

Universidad de Matanzas
Sede “Camilo Cienfuegos”
Departamento Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Técnicas



**USO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL PROCESO DE
CONDENSACIÓN DE UNA ENFRIADORA DE AGUA**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: José Miguel González Rodríguez.

Tutor: MSc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.

Matanzas, 2019

DEDICATORIA

Quisiera compartir con todas las personas cercanas a mí, que me alentaron y me brindaron su ayuda, la felicidad que me causa terminar mis estudios universitarios de manera satisfactoria.

Dedico esta investigación a mis padres Nilda y Alberto; a mi hermana Rianny, a mi abuela Mery, a todos mis tíos y tías, que siempre se preocuparon y estuvieron pendientes por mí; a mis primos; a mis amigos, a mi novia Adrianys que su apoyo ha sido invaluable y a su familia que también me apoyó muchísimo.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, en especial a mamá y papá con los cuales siempre pude contar en las adversidades, y fueron mi apoyo cuando lo necesité, mi hermana que siempre ha sido mi motor impulsor (aunque ella no sepa).

A mi novia Adrianys y familiares, su ayuda no ha tenido comparación.

A mis amigos que me ayudaron incondicionalmente, les voy a estar eternamente agradecido, en especial a Rey.

A mi tutor por haberme dado la confianza y apoyo para realizar este trabajo. Sin él nada me hubiese sido posible.

A todas las personas que creyeron en mí.

-APARICIO.

Muchas gracias.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaré que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

La energía solar fotovoltaica es una de las más utilizadas a nivel mundial debido a las grandes perspectivas que presenta en cuanto a la generación de electricidad. Los paneles fotovoltaicos están estrechamente relacionados al ahorro de combustibles fósiles y la reducción de daños al medio ambiente. En este trabajo se calcula la potencia generada y el consumo de corriente de los ventiladores del proceso de condensación en una enfriadora de agua de 130 toneladas de refrigeración de un sistema centralizado de aire acondicionado en una instalación hotelera. Se selecciona el panel fotovoltaico y se propone la disposición de los mismos. Se realiza un análisis económico de la inversión propuesta, así como el efecto positivo de esta tecnología en el medio ambiente.

Palabras claves: energía solar fotovoltaica, enfriadoras de agua, ventiladores axiales, ahorro energético, medio ambiente.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is one of the most used worldwide due to the great perspectives it presents in terms of electricity generation. Photovoltaic panels are closely related to saving fossil fuels and reducing damage to the environment. In this work, the power generated and the current consumption of the condensing process fans are calculated in a cooling water chiller of 130 tons of a centralized air conditioning system in a hotel installation. The photovoltaic panel is selected and the layout of the same is proposed. An economic analysis of the proposed investment is carried out, as well as the positive effect of this technology on the environment.

Keywords: photovoltaic solar energy, water chillers, axial fans, energy saving, environment.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	4
1.1 Fuentes de energías renovables.....	4
1.2 Fundamentos de la energía solar.....	6
1.2.1 Energía solar térmica.....	6
1.2.2 Energía solar fotovoltaica.....	7
1.3 Equipos componentes de una instalación fotovoltaica.....	9
1.4 Uso de las fuentes de energía renovable en sistemas de aire acondicionado.....	11
1.5 Proceso de condensación en enfriadoras de agua.....	12
1.6 Características de los ventiladores usados en enfriadoras de agua.....	12
1.6.1 Ventilador axial ZIEHL-ABEGG.....	12
Conclusiones del capítulo	13
Capítulo 2 Materiales y Métodos.....	14
2.1 Caracterización de la zona.....	14
2.2 Radiación, selección del recurso solar.....	14
2.3 Orientación e inclinación del generador.....	15
2.3.1 Separación entre hileras de paneles solares.....	16
2.4 Metodología para el dimensionado de la instalación.....	17
2.4.1 Cálculo de las horas de sol pico.....	17
2.4.2 Determinación de la energía total generada por día por los paneles fotovoltaicos.....	18
2.4.3 Cálculo de la demanda energética por día.....	18
2.4.4 Selección del número de módulos fotovoltaicos a instalar.....	18
2.4.5 Cálculo de baterías.....	19
2.4.6 Cálculo de comprobación del sistema regulador-inversor.....	19
2.4.7 Selección del regulador.....	20
2.4.8 Selección del inversor.....	20
2.4.9 Área de instalación.....	21
2.5 Impacto ambiental del diseño fotovoltaico propuesto.....	21
2.6 Análisis económico.....	22
2.6.1 Costo total de la inversión inicial.....	22
2.6.2 Movimiento de fondos.....	23
2.6.3 Período de recuperación de la inversión.....	24

2.6.4 Valor actual neto.....	24
2.6.5 Tasa interna de retorno.....	25
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	26
3.1 Cálculo del número total de paneles.	26
3.2 Análisis de la energía generada e impacto ambiental.	27
3.3 Análisis económico de los resultados.	28
Conclusiones.....	29
Recomendaciones	30
Bibliografía	31
Anexos	34

INTRODUCCIÓN

Hace tiempo que las emisiones de dióxido de carbono producidas por el hombre, superan la capacidad de las plantas y los océanos para absorberlas. Esto se traduce en la acumulación progresiva de gases contaminantes y de efecto invernadero. Y aunque habría que reducir las emisiones antropogénicas actuales en 80% para revertir el escenario, los datos demuestran que los índices de emisiones contaminantes siguen subiendo.

La mayor cantidad de energía consumida en una instalación hotelera proviene del sistema centralizado de aire acondicionado, por lo cual se hace cada día más necesario contar con sistemas nobles con la naturaleza y a la vez ahorradores de energía.

El escenario energético ideal para evitar esta importante contaminación, sería aquel que eludiera el consumo eléctrico proveniente de hidrocarburos o reactivos nucleares, sin renunciar a las prestaciones frigoríficas. En los sistemas de climatización el uso de las energías renovables encuentra su mayor aplicación, desde hace muchos años, en el ciclo frigorífico denominado de absorción, en el que la circulación de los fluidos se consigue utilizando el calor procedente de fuentes gratuitas, como es el caso de la energía solar térmica. Este tipo de sistema de refrigeración se denomina refrigeración solar. Los sistemas de refrigeración y climatización mediante energía solar y máquinas de absorción suponen no sólo un gran ahorro energético global, por la utilización de una fuente de energía limpia e inagotable, sino también un apreciable ahorro económico al usuario final. (Anon., 2016). Las empresas de aire acondicionado más afamadas están lanzando en los últimos tiempos, un aire acondicionado con paneles solares, que lograría enfriar en pocos minutos una habitación de treinta metros cuadrados, por ejemplo. Otra de las particularidades que tiene este moderno aparato, es que se trata de un aire acondicionado que además de la energía solar que utiliza, también se lo puede usar con electricidad convencional. De más está decir que el aire acondicionado por paneles solares, es un equipo que nos permitirá ahorrar energía, sin descuidar el frío que tienen que otorgar.

En Cuba hasta el año 2012 (Ferreiro, 2016), las instalaciones fotovoltaicas sumaban en total 3 MW en unos 9000 sistemas fotovoltaicos de baja potencia, casi todas remotas, no

conectadas a red, en lugares aislados donde no llega la red eléctrica (escuelas, consultorios, casas y centros de cultura) con una gran repercusión social. Pero, el motor impulsor del desarrollo mundial en esta rama ha sido la energía fotovoltaica conectada a la red. En este caso la red eléctrica llega a más del 95 % de la población, por lo que es la vertiente que puede significativamente dar su aporte para disminuir la quema de combustible fósil en función de la generación eléctrica y puede tributar, paulatinamente, a una independencia electroenergética, junto con las otras fuentes renovables de energía (FRE). En el 2013, se dio un buen salto al instalarse 11 MW en parques fotovoltaicos, conectados a red, tendencia que debe ir aumentando de acuerdo con la voluntad existente y con los planes aprobados por el país, relacionados con las fuentes renovables de energía.

