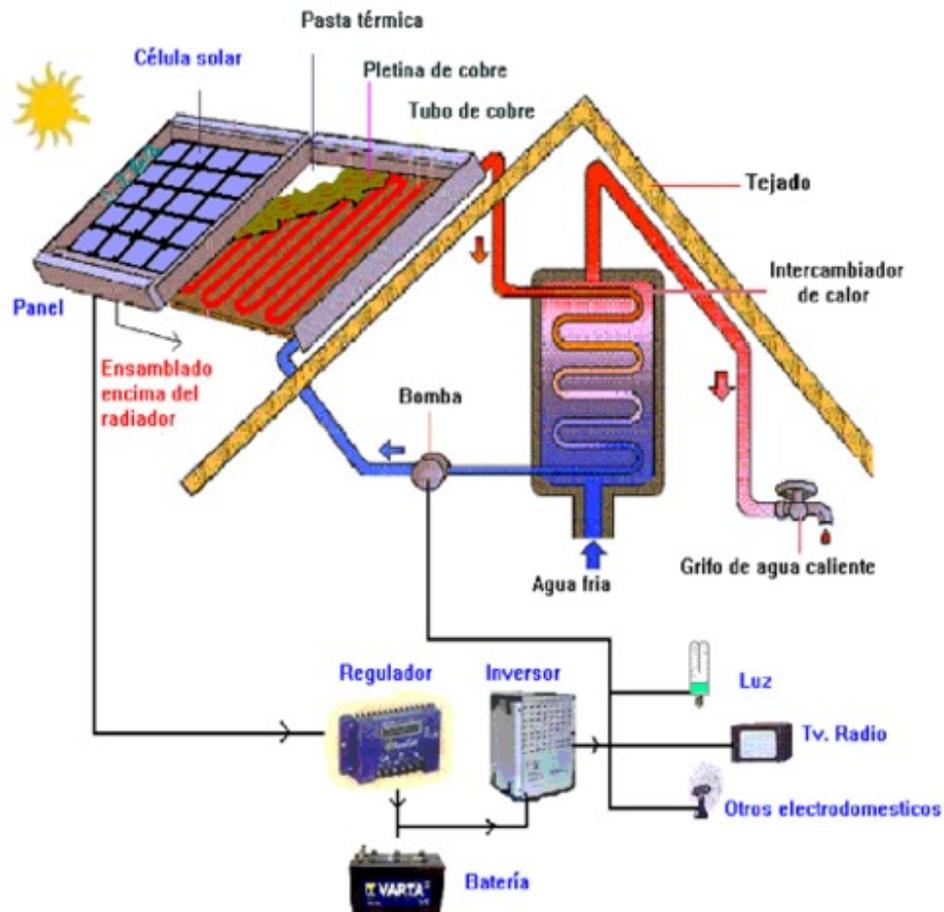
Descripción del funcionamiento:

La instalación en el interior del edificio es similar a las que se pueden encontrar actualmente en el mercado. La única variante reside en el captador, que en este caso es el mismo para el sistema de paneles fotovoltaicos y para el sistema térmico. El absorbedor está integrado en el propio panel fotovoltaico, recorrido por un líquido calor-portante que cede su energía en el intercambiador de calor situado en el interior de un tanque acumulador. Este acumulador está alimentado por agua fría, y de él se extrae agua caliente para su uso sanitario, calefacción, etc.

El absorbedor disminuirá notablemente la temperatura en las células del panel, incrementando su eficiencia.

La electricidad producida en el panel es conducida a través de conductores de sección apropiada a un regulador de tensión, cuya misión, entre otras, es controlar la carga de las baterías dentro de los límites adecuados. De las baterías se obtiene la potencia para los distintos elementos consumidores de la instalación, si esta está diseñada para trabajar a bajo voltaje en corriente

continua. Si los aparatos consumidores y la instalación están diseñados para trabajar en corriente alterna, será necesario intercalar un inversor DC-AC.



Esquema general teórico

Nota: para simplificar el dibujo se han omitido los materiales aislantes de los lados y la cara posterior del panel solar. La bomba de circulación y el inversor podrían omitirse, dependiendo del tipo de instalación requerido.

Construcción del prototipo

Como se puede apreciar en la figura 5, en la cara posterior del panel fotovoltaico se ha instalado un absorbedor de calor, formado por una pletina de cobre a la cual se le ha soldado un serpentín formado por tubería de cobre.



Este conjunto se ha impregnado de silicona para semiconductores cuya función es la de conseguir una buena transferencia térmica entre la cara posterior del panel fotovoltaico y la pletina del absorbedor.



Todo el conjunto ha sido fijado en la cara posterior del panel en el propio soporte de las células. Cabe destacar, que aunque en el dibujo no se ha reflejado, en el prototipo construido, se han instalado aislantes térmicos en los lados interiores y en la cara posterior del panel para minimizar las pérdidas de temperatura, debidas al aire circundante, (Si se quiere aprovechar el calor).

En la pletina de cobre que forma el absorbedor se ha instalado una sonda de temperatura tipo PT100, conectada a un controlador industrial de temperatura para verificar a lo largo de todo el proceso de ensayo la temperatura en el absorbedor.



En la entrada y salida del absorbedor se han instalado dos trozos de tubo de vinilo por donde circulará el líquido refrigerante, en los ensayos se ha utilizado agua.

En uno de los tubos se ha intercalado una pequeña bomba de circulación para el agua, tomada de un recipiente que contiene dos litros de agua. Dicho recipiente se ha aislado de la radiación solar y se encuentra a temperatura ambiente. En este recipiente se ha sumergido una sonda de temperatura tipo PT100, conectada a un controlador de temperatura para verificar el

incremento de temperatura por unidad de tiempo que proporciona el absorbedor. El otro tubo que retorna del absorbedor, vierte el agua caliente directamente en el recipiente. Los tubos de entrada y salida del absorbedor también se han aislado de la radiación solar para evitar variaciones de temperatura generados fuera del absorbedor, y que podría falsear los resultados obtenidos en el experimento.



Paneles solares híbridos, resultados

Instrumentos de medida: Para realizar las mediciones de variables se han utilizado instrumentos con certificado de conformidad, los cuales han sido verificados internamente con otros instrumentos que poseen certificado de calibración, estos patrones tienen su correspondiente certificado de calibración, pudiéndose demostrar su trazabilidad con patrones del ENAC. Los instrumentos utilizados han sido los siguientes:

Multímetro digital FLUKE, mod.185, N° de serie: 8592000.

Multímetro digital FLUKE, mod.87, N° de serie: 58960048.

Multímetro digital FLUKE, mod.87, N° de serie: 68701323.

Controlador de temperatura con sonda PT100 NAIS, mod. KT4.

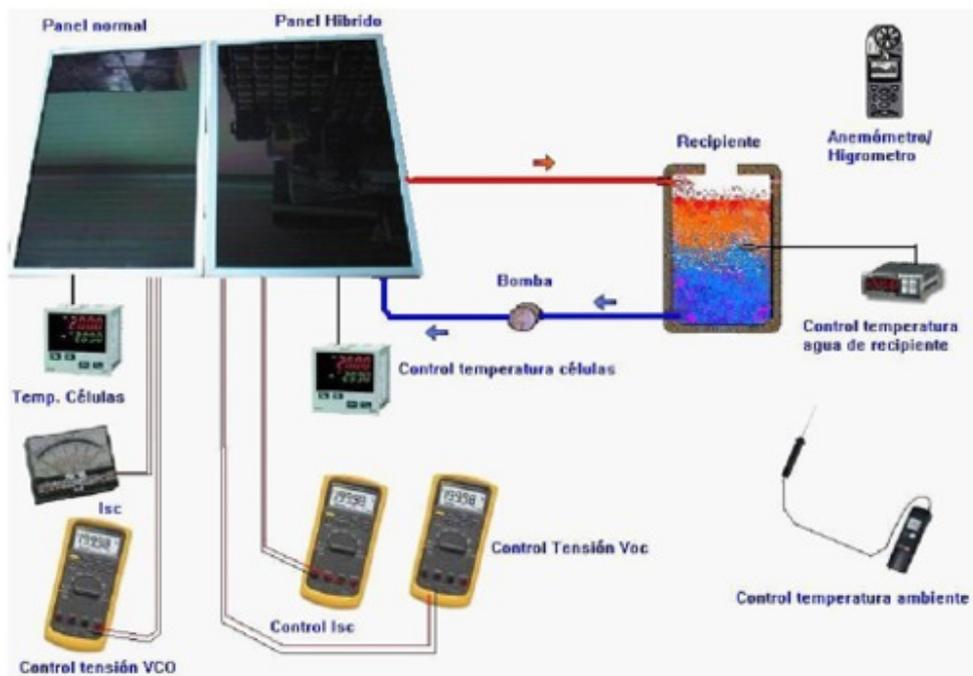
Controlador de temperatura con sonda PT100 TECNOLOGIC, mod. TDH01 FD11.