La potencia fotovoltaica acumulada alcanzó 22 MW a finales de 2015 en Cuba. Para este año 2016 Cuba se propone construir nuevos parques fotovoltaicos demostrativos en varias provincias, con lo cual se elevará a 45 MW la capacidad instalada en el país.

En la bibliografía consultada en el tema no se tiene conocimiento de otro trabajo similar en enfriadoras de agua solo para sustituir el consumo eléctrico de los ventiladores por paneles fotovoltaicos, radicando en este sentido la novedad del tema. Es bueno aclarar que solo a niveles de potencia frigoríficas bajas, entiéndase sistemas domésticos como sistemas *split* y acondicionadores de ventana, algunos fabricantes muestran la opción de un panel solar fotovoltaico de baja potencia para suplir el consumo eléctrico del ventilador de las unidades interiores y exteriores, en horas diurnas que es precisamente cuando más frío se necesita.

Problema: Existe un potencial de ahorro energético en los ventiladores de condensación de las enfriadoras de agua mediante el empleo de la energía solar fotovoltaica.

Hipótesis: Si se implementa un sistema fotovoltaico para los ventiladores de condensación, se verá reducido el consumo energético en las enfriadoras de agua aumentando así la eficiencia de la misma.

Objetivo General: Dimensionar una instalación fotovoltaica que sea capaz de entregar la potencia necesaria para el funcionamiento de los ventiladores de las enfriadoras de agua.

Objetivos Específicos:

1. Realizar búsqueda bibliográfica sobre los sistemas fotovoltaicos autónomos.
2. Obtener la potencia y horas de trabajo de los ventiladores.
3. Selección y propuesta del tipo de panel fotovoltaico a instalar.
4. Realizar un análisis económico y medioambiental de la propuesta.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El objetivo de este capítulo es abordar los fundamentos teóricos para definir las bases conceptuales sobre las cuales se sustenta la investigación. Para lograr el desarrollo del mismo se analizan bibliografías actualizadas de diferentes autores referidas a la energía solar fotovoltaica y a sus ventajas en el sistema de climatización.

1.1 Fuentes de energías renovables.

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por ser limpias y sobre todo sostenibles. Los mayores progresos se observan en las energías eólica y fotovoltaica. Las energías renovables son fuentes limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014, toda vez que se han constituido en la segunda fuente global de electricidad, sólo superada por el carbón. De acuerdo a la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70% hasta 2040,- elevando su participación en el uso de energía final del 18% al 24%. (Lamigueiro, 2015).

Las energías renovables han recibido un importante respaldo de la comunidad internacional con el Acuerdo de París suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa. El acuerdo, que entrará en vigor en 2020, establece por primera vez en la historia un objetivo global vinculante, por el que los casi 200 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de forma que la temperatura media del planeta a final del presente siglo quede “muy por debajo” de los dos grados, el límite por encima del cual el cambio climático tiene efectos más

catastróficos e incluso a intentar dejarlo en 1,5 grados. La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá asimismo efectos económicos muy positivos. Según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), duplicar la cuota de energías renovables en el mix energético mundial hasta alcanzar el 36% en 2030 supondría un crecimiento adicional a nivel global del 1,1% ese año (equivalente a 1,3 billones de dólares), un incremento del bienestar del 3,7% y el aumento del empleo en el sector hasta más de 24 millones de personas, frente a los 9,2 millones actuales (Acciona, 2015)

Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos:

- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Biomasa y biogás.
- Energía geotérmica.
- Energía mareomotriz.
- Energía undimotriz u olamotriz.
- Bioetanol.
- Biodiesel. (Acciona, 2015)

Entre las ventajas principales de las energías renovables podemos encontrar que son consideradas el socio imprescindible contra el cambio climático, las renovables no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía, lo que las revela como la solución limpia y más viable frente a la degradación medioambiental; son inagotables al contrario que las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas, las energías limpias cuentan con la misma disponibilidad que el sol donde tienen su origen y se adaptan a los ciclos naturales (por eso las denominamos renovables). Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el de las futuras generaciones, otro aspecto a considerar es que reducen la dependencia energética, la naturaleza autóctona de las fuentes limpias implica una ventaja diferencial

para las economías locales y un estímulo para la independencia energética. La necesidad de importar combustibles fósiles produce una subordinación a la coyuntura económica y política del país proveedor que puede comprometer la seguridad del suministro energético. En cualquier parte del planeta hay algún tipo de recurso renovable (viento, sol, agua, materia orgánica) susceptible de aprovecharlo para producir energía de forma sostenible. Otra ventaja es que son crecientemente competitivas, las principales tecnologías renovables como la eólica y la solar fotovoltaica están reduciendo drásticamente sus costes, de forma que ya son plenamente competitivas con las convencionales en un número creciente de emplazamientos. Las economías de escala y la innovación están ya consiguiendo que las energías renovables lleguen a ser la solución más sostenible, no sólo ambiental sino también económicamente, para mover el mundo. (Acciona, 2015)

1.2 Fundamentos de la energía solar.

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar, pudiendo ser de dos clases: captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos. (Val, 2006)

1.2.1 Energía solar térmica.

La energía solar térmica de alta temperatura se utiliza para producir electricidad. Estos sistemas utilizan el calor de la radiación solar para calentar un fluido y producir vapor, que acciona una turbina que, a su vez, se acopla a un generador eléctrico. El principio de funcionamiento es como el de una central térmica convencional, diferenciándose en la forma de producir el vapor, que es por calentamiento solar, alcanzándose temperaturas de 1000 °C. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

De la enorme cantidad de energía que emite constantemente el Sol, una parte llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar. De ella, el 16% es absorbida por la estratosfera y la troposfera y el 22,5% por el suelo; el 4% es reflejada directamente al

espacio desde el suelo. La atmósfera difunde el 17,5% de la radiación, de la cual el 10,5% es absorbida por el suelo y el 7% regresa al espacio exterior. Las nubes reflejan al espacio exterior un 24%, absorbiendo un 1,5% y enviando al suelo, como radiación difusa, el 14,5%, que es absorbido por el mismo. Así pues, el 47,5% de la radiación llega efectivamente a la superficie de la Tierra por tres vías:

1. Radiación directa.
2. Radiación difusa.
3. Radiación reflejada o albedo. (José A. C. González, 2009)

Potencial de la energía solar térmica

La potencia recibida en la parte superior de la atmósfera sobre una superficie perpendicular al rayo de sol, en el caso de una distancia al Sol promedio, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de $1,367 \text{ kW/m}^2$. Esta cantidad se reduce hasta aproximadamente 900 W/m^2 cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo. La distribución de la energía solar que llega a la Tierra no es uniforme. En la caracterización de la radiación solar incidente en la Tierra, con el objeto de estimar el potencial solar, intervienen diversos factores. Entre estos factores pueden señalarse:

- Las condiciones climatológicas, que influyen en el grado de nubosidad, la turbidez atmosférica, viento predominante, etc.
- Época del año.
- La latitud del lugar.
- Orientación de la superficie receptora. Ver Anexo. A

(José Antonio Carta González, 2009)

1.2.2 Energía solar fotovoltaica.

Potencial de la energía solar fotovoltaica.