Multímetro analógico ICE.

Termómetro Testo, Mod.922, N° de serie: 3080240175, con sonda de NiCr-Ni.

Anemómetro Testo, mod. 506, N° de serie: 30607815

Disposición de los aparatos de medida:



No se han representado los shunt de corriente y potenciómetros

Medición de parámetros:

Para realizar las medidas se han usado dos paneles fotovoltaicos idénticos. Uno de ellos es el utilizado en el prototipo, (Híbrido) y el otro está instalado al lado, como referencia y sin dispositivos de refrigeración, (Normal), con el fin de tomar medidas simultáneas sobre ambos paneles, para poder cotejar las mediciones y evidenciar experimentalmente las diferencias obtenidas. Para asegurar los valores y conocer la incertidumbre se han repetido tres veces el experimento, realizado tres tandas de medidas, hallando la media de los valores obtenidos para el análisis de resultados.

La primera prueba consistió en exponer ambos paneles a la radiación solar anotando cada minuto los valores de tensión, intensidad y temperatura de las células. Todavía no se ha conectado la bomba de circulación de agua en el panel híbrido. Una vez alcanzada la temperatura máxima (64,3°C), se le aplicó tensión a la bomba de circulación de agua del panel híbrido, anotando los valores de tensión, intensidad, temperatura de las células y temperatura del agua del recipiente, por cada grado centígrado decrementado.

Análisis de resultados:

A temperatura de 64,3°C la potencia del panel de referencia (normal) se sitúa en 4,54 W, la intensidad de cortocircuito (ISC) es de 225 mA y la tensión de salida a circuito abierto (VCO) está en 20,18 Voltios. En el panel que hemos elegido como referencia, la caída de tensión es de aproximadamente 80 mV por cada grado incrementado. La corriente aumenta ligeramente a un ritmo de 0,7mA, por grado centígrado. El coeficiente de degradación en nuestro panel es de 0,65%. La temperatura del agua del recipiente se ha incrementando aproximadamente 0,5°C por minuto. Al cabo de una hora la temperatura del agua en el recipiente alcanzó 54°C.

Al no haber renovación de agua en el recipiente, pasados 90 minutos la temperatura del agua se equilibra con la temperatura máxima, en nuestro caso 64,3°C. Alcanzado este valor la eficiencia en el sistema fotovoltaico es similar al panel normal, sin embargo la potencia térmica está en su punto más alto.

Temperatura de trabajo:

$$T_t = 25 + (0,4 \times 97) = 25 + 40 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Potencia de salida:

$$P_t = 6 - (6 \times 0,006 \times 40) = 4,56 \text{ W}$$

Durante el proceso de prueba la potencia eléctrica del panel de referencia alcanzada la temperatura de trabajo, permanece constante entregando la mínima potencia a 64,3°C, mientras que el panel híbrido ha entregado un 26% más de potencia eléctrica y además ha calentado dos litros de agua a 54°C.

Capítulo 5:

Conclusiones.

Las conclusiones que se pueden extraer de todo lo expuesto en el presente proyecto son las siguientes:

*Que refrigerando adecuadamente las células de un panel fotovoltaico se pueden conseguir incrementos notables en la potencia eléctrica generada por los mismos.

*Que instalando un absorbedor de calor en el panel solar fotovoltaico, es posible obtener agua caliente, con la suficiente eficiencia para ser aprovechada en usos de A.C.S., calefacción, etc....

*Que es posible reducir el espacio necesario para instalar energía solar fotovoltaica y térmica.

*Que es posible reducir los materiales necesarios para construir los captadores solares y por lo tanto reducir los efectos medioambientales negativos.

*El presente proyecto ha buscado principalmente indagar nuevos métodos que incrementen la eficiencia energética solar, ya que como se ha mencionado, actualmente es tan baja, que en muchas ocasiones no es rentable su aplicación.