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser

aprovechado para obtener energía eléctrica. (Valery V. Vasiliev, 2013) Un panel fotovoltaico, también denominado módulo fotovoltaico, está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco. Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración (la vida útil de los módulos fotovoltaicos es superior a 30 años).
- No requerir apenas mantenimiento.
- Tener una elevada fiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010) (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

La energía fotovoltaica no es la única manera de obtener energía eléctrica del sol. (Anon., 2019) Quizás no se esté conscientes de que buena parte de las fuentes de energía eléctrica actuales, aparentemente sin relación con el sol, también obtienen su energía a partir de los fotones que llegan de éste, así, por ejemplo:

- Hace millones de años, las plantas, mediante fotosíntesis, atraparon la energía solar en forma de moléculas orgánicas que nos han llegado hasta hoy en sus cuerpos fosilizados en forma de petróleo, carbón, etc.; es la energía fósil.
- En el contexto de la energía eólica, el viento mueve unas aspas acopladas a un generador eléctrico. Esta energía también procede, en último término del sol, ya que el viento se debe a la diferencia de presión que se producen por el hecho de que unas regiones hayan sido calentadas por el sol más que otras.
- Mediante la energía hidráulica se aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua almacenada a alturas superiores a la del nivel del mar para mover también los

generadores, y es de nuevo el sol el que, al evaporar el agua de los mares, aumenta la energía potencial del agua.

Sin embargo, todas las fuentes de energía mencionadas producen energía eléctrica de forma indirecta a partir de los fotones del Sol. Por el contrario, la energía solar fotovoltaica produce la electricidad directamente. (José Antonio Carta González, 2009)

Los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar: 1000 W/m^2 (1 kW/m^2) de radiación solar y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico); a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo. La energía producida por los sistemas fotovoltaicos se calcula multiplicando su potencia nominal por el número de horas sol pico, dado que no todas las horas de sol son de la intensidad considerada como pico (1000 W/m^2). El número de horas sol pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día (en Wh/m^2) entre 1000 W/m^2 . (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

Las instalaciones solares fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos: sistemas aislados (sistemas autónomos sin conexión a la red eléctrica) y sistemas conectados a la red eléctrica. En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos autónomos constituyen ya la solución de fondo y son parte fundamental e imprescindible para la garantía del fluido eléctrico y de las comunicaciones. A diferencia de los sistemas conectados a red, los sistemas autónomos requieren de las baterías para almacenar energía que será consumida en los ciclos diarios. (José Antonio Carta González, 2009)

1.3 Equipos componentes de una instalación fotovoltaica.

Un módulo fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

1. Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica
2. Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada
3. Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada
4. Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada (Society, 2008)

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

1. El módulo o panel fotovoltaico
2. La batería
3. El regulador de carga
4. El inversor
5. Las cargas de aplicación (el consumo) (Biomass Users Network (BUN-CA), 2012)

Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).

Baterías: almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla, por ejemplo, en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos o bien de noche.

Reguladores de carga: controlan el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas y alargando así la vida útil de las baterías.

Inversores: transforman la corriente continua (CC) en alterna (CA), que es la que se utiliza de forma habitual en nuestros hogares. Si los consumos fuesen en CC, se podría prescindir del inversor. En algunos países en vías de desarrollo las instalaciones en CC tienen una gran importancia, llegando a miles de sistemas instalados. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

Tipos de módulos fotovoltaicos: Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. (Asensio, 2011) Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos. (Biomass Users Network (BUN-CA), 2012). Utiliza lingotes puros de silicio (los mismos que utiliza la industria de chips electrónicos). Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12%. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010)

Módulos de silicio policristalino: Se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino, son ligeramente más baratos que estos módulos. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso.

Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además, son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared. (Biomass Users Network (BUN-CA), 2012) Se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio, su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc. (Julieta C. Schallenberg Rodríguez, 2010).

1.4 Uso de las fuentes de energía renovable en sistemas de aire acondicionado.

La energía solar es una fuente de energía renovable que permite aprovechar la energía del sol para generar calor o producir electricidad. Aplicar energía solar en los edificios contribuye a reducir el consumo de energía a nivel global y minimiza el número de emisiones de gases de efecto invernadero, principales responsables del cambio climático. La energía solar térmica aprovecha el calor del sol para calentar agua. Esta agua caliente puede utilizarse para varios fines: apoyo a la calefacción, agua caliente para uso sanitario y calentamiento de agua para piscinas.

En los últimos años las innovaciones tecnológicas permiten disponer de paneles solares más ligeros y eficientes, como el panel Mediterráneo Slim que es el panel más ligero y delgado del mercado. Esta característica ha permitido reducir el espesor medio de los colectores solares y rebajar su peso hasta los 26 kg, cuando un panel convencional puede alcanzar hasta 40 kg. Esto permite que un único operario lo pueda manipular y facilita su instalación en las cubiertas de los edificios.

La relevancia de las energías renovables en los próximos años es incuestionable. El boom del coche eléctrico, la reducción en el coste de producción de las baterías y los mandatos gubernamentales para reducir el cambio climático hacen necesario el auge de las energías renovables. Las soluciones de energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, combinadas

con el resto de productos de la gama, ofrecen la solución perfecta para un sistema eficiente, conectado y responsable con el medio ambiente. (Mogro, 2019)

1.5 Proceso de condensación en enfriadoras de agua.

En un circuito de refrigeración el proceso de condensación juega un papel fundamental en el buen funcionamiento y eficiencia de estas. Después que el refrigerante abandona el compresor en forma de gas recalentado este tiene que ser condensado o licuado para poder expandirse en el elemento de expansión. Según sea la sustancia con que se logra este fin el proceso se denomina de condensación por aire o condensación por agua. La condensación por aire se logra mediante la ubicación de ventiladores trifásicos o monofásicos sobre los condensadores de forma tal que el aire sea aspirado a través de los tubos aleteados que conforman la superficie de transferencia de calor, absorbiendo así, el calor del refrigerante que luego será expulsado a la atmósfera. Estos ventiladores solo trabajan cuando el compresor está en funcionamiento y en dependencia de la presión de la temperatura estos pueden variar la velocidad de rotación. (Ashrae, 2009)

Por lo general y dependiendo de la capacidad de la enfriadora se puede encontrar una enfriadora de agua que tenga desde 2 y hasta 6 ventiladores por cada compresor, por lo que estos ventiladores son consumidores de energía eléctrica que a la postre tiene su influencia en los índices de eficiencia de este equipamiento. (Carrier, 2012)

1.6 Características de los ventiladores usados en enfriadoras de agua.

Ventiladores ZIEHL-ABEGG

- Ventilador axial
- Ventilador radial
- Ventilador de procesos

1.6.1 Ventilador axial ZIEHL-ABEGG

1-Fe2owlet ZIEHL-ABEGG

Especificación de productos:

7 palas aplanadas, superficie sustentadora perfilada, Rotor de aluminio fundido, desarrollado usando ideas biónicas, diámetros desde 250 a 800 mm, volúmenes de aire a descarga libre hasta 28,000 m³/h cualidades y particularidades: El mejor comportamiento ruidoso y el consumo de energía más bajo, velocidad 100 % regulable.

Aplicaciones y campos de utilización: aire acondicionado, refrigeración, refrigeración de transformadores, ventilación y calefacción.

Propiedades y particularidades:

- Bajos costes de operación debido a un rendimiento optimizado con una mínima generación de ruido.
- Alta flexibilidad mediante el flujo de volumen 100 % regulable mediante el número de revoluciones.
- Suavidad de marcha y durabilidad mediante equilibrado dinámico en dos niveles.
- Tamaño compacto para cualquier situación de montaje.
- Cumple con la directiva ErP 2015.
- Numerosas homologaciones (VDE, UL, CCC, EAC, CE, entre otras). (Motesa, 2019)

Conclusiones del capítulo

Mediante la revisión bibliográfica del tema que se analiza se puede concluir que:

1. Las energías renovables son sin lugar a dudas el futuro energético del planeta, por tanto, se debe implementar su uso a niveles más desarrollados.
2. Los principales componentes de una instalación fotovoltaica son el panel, el regulador, la batería y el inversor.
3. Se implementa una novedad al instalar los ventiladores de las enfriadoras por energía fotovoltaica.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se abordan los métodos, materiales y técnicas que se utiliza para dimensionar adecuadamente una instalación fotovoltaica para dar cumplimiento al objetivo de la investigación.

2.1 Caracterización de la zona.

El hotel Meliá Las Américas está su ubicado en la Autopista Sur, Carretera Las Morlas, en el destino turístico más importante de Cuba, Varadero. Dispone de 340 habitaciones, 250 habitaciones dobles en un edificio central, de ellas 220 Habitaciones Clásicas, 15 Junior Suites, 1 Grand Suite The Level, 10 Grand Suites Vista Mar The Level, 2 Grand Suite Vista Golf The Level, 2 Suites Presidenciales The Level, y en el área de los jardines existen 90 habitaciones, de ellas 11 Garden Grand Suite The Level, 70 Garden Suite The Level y 9 Two Bedroom Garden Suite The level.

El sistema centralizado de agua helada de esta instalación cuenta con tres enfriadoras de agua marca Climaveneta de capacidad frigorífica 458 kW cada una, de condensación por aire. Cada enfriadora posee dos circuitos de refrigeración y cada uno de ellos utiliza una batería de cuatro ventiladores axiales que de manera forzada logran la circulación del aire a través del serpentín de condensación para luego ser expulsado a la atmósfera con un contenido de calor nada despreciable. Para realizar el proceso de condensación del refrigerante, cada enfriadora posee 8 ventiladores y la instalación en total la componen 24 ventiladores de condensación que trabajan al unísono con el compresor. Estos ventiladores tienen la capacidad de regular su velocidad de rotación en función de la presión de condensación manteniéndose ésta dentro de los niveles establecidos para lograr una óptima eficiencia en la enfriadora.

2.2 Radiación, selección del recurso solar.

Cuba se caracteriza por tener una radiación solar promedio de más de 5 kWh/m²/día, por lo que al año se tiene por cada m² de superficie 1 825 kWh/m², con una variabilidad aproximada de $\pm 10\%$ a lo largo y ancho de la isla, aspecto muy positivo, a diferencia de

otras latitudes mayores. La componente directa de la radiación está entre un 65% y 80%, siendo la componente difusa relativamente alta, lo que enriquece el espectro solar en las longitudes de onda del azul.

“En el territorio cubano, con un poco más de 110 mil kilómetros cuadrados (sin contar los mares adyacentes), se recibe una radiación solar equivalente a 50 millones de toneladas de petróleo cada día, con un valor energético mayor que todo el petróleo que se consume durante cinco años; ya que se recibe 1 800 veces más energía solar que el petróleo que consume”. Por las condiciones climatológicas del territorio, su ubicación y características, es frecuente que en las tardes exista una mayor probabilidad de nublados con relación a las horas de la mañana, lo que provoca una disminución de la incidencia solar en horas de la tarde. Aun así, y debido al valor de la irradiación solar, Cuba cuenta con un alto potencial para la explotación de esta fuente renovable. (Santos, 2018)

2.3 Orientación e inclinación del generador.

El generador fotovoltaico deberá contar con una orientación e inclinación particularmente adaptadas al lugar y a la aplicación. Nuevamente, la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur.

La inclinación depende no sólo de la latitud sino también del perfil del consumo, la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación, el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, entre otros.

Se tienen en cuenta, además, las características de la instalación: si es única o híbrida, autónoma o acoplada a la red y el objetivo de la instalación, lo que define el régimen de uso y de consumo. El efecto de la selección de un ángulo de inclinación óptimo es equivalente a una modificación del ángulo de incidencia de la radiación solar para lograr la máxima captación.

A pesar que los sistemas fotovoltaicos presentan un bajo rendimiento, mediante la correcta selección del ángulo de inclinación se puede obtener una mayor eficiencia, debido a que se alcanza una mayor captación del recurso y un mínimo de pérdidas,

alcanzando mejores resultados desde el punto de vista energético y económico. (Fuentefría, 2018)

Así, para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, el objetivo es maximizar la radiación en los meses de menor insolación y por tanto la inclinación debe ser $\beta = |\phi| + 10^\circ$. Para instalaciones con consumo menor en los meses de baja radiación se busca maximizar la radiación en los equinoccios y de ahí que $\beta = |\phi|$ (igual a la latitud). Finalmente, para instalaciones con uso predominante en verano conviene emplear un ángulo inferior a la latitud, $\beta = |\phi| - 10^\circ$. En general, la inclinación debe superar los 15° para conseguir que la lluvia pueda desplazar la suciedad acumulada en los paneles. (Lamigueiro, 2015) La eficiencia de estos sistemas depende directamente de la radiación existente en el lugar donde se encuentra la instalación. Asimismo, la cantidad de radiación será mayor cuando el plano del panel esté completamente perpendicular a la fuente de luz. (Santos, 2018).

Ángulo de inclinación β .

Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales. (Ver Anexo 2). (Anon., 2009)

Ángulo de azimut α .

Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste. (Ver Anexo 3) (Anon., 2009)

2.3.1 Separación entre hileras de paneles solares

La separación entre hileras de paneles fotovoltaicos debe garantizar la no superposición de sombras entre las hileras de paneles los meses del solsticio de invierno / verano. Esta distancia quedará determinada por la siguiente expresión, en el caso de paneles en disposición horizontal (sobre un plano).

$$d = \left(\frac{h}{\tan\beta} \right) * \cos\alpha \quad (2.1)$$

Donde:

d = es la distancia mínima entre líneas de paneles [m].

h = es la altura de la línea de paneles (en vertical, desde el punto superior en el suelo) [m].

$\tan\beta$ = es la tangente de la altura solar (ángulo) en el mes más desfavorable en nuestra latitud.

$\cos\alpha$ = es el coseno del azimut solar en el mes más desfavorable (diciembre). (Anon., 2016)

2.4 Metodología para el dimensionado de la instalación.

2.4.1 Cálculo de las horas de sol pico.

El método de cálculo seleccionado se basa en las horas de sol pico que consiste en la relación que hay entre la sumatoria de la radiación total a lo largo del día dividido entre mil, que es la cantidad máxima de radiación que puede incidir sobre la superficie terrestre. La ecuación se expresaría de la siguiente forma:

$$hsp = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Radiación}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (2.2)$$

Donde:

Radiación [Wh/m²]

hsp – horas solares pico

En el caso de este trabajo los valores de horas de sol picos a utilizar serán obtenidos de referencias anteriores. (Roque., 2016)

2.4.2 Determinación de la energía total generada por día por los paneles fotovoltaicos.

La productividad es otro aspecto a considerar en aras de obtener la potencia fotovoltaica necesaria para cubrir la carga. Esta no es más que un indicador que permite simplificar el cálculo de la energía generada. En este cálculo se tendrá en cuenta las horas del sol pico, la potencia generada por cada panel y el número total de paneles. Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$E_{tg} = h_{sp} * P_{np} * N_{tp} \quad (2.3)$$

Donde:

E_{tg} – energía total generada [kWh]

h_{sp} - tiempo equivalente del día en el que el panel recibe 1kW/m^2 de radiación solar u horas de sol pico [h/día].