*Con los datos obtenidos se llega a la conclusión, ya conocida por los expertos en la materia, la temperatura en las células fotovoltaicas juega un papel muy importante en detrimento de la eficiencia de las mismas. Por esta razón creo que es esencial buscar nuevos enfoques que permitan potenciar su eficacia, y por ende el consumo de este tipo de energía, limpia, respetuosa y amigable con el medio ambiente. Si lo conseguimos, las generaciones venideras nos lo agradecerán.

Capitulo 6:

Proyecto de paneles solares para una cooperativa del pacífico de Nicaragua.

PROYECTO

“APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LAS UNIDADES PRODUCTIVAS CAMARONERAS DE LA ZONA DEL ESTERO REAL, DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA, NICARAGUA”

ÍNDICE

RESUMEN

ANTECEDENTES

OBJETIVOS DEL PROYECTO

DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR

PRINCIPALES RESULTADOS ESPERADOS

1. Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red
2. Capacitación Técnica

ACTIVIDADES

Asistencia Técnica

Administrativas

Operativas

PRESUPUESTO

RESUMEN:

El proyecto consiste básicamente en instalar en cada una de las 18 Granjas camaroneras y el centro de acopio de la Unión de Cooperativas Camaroneras de Morazán (UCCAM R.L.), Municipio de Morazán, Departamento de Chinandega. En las granjas camaroneras un panel solar moderno, para la generación de energía de corriente continua que contribuya al ahorro en el proceso productivo camaronero. El equipo solar que tendrá una duración de operatividad durante el día de 5 horas, contará con un controlador de carga el cual se instalará dentro de la vivienda en un lugar seguro, batería estacionaria de plomo ácido para almacenar la energía producida por los paneles fotovoltaicos, Inversor de corriente, Lámparas compactas ahorrativas, accesorios eléctricos y por las características de los ranchos siendo su estructura totalmente de madera con techo de palma el módulo solar se instalará en un tubo de 2" de diámetro con una altura de 3mts a nivel del suelo. Se instalará cables tipo TSJ especial para evitar en el futuro posible incendio por cortocircuito. Este equipo será utilizado diariamente. Para el centro de acopio de la Unión de Camaroneros se instalará un equipo de mayor capacidad dado que los equipos a conectarse demandan mayor energía continua y puede ser utilizado por un período de operación de 5

horas diarias, se contará con un controlador de carga, batería estacionaria de plomo ácido para almacenar la energía producida por el panel fotovoltaico, Inversor de corriente, Lámparas compactas ahorrativas, accesorios eléctricos. El centro de acopio será accionado preferentemente con energía eléctrica producida a través de la red eléctrica comercial y en los momentos de falta de ella a consecuencia de los cortes de la Empresa Generadora de Energía comercial (Unión FENOSA) lo cual ocurre más o menos tres veces por semana, se utilizará el panel solar o bien utilizar el panel solar todos los días a horas específicas que garantice la reducción significativa en su facturación eléctrica mensual.

El uso de la energía fotovoltaica para esta aplicación se justifica plenamente por las siguientes razones:

Las granjas camaroneras se encuentran en zonas aisladas que no es posible instalar energía comercial por lo costoso de su instalación.

Las granjas camaroneras consumirá únicamente la energía producida por el generador fotovoltaico todos los días ya que la radiación solar es la favorable en Nicaragua.

Actualmente los pequeños y medianos productores de camarón obtienen luz durante la noche por medio de candiles, baterías de vehículos y en algunos casos plantas eléctricas a gasolina.

La demanda de energía en las Granjas de las Cooperativas es de unos 200 watt la cual es usada por un promedio de 10 personas que laboran cerca de 10 meses al año, ya que en 2 meses solamente permanecen 2 personas cuidando los enseres.

Con la iluminación en la granja se podría trabajar durante las primeras horas de la noche en la alimentación de los organismos acuícola, con esto se incrementaría la producción y se producirían camarones de mejor calidad.

Los beneficiarios directos de este proyecto son 210 socios de los cuales el 47% son mujeres organizados en 18 Cooperativas Camaroneras. Incluyen unas 500 personas que trabajan en empresas conexas a las camaroneras y unas 1050 personas de beneficiarios indirectos.