P_{np} - potencia nominal del panel [W].

N_{tp} - Número total de paneles.

(Fuentefría, 2016)

2.4.3 Cálculo de la demanda energética por día.

Los ventiladores de las enfriadoras funcionan con corriente trifásica, por lo que la potencia demandada por estos se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$P_V = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi \quad (2.4)$$

Donde:

V - voltaje nominal del ventilador [V]

I - intensidad de la corriente [A]

$\cos\varphi$ - es el ángulo de fase

2.4.4 Selección del número de módulos fotovoltaicos a instalar.

Método de potencia.

$$N_p = \frac{E_v * 1,3}{h_{sp} * P_{np}} \quad (2.5)$$

Donde:

N_p – número total de módulos

E_v – energía diaria consumida por los ventiladores [Wh]

F_s – factor de seguridad (1,3 - sobredimensionado de 30%)

h_{sp} – horas solar pico (mes peor) [h]

P_{np} – potencia individual por paneles [Wp] (Daniel Rivas, 2018)

2.4.5 Cálculo de baterías.

$$I_d = \frac{E_v}{V_{mpp}} \quad (2.6)$$

Donde:

I_d - corriente necesaria [A]

E_v – energía diaria consumida por los ventiladores [Wh]

V_{mpp} – Voltaje en el punto de max potencia [V]

$$CB = \frac{t_A * I_d}{P_d} \quad (2.7)$$

Donde:

C_B – capacidad de las baterías [Ah]

t_A – tiempo de autonomía [días]

I_d - corriente necesaria [A]

P_d – profundidad de descarga (0,65 se descargue al 65%) (Daniel Rivas, 2018)

2.4.6 Cálculo de comprobación del sistema regulador-inversor.

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

$$I_R = \max (I_G, I_C) \quad (2.8)$$

El valor de I_G será:

$$I_G = I_{pmpP} * N_P \quad (2.9)$$

Donde:

I_{pmpP} - corriente producida por cada rama en paralelo [V].

N_p - número de ramas en paralelo de paneles.

P_p - potencia pico del panel fotovoltaico [W].

V_{pmpP} - tensión nominal del panel en punto de máxima potencia [V].

El valor de IC será:

$$IC = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{V_{AC}} \quad (2.10)$$

Donde:

P_{DC} – potencia DC

P_{AC} – potencia AC

V_{bat} – voltaje de la batería (48V)

V_{AC} – voltaje de funcionamiento AC

2.4.7 Selección del regulador

La selección del regulador depende del voltaje de salida (V_{oc}) y la corriente de salida (I_{oc}) del arreglo fotovoltaico, así como del voltaje y la corriente de entrada al regulador.

$V_{oc} \text{ arreglo} \leq V \text{ regulador}$

$I_{oc} \text{ arreglo} \leq I \text{ regulador}$

2.4.8 Selección del inversor

La selección del inversor depende de los parámetros siguientes su potencia máxima de entrada y salida, así como del voltaje de entrada del inversor (V_{CD}) y del voltaje de salida que este a su vez debe satisfacer el voltaje necesario a trabajar. Los inversores en trifásicos para conexiones aisladas de la red son todos a 48V, por eso el banco de acumuladores debe ser a 48V. (solar, 2017)

- Potencia nominal inversor
- Voltaje entrada
- Salida
- Potencia salida AC
- Potencia máxima entrada DC
- Máxima corriente entrada DC

Potencia de la instalación [W]	Voltaje de CC de trabajo del sistema [V]
<500	12
500 – 2500	24

2500 – 5000	48
-------------	----

(Atersa grupos elcnor, 2018)

2.4.9 Área de instalación

$$A_s = N_{ps} * A_p \quad (2.11)$$

Donde:

A_s – Área total necesaria para la instalación

N_{ps} – total de paneles

A_p – Área de los paneles

2.5 Impacto ambiental del diseño fotovoltaico propuesto

Teniendo en cuenta los objetivos que se persiguen con la implementación de la tecnología fotovoltaica resulta factible, después de realizado el diseño de la instalación, analizar los beneficios económicos y medioambientales que esta aporta, dado la necesidad de atenuar el uso de los combustibles fósiles y de mitigar de esta manera los efectos de la contaminación ambiental.

De ahí la importancia de valorar la inserción de esta tecnología en la matriz energética nacional, teniendo en cuenta la reducción de CO_2 que se obtiene con su implementación.

Al realizar un análisis energético, se puede determinar la cantidad de combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, y se calcula mediante la expresión:

$$Combustible\ ahorrado = \frac{E \cdot g}{1000} \quad (2.12)$$

Donde:

E – energía consumida [kWh/año]

g - consumo específico de combustible (se toma el de los grupos electrógenos, escogiendo la peor condición, o sea, aquel que ahorrará menos y es igual a 236 g/ kWh).

Se puede obtener la cantidad de CO_2 dejado de emitir a la atmósfera, haciendo uso de la expresión:

$$CO_2\ no\ emitido = \frac{Combustible\ ahorrado \cdot k}{\rho} \quad (2.13)$$

Donde:

k - Coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera (3,119 kg/l).

ρ - Densidad del combustible (0,9781 kg/l).

(Fuentefría, 2016)

2.6 Análisis económico

2.6.1 Costo total de la inversión inicial.

Un indicador muy importante para la realización del análisis económico es el costo total de la inversión inicial, pues es la base para el cálculo de los demás indicadores y se calcula de la forma siguiente:

$$CTI = CI + CO * \left[\frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^{m+1}} \right] \quad (2.14)$$

Donde:

CTI - Costo total de la inversión [\$]

i - Tasa de interés del banco de donde se extrajo el dinero, o la tasa de interés del crédito o préstamo solicitado, fracción.

CI - Costo de instalación (suma del costo de la inversión más el montaje) [\$]

CO - Costo de operación y mantenimiento [\$]

m - Vida útil, se debe utilizar la que el suministrador provea, si no se toma 5 años.

$\left[\frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^{m+1}} \right]$ - Coeficiente que tiene en cuenta el costo de operación y mantenimiento que se produce durante su vida útil.

En este caso el costo de operación no existe, debido a que estos sistemas son totalmente automáticos, por lo que sólo llevará implícito el costo de mantenimiento del equipamiento que se compró, el cual se calcula por la siguiente expresión:

$$CO = 0.03 * CO \quad (2.15)$$

El costo de la instalación también se puede subdividir en:

$$CI = C_{inv} + C_{mont} \quad (2.16)$$

Donde:

C_{inv} - Costo de la inversión [\$]

C_{mont} - Costo del montaje [\$]

El costo de la inversión y montaje se obtiene del proveedor.

2.6.2 Movimiento de fondos.

El movimiento de fondos de una inversión consiste en determinar en cada uno de los períodos en que se dividió el horizonte, cuántos cobros y cuántos pagos se realizan. Para facilitar su confección y análisis se realizará este movimiento en forma de tablas a partir del momento en que se debe culminar la inversión; la resultante de esta tabla va a ser el movimiento de fondos, y se confecciona por períodos, teniendo en cuenta que todo lo que se ahorra se cobrará a más tardar al finalizar el año, y lo que se compra se pagará a más tardar al finalizar el año.

El valor resultante puede ser positivo o negativo, el valor positivo es lo que se desea; el valor negativo significa que la inversión no es recuperable en el horizonte determinado, esto ocurre generalmente cuando el valor de la producción que se logra con la inversión se encuentra por debajo del punto de isorrentabilidad de la empresa.

La depreciación se calcula como tiene normado el país, y se encuentra regulado por el fisco, un 10 % anual del costo de la inversión; sustituyendo en la siguiente ecuación se obtiene el valor de la depreciación para cada variante:

$$D = 0.10 * CI \quad (2.17)$$

Para el cálculo del movimiento de fondos en los costos fijos se tiene en cuenta la depreciación del equipamiento, su falta de inclusión falsearía los resultados, el resto de los costos fijos y variables son los mismos, debido a que se mantienen los mismos operadores y no se introduce ningún consumidor extra de agua ni de electricidad, por lo

que al no sufrir ninguna variación no se incluyen en el movimiento de fondos. El total de cobros no son más que los ahorros que se pueden lograr.

A continuación, se calculan los diferentes criterios de selección para alternativas de inversión, estos son:

2.6.3 Período de recuperación de la inversión.

Se calcula en función de los costos y los ingresos promedios anuales durante el horizonte analizado; para ello se utilizó la siguiente ecuación adaptada para una inversión que va a durar menos de un año; además tiene en cuenta que todos los cobros y los pagos anuales son iguales.

$$Tri = \frac{CTI}{[\text{Cobros} - \text{Pagos} * (Ib + 1)] * (1 - Isr)} \quad (2.18)$$

Donde:

Tri - período de recuperación de la inversión [años]

Ib - Intereses a pagar por préstamos en el año k o intereses dejados de cobrar por extraer dinero del banco.

n - Horizonte analizado.

Isr - Impuesto sobre la renta, es la parte de lo ahorrado que se paga como impuesto a la ganancia de la empresa.

2.6.4 Valor actual neto.

Este criterio tiene en cuenta que el dinero invertido pierde valor con el tiempo, debido fundamentalmente al interés bancario. En su cálculo se actualizan todos los flujos de fondo de un año base, y se compara el flujo equivalente, si es mayor que cero es económico realizar la inversión, ya que permite obtener una mayor cantidad que el dinero invertido inicialmente. Todos los cálculos se realizan sobre la base de un interés conocido.

Su ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum \frac{St * k}{(1+i)^k} \quad (2.19)$$

Donde:

St - Movimiento de fondos [\$]

k - Período analizado (en este caso el año)

2.6.5 Tasa interna de retorno.

Consiste en la tasa de interés calculada cuando la ecuación del valor actual neto se iguala a cero. Se aplica generalmente para determinar qué interés máximo se debe aceptar de los créditos propuestos o existentes en el mercado financiero; o sea, cualquier interés de crédito o préstamo menor que el calculado es aceptable para realizar la inversión. Se calcula despejando el interés de la siguiente ecuación.

$$0 = \sum \frac{St * k}{(1+TIR)^k} \quad (2.20)$$

Donde:

TIR - Tasa interna de retorno, en fracción.

En este análisis se debe tener en cuenta el costo de la instalación, el aporte útil energético de la instalación, el ahorro energético, el respaldo energético convencional y el impacto ambiental de la propuesta.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este capítulo tiene como fin dar respuesta a la metodología planteada en el capítulo anterior, analizar los resultados calculados, determinar el número de componentes para la instalación, realizar la correcta selección del dimensionado, así como analizar los valores energéticos que posibiliten la protección del medio ambiente.

3.1 Cálculo del número total de paneles.

A partir de la evaluación realizada y con el empleo de las ecuaciones que aparecen en el Capítulo 2, apoyándose del Excel y haciendo uso de las tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

Tabla 3.1. Radiación solar sobre el plano inclinado y productividad específica diaria a 30°

Meses	kWh/m ²	Meses	kWh/m ²
Enero	4,73	Julio	5,43
Febrero	5,22	Agosto	5,65
Marzo	5,69	Septiembre	5,50
Abril	6,22	Octubre	5,15
Mayo	5,69	Noviembre	4,45
Junio	5,35	Diciembre	5,29

(Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, 2018)

Tabla 3.2. Promedio de incidencia aprovechable diaria en cada mes [h] (Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, 2018)

Valores de las horas de sol pico en los meses del año.	
Mes	Tiempo promedio aprovechable del día [h]
Enero	4,11
Febrero	5,05
Marzo	6,03

Abril	7,03
Mayo	7,14
Junio	6,78
Julio	7,08
Agosto	6,81
Septiembre	5,91
Octubre	5,07
Noviembre	4,18
Diciembre	3,73

Se ha tomado los valores del "mes peor" o sea diciembre, se ha considerado que la radiación solar incidente en este mes es la de peor condición, se pueden obtener los siguientes resultados:

El rango de voltaje de entrada que soporta el inversor es 150V y 60A de corriente, por lo que se propone que el número de paneles sea de 7 módulos conectados en paralelo y en hileras de 3 conectadas en serie, siendo estos, 21 paneles conectados entre sí, por lo que se agruparan a partir de las características técnicas de los paneles fotovoltaicos en 2 baterías de generadores, en total 42, conectados a 2 reguladores, respectivamente. Se empleará 1 acumulador con capacidad 1610Ah y 3 inversores monofásicos con voltaje de entrada a 48V y salida 220V-380V. Se instalarán protecciones eléctricas.

Se dispondrán en un área de 75,25 m² con una separación entre hileras de generadores de 1,57 m entre ellos, se quiere garantizar que las sombras de los módulos no interfieran con la capacidad de generación de los otros instalados.

3.2 Análisis de la energía generada e impacto ambiental.

La energía que se produce mediante el arreglo fotovoltaico satisface plenamente la exigencia energética de los ventiladores del sistema de climatización, siendo tal arreglo planificado para un día de autonomía, se genera 14295,225 kWh anualmente, mientras que la demanda es de 10876,9 kWh. (Anexo 13)

Se ahorra anualmente 29367,63cuc, siendo esta una cifra considerable, y más significativa aún las 38,51 toneladas de combustible que no serán quemadas favoreciendo así la protección y cuidado del medio ambiente, esto trae como consecuencia que se deje de emitir a la atmosfera 122,784 toneladas de CO₂. Lo cual está de más decir que puede ser considerado como otro paso en favor de la preservación ambiental. (Anexo 13)

3.3 Análisis económico de los resultados.

Mediante el Cálculo asistido por Excel se puede determinar que el tiempo en que se recuperará la inversión aproximadamente será de 1,84 años. En el Anexo 14 se pueden apreciar los datos necesarios para el cálculo.