ANTECEDENTES

Dentro de las prioridades del Gobierno de Nicaragua se encuentra la industria acuícola, la cual genera cerca de 15,000 empleo. De esta industria el grupo de Cooperativas Camaroneras tiene cerca del 35% del terreno para fines acuícola. El problema de que trata este trabajo es especialmente en el uso de la energía eléctrica para suplir las necesidades durante la cosecha y las noches cuando la oscuridad cubre las instalaciones de las granjas, esto incluye también cubrir la necesidades de su desarrollo personal y aprovechar las oportunidades .

En esta zona, la principal actividad productiva de las familias es la acuicultura.

Esta demanda de energía se da entre las 6 a 10 de la noche y es satisfecha por medio de plantas eléctricas portátiles y candiles los cuales utilizan derivados del petróleo y que crean aspectos de contaminación en el medio ambiente.

Si existiera la posibilidad de iluminación en la granja se podría trabajar durante las primeras horas de la noche en la alimentación de los organismos

acuícola, con esto se incrementaría la producción y se producirían camarones de mejor calidad; este aspecto redundaría indudablemente en un aporte sustancial en el incremento de las exportaciones de Nicaragua. Así como en la vigilancia efectiva de los mismos. Este incremento tiene su impacto directo en la dinámica económica de pueblos como Puerto Morazán, Tonalá, El Viejo y Chinandega. Incrementará los aportes en concepto de impuestos para el Gobierno y finalmente mejorará las condiciones de vida de los beneficiarios directos e indirectos

Los beneficiarios directos de este proyecto son 210 socios de los cuales el 47% son mujeres organizados en 18 Cooperativas Camaroneras. Incluyen unas 500 personas que trabajan en empresas conexas a las camaroneras y unas 1050 personas de beneficiarios indirectos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO:

Objetivo General

Contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los acuicultores asociados a la Unión de Cooperativas Camaroneras de Morazán a través del aprovechamiento óptimo del recurso luz solar para la generación de energía eléctrica para ser utilizada en la producción de las granjas camaroneras.

Objetivo específico.

Disponer a las granjas camaroneras de un moderno sistema fotovoltaico capaz de proveer de la energía continua lo cual redundará en un significativo ahorro económico al sustituir por paneles solares el uso de plantas eléctricas, baterías, kerosén, etc.

Incrementar los rendimientos productivos y la calidad de la producción en las granjas camaroneras de los pequeños y medianos productores de Nicaragua involucrados en este proyecto con respeto al medio ambiente y equidad de género.

Disponer de personal capacitado con conocimiento suficiente y básico del montaje, funcionamiento y mantenimiento de los equipos del sistema fotovoltaico y pueda resolver cualquier eventualidad en el futuro.

Dotar al personal capacitado de un Kit de herramientas básicas para su uso y resolver cualquier eventualidad, así como de documento de operación y mantenimiento a cada beneficiario.

DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR:

Sistema Fotovoltáico de Conexión a Red

Infraestructura mecánica construida

Consiste de una estructura de soporte especial para módulos fotovoltaicos

Sistema fotovoltaico instalado y funcionando

Consiste de módulos, inversor, conductores, protecciones y medición.

Capacitación Técnica

2.1 Dos personas capacitadas, evaluadas y certificadas que acompañarán a la instalación de cada equipo solar para que tengan conocimiento suficiente y básico del montaje, funcionamiento, mantenimiento y detección oportuna de

fallas de los equipos generación fotovoltaica y poder resolver cualquier eventualidad en el futuro.

2.2 Garantía de un año que durante el transcurso del mismo se dará repuesta junto con los técnicos capacitados para que ellos tenga mayor solides, confianza y reforzamiento del energía solar.

Kit de Herramientas Básicas

Un destornillador de ranura para borneras.

Un destornillador de cruz para borneras.

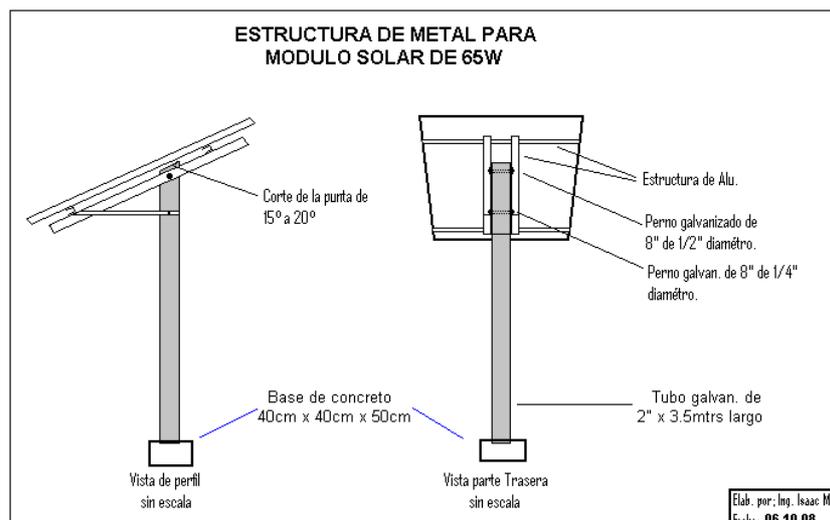
Una pinza combinada.

Un medidor universal digital.

Se suministrara un equipo solar de 65W para las granjas de camarones compuesto por tres lámparas de 11W-12Vcc, un toma para cargar celular más la conexión de un TV Blanco y Negro o a color de 14" o bien un radio-grabadora todos los electrodomésticos mencionado arriba son en 12 voltios corriente continua. El equipo solar tendrá una duración de operatividad durante el día de 5 horas. El controlador de carga se instalara dentro de la vivienda en un lugar seguro. Por las característica de los ranchos siendo su estructura totalmente de madera con techo de palma el modulo solar se instalara en un tubo de 2" con una altura de 3mtrs. Colocado no más de 10mtrs. de distancia del controlador de carga y de la vivienda. Se instalara cables tipo TSJ especial para evitar en el futuro posible incendio por cortocircuito.

Para la oficina de la Unión de camaroneros de acuerdo a equipos a conectarse determinamos instalar un equipo de 260W, con un inversor de corriente de 800W para la conexión de una computadora más dos lámpara de 11W por un periodo de operación de 5 horas. Por la cantidad de energía de consumo de la computadora se calculo dos módulos solares de 130W

La vida útil de los módulos solares es de 30 años.



ACTIVIDADES A REALIZAR

Las actividades planificadas están clasificadas según su naturaleza: Asistencia Técnica, administrativas y operativas.

Asistencia Técnica:

Elaboración del Diseño Final: Paneles Solares

Elaboración de las especificaciones técnicas

Evaluación técnica de las ofertas

Supervisión técnica

Evaluación técnica del funcionamiento de los equipos

Capacitación técnica

Administrativas:

Firma de convenio UNAN-León – GEO ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMERICA

Elaboración de documentos de licitación

Distribución de documentos de licitación

Evaluación económica de las ofertas

Adjudicación de empresa suministradora / instaladora del sistema fotovoltaico

Elaboración de contrato UNAN-León – empresas

Recepción de garantías

Auditoria

Operativas:

Compra de equipos

Transporte de equipos y materiales

Obras civiles, mecánicas y eléctricas

Instalación

Puestas en marcha

Pruebas

Aspectos Legales y Garantías

Todas las Unidades Productivas incluidas en este proyecto tienen al menos 10 años de estar en posesión de los terrenos.

Todas las Unidades de Producción cuentan con solvencia Municipal, Solvencia fiscal, personería jurídica, poder de representante legal, Cédula RUC por unidad productiva y Cédula de identidad del Representante Legal, aval de MIFIC y permiso ambiental MARENA.

La Unión de Cooperativas Camaroneras de Morazán (UCCAM) se constituyó el día 30 de octubre del año 2002, la certificación del Ministerio del trabajo indica que dicha Unión se encuentra reconocida como tal en el tomo III del libro de resoluciones que lleva el Registro Nacional de Cooperativas en el folio 192 resolución 2510-2002. Todas las Uniones de Cooperativa tienen sus oficinas en la Ciudad de El Viejo. Sin embargo, UCCAM tiene sus oficinas en

Puerto Morazán. La Unión aglutina el 62% de las cooperativas camaroneras que actualmente trabajan en el sector.