Tabla de movimientos de fondos						
Conceptos	Años					
	0	1	2	3	4	5
Costo total de la inversion (CTI) [\$]	31358,264	0	0	0	0	0
Costos fijos (D)	0	3135,8264	3135,8264	3135,8264	3135,8264	3135,8264
Total de pagos	31358,264	3135,8264	3135,8264	3135,8264	3135,8264	3135,8264
Total de cobros	0	29367,63027	29367,63027	29367,63	29367,63027	29367,63
Mov de fondos	-31358,264	26231,80387	26231,80387	26231,804	26231,80387	26231,804
Mov acumulado	-31358,264	-5126,460133	21105,34373	47337,148	73568,95147	99800,755
Tri	1,84352945	años	Datos			
VAN	90474,7856	CUC	Tasa de interes (Ib) [%]	2		
TIR	79,1143902	%	Impuesto sobre la renta(Isr) [%]	35		
			Costo de inversion [CUC]	31358,264		
			Ahorro anual [CUC]	29367,63		

CONCLUSIONES

1. La solución propuesta demuestra la versatilidad de la energía solar fotovoltaica en los sistemas de climatización centralizados.
2. La utilización de un sistema de energía solar fotovoltaica en el sistema de aire acondicionado central reduce los costos de la instalación y aumenta la eficiencia de la enfriadora.
3. La solución propuesta es factible económicamente pues la inversión se recupera en solo 1,84 años.
4. Las modificaciones propuestas ejercen un impacto ambiental positivo sobre el medio ambiente al disminuir la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el funcionamiento de parques solares fotovoltaica en el proceso de condensación en otras instalaciones turísticas.
2. Acometer la realización y ejecución de la propuesta realizada.
3. Capacitar al personal relacionado con la actividad de explotación y mantenimiento de la instalación.
4. Extender el estudio de la implementación de energía solar fotovoltaica en otras partes del sistema central de aire acondicionado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acciona, 2015. *Agencia Internacional de la Energía, Revista National Geographic en su número especial del Cambio Climático (noviembre de 2015), 10 argumentos a favor de las energías renovables - Sostenibilidad para todos.* [En línea] Available at: www.sostenibilidad.com/las-energías-renovables [Último acceso: 25 febrero 2019].
2. Anon., 2009. *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red.* Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
3. Anon., 2016. *Generar frío con el sol.* [En línea] [Último acceso: 26 2019].
4. Anon., 2016. *solar-energia.net/contacto/mapa web.* [En línea] [Último acceso: 12 05 2019].
5. Anon., 2019. *cubadebate.* [En línea] Available at: [<http://www.cubadebate.cu/etiqueta/energias-renovables/> | [fuentes renovables de energía](#)] [Último acceso: 16 2019].
6. Asensio, L. P., 2011. *Células solares transparentes: desarrollo actual y aplicaciones.* Cartagena: Industriales etsii UPCT.
7. Ashrae, 2009. s.l.:s.n.
8. Atersa grupos elcnor, 2018. *Como calcular las baterías para un sistema de energía solar fotovoltaica.* [En línea] [Último acceso: 12 5 2019].
9. Biomass Users Network (BUN-CA), 2012. *Manual sobre energía renovable.* Tercera ed. San José, Costa Rica: BUN-CA.
10. Carrier, 2012. s.l.:s.n.
11. Daniel Rivas, E., 2018. *Paneles solares y baterías* [Entrevista] (12 5 2018).
12. Ferreiro, D., 2016. *Con el sol a favor.* *Granma.*

13. Figueredo, C. M., 2009. *Cuba hacia 100% con energías renovables*. [En línea] [Último acceso: 17 marzo 2019].
14. Fuentefría, A. S., 2018. *TRABAJO TEÓRICO EXPERIMENTAL-Influencia del ángulo de inclinación*. vol. 39, n. 3, septiembre /diciembre, p. 146-156 ed. La Habana: s.n.
15. Fuentefría, I. A. S., 2016. *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda* *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda* *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda* *Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda* *Diseño d*, La Habana: s.n.
16. José A. C. González, R. C. P. A. C. S. M.-A. G., 2009. *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
17. José Antonio Carta González, R. C. P. A. C. S. M.-A. C. G., 2009. *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables*. Madrid (España): PEARSON EDUCACIÓN, S.A., .
18. Julieta C. Schallenberg Rodríguez, G. P. I. C. H. R., 2010. *Energías renovables y eficiencia energética*. Segunda ed. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
19. Lamigueiro, O. P., 2015. *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*. [En línea] Available at: <https://github.com/oscarperpinan/esf> [Último acceso: 20 Marzo 2019].
20. Mogro, O., 2019. *Energía Solar en Climatización - Normativa fotovoltaica*. [En línea] Available at: [Energía Solar en Climatización](#) [Último acceso: 13 Abril 2019].
21. Motesa, 2019. *VENTILADORES ZIEHL-ABEGG*. [En línea] Available at: www.motesa.com [Último acceso: 13 Marzo 2019].
22. Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, 2018. s.l.:s.n.
23. Roque., R. C., 2016. *Diseño de una estación de paneles fotovoltaicos para la recarga directa de equipos eléctricos de*, Matanzas: s.n.

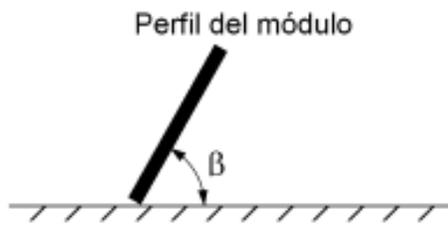
24. Santos, R. D., 2018. *Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica*. vol. 39, n. 3, septiembre /diciembre, p. 146-156 ed. La Habana: Revista de Ingeniería Energética.
25. Sitemap, 2019. www.enfriadoras.com. [En línea] Available at: www.refigeracionzelsio.es/278-condensacion-por-agua [Último acceso: 15 Abril 2019].
26. Society, T., 2008. *Planning and installing Photovoltaic systems: A guide for installers, architects and engineers*, Gran Bretaña., Gran Bretaña.: s.n.
27. solar, a., 2017. autosolar.es. [En línea] [Último acceso: 27 5 2019].
28. Valery V. Vasiliev, E. V. M., 2013. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements*, Canberra: Elsevier Ltd.
29. Val, E. S. D. F. M. d., 2006. *Guia de la energia solar*. Madrid: Industrias Graficas el Instalador,S.L.

ANEXOS

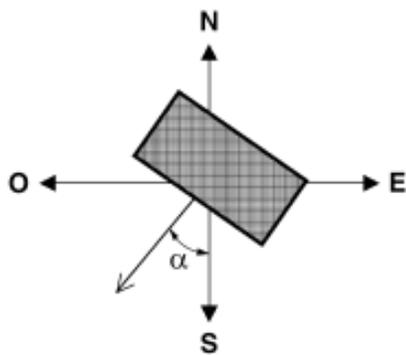
Anexo 1. Situación geográfica del Hotel “Meliá Américas”.



Anexo 2. Ángulo de inclinación β .



Anexo 3. Ángulo de azimut α .