RESULTADOS ESPERADOS

18 Cooperativas con paneles solares instalados en las granjas camaroneras

1 Centro de acopio dotado de paneles solares

Asistencia Técnica:

Paneles Solares diseñados

Especificaciones técnicas escritas en documento

Ofertas evaluadas técnicamente

Supervisión técnica realizada

Evaluado técnicamente el funcionamiento de los equipos

Talleres de capacitación técnica realizada

Administrativas:

Firmado convenio UNAN-León – GEO ALIANZA EN ENERGIA Y AMBIENTE CON CENTROAMERICA.

Elaborado documentos de licitación

Documentos de licitación distribuidos

Oferta económica evaluada

Realizada la adjudicación de empresa suministradora / instaladora del sistema fotovoltaico

Elaborado contrato UNAN-León – empresas

Garantías del trabajo recibidas

Auditoria realizadas

Operativas:

Equipos comprados

Equipos y materiales transportados

Realizadas las obras civiles, mecánicas y eléctricas

Equipos Instalados

Equipos probados y operando

PRESUPUESTO (DEFINIENDO CLARAMENTE LOS RUBROS QUE FINANCIARÁ LA AEA)

SOLICITADO	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Sub total (USD)	Costo Unitario (€)
Equipo solar para las granjas de camarones				
Panel solar 65W	18	421	7,578.00	6062.4
Batería 100Ah/12V	18	116	2,088.00	1670.4
Controlador de carga 8A/12V	18	38	684.00	547.2
Inversor de corriente de 400W-12Vcc/110Vca	18	84	1,512.00	1209.6
Lámparas compactas ahorrativas 11W/12V	54	14	756.00	604.8
Accesorios Eléctricos	18	95.51	1,719.18	1375.3
Estructura de panel + tubo galvan de 2"	18	84.22	1,515.96	1212.7
Instalación	18	85	1,530.00	1224
Equipo solar para Oficina de la Unión de camaroneros y Santa Lucia				
Panel solar 130W	4	730	2,920.00	2336
Batería 100Ah/12V	4	116	464.00	371.2
Controlador de carga 20A/12V	2	135	270.00	216
Inversor de corriente de 800W	2	101.3	202.60	162.08
Lámparas compactas ahorrativas 11W/12V	4	14	56.00	44.8
Accesorios Eléctricos	2	178.88	357.76	286.2
Estructura de panel	2	75.11	150.22	120.1
Instalación	2	120	240.00	192
SUB TOTAL			22,043.72	17634.9
IVA (15%)			3,306.56	2645.2
Diseño		350.00	350.00	280
Supervisión		800.00	800.00	640
Capacitación		800.00	800.00	640
Seguimiento		800.00	800.00	640

Auditoria Externa		1,000.00	1,000.00	800
Rotulo		150.00	150.00	120
Gastos Administrativos		900.00	900.00	720
TOTAL SOLICITADO			30,000.28	24000
CONTRAPARTIDA LOCAL				Costo Unitario
Construcción de Obra Civil		1250	1250	1000
TOTAL CONTRAPARTIDA		1250	1250	1000
Cambio 1€ = \$1.25				

Bibliografía.

Referencias

*CIEMAT: Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. (1999).

*KNOFF: Hannes. Analysis, Simulation, and Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Methods for a solar Powered Vehicle. Portland State University. (1999).

*IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

*ECODES: Fundación Ecología y Desarrollo.

*ERA SOLAR: Revista especializada en energía solar.

*EREN: Ente Público Regional de la Energía de Castilla y León.

*EUROSOLAR: Asociación Europea para las Energías Renovables

*UNE EN ISO 10456: 2001 "Materiales y productos para la edificación.

*Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño".

*MINISTERIO DE VIVIENDA: Código Técnico de la Edificación.

*web <http://panelsolarhibrido.es>

*La Agencia para los Proyectos de Investigación Avanzada para la Defensa es la organización central para la investigación y desarrollo del Departamento de Defensa (DoD) de EEUU

*{{subst:en}}Michael canellos (2006) Solar cell breaks efficiency record, ZDNet News [16 de enero de 2007]

* Guascor Fotón

*García Ortega, Jose Luis et al. (2006) Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular viabilidad económica Greenpeace.

*La ONU hará una cumbre contra el cambio climático - 20minutos.es

*La tecnología revolucionará la producción eléctrica en 10 años

Instituciones que fomentan las Energías Renovables

*ISES - International Solar Energy Association

*ASADES - Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente

*IRENA

*LAWEA Asociación Latinoamericana de Energía Eólica