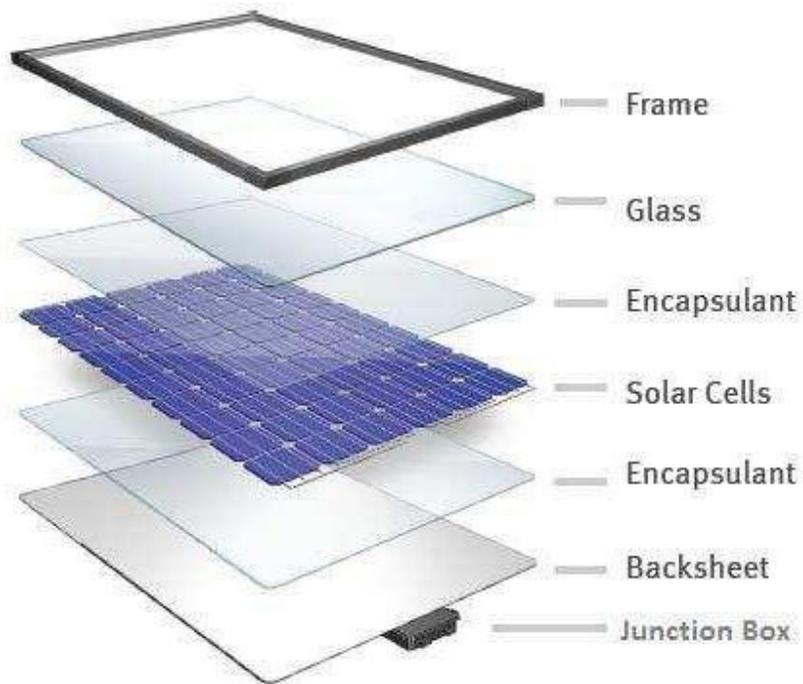


Anexo 4. Datos técnicos del módulo fotovoltaico DSM-250.

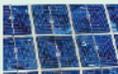
Panel fotovoltaico.

Módulo FV:			
Tecnología de las células: poly			
Módulo actual: <input checked="" type="checkbox"/>			
Características eléctricas:		Coefficientes de la temperatura:	
Potencia nominal:	250.00 Wp	%/°C	mV/°C
Tolerancia de la potencia:	--- %	Tensión MPP:	---
Tensión MPP:	32.30 V	Tensión en vacío:	-0.3692
Corriente MPP:	7.74 A	%/°C	mA/°C
Tensión en vacío:	40.90 V	Corriente de cortocircuito:	0.0500
Corriente de cortocircuito:	8.33 A	Degradación causada por el envejecimiento:	
Tensión del sistema admisible:	1000 V	Tolerancia de tensión en vacío:	0.0
Rendimiento del módulo (Condiciones Normales de Ensayo: CNE):	13.95 %	Tolerancia de tensión MPP:	0.0
Toma a tierra recomendada:	Sin toma a tierra	%	
Características mecánicas:		Tolerancia de corriente MPP:	0.00
Número de células del módulo:		Tolerancia de corriente de corto circuito:	0.00
Peso:	--- kg	Comentario:	
Longitud:	1810 mm		
Ancho:	990 mm		

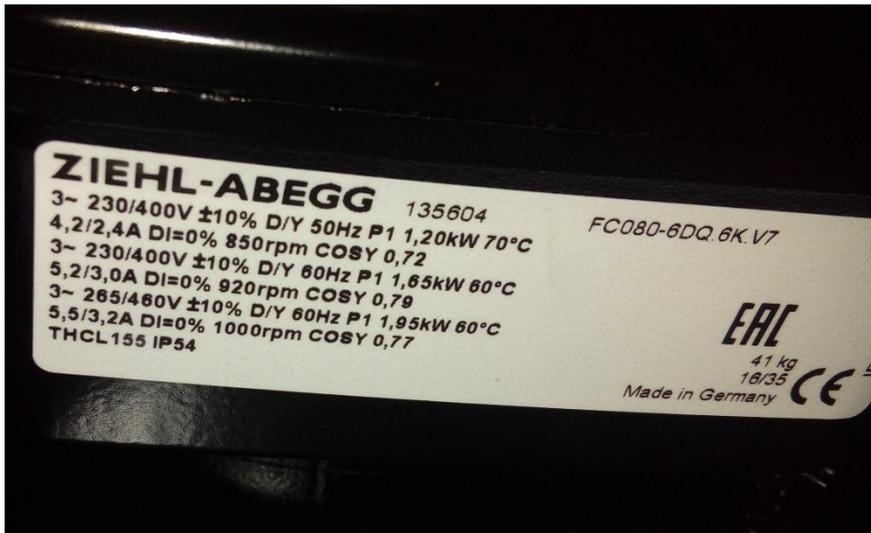
Anexo 5. Capas de los paneles.



Anexo 6. Eficiencia de los módulos fotovoltaicos según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Anexo 7. Datos técnicos de los ventiladores.



Anexo 8. Baterías.

Baterías estacionarias 48V HOPPECKE Power VL (290Ah-4900Ah)



Anexo 9. Regulador



Regulador
MPPT Blue
Solar 150V 60A
VICTRON

Anexo 10. Inversor.



Anexo 11 Datos técnicos del inversor

Detalles de Producto

Información Básica

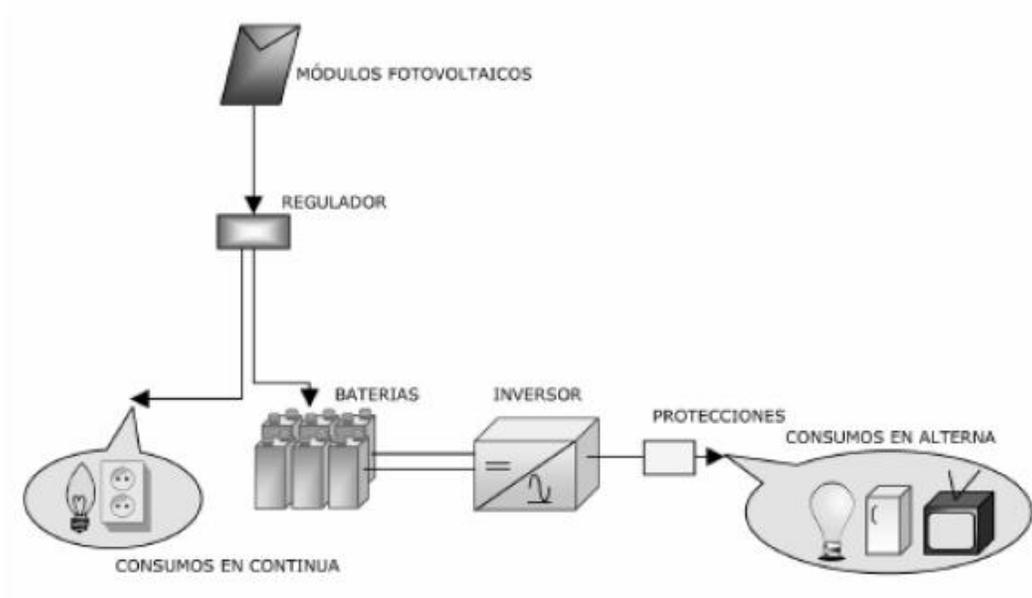
No. de Modelo. 220V 380V200KW
Naturaleza de flujo inversor pasivo
Fuente:
Proceso de dar un título: CCC , ISO 9001 , RoHS , CE
Potencia de salida: > 1000W
Tipo de cuadrícula: fuera de la red inversor
Tipo de salida: Múltiple

[más](#)

Información Adicional

Marca: Sunllent
Embalaje: Standard Export Packing
Estándar: 915*1115*1810mm
Origen: Jiangsu, China

Anexo 12. Conexión.



Anexo 13 Calculo de energía e impacto ambiental.

	M	N	O	P	Q
Energía total generada (E _{tg}) [Wh]		39165	Energía generada anual (E _{tg}) [kWh]	14295,225	
			Energía consumida anual (E _c) [kWh]	10876,9001	
2.5					
Ahorro de combustible [kg]		38504,22635	Ahorro de combustible [tn]	38,50422635	
CO ₂ no emitido [kg]		122783,6438	CO ₂ no emitido [tn]	122,7836438	

Anexo 14. Datos de entrada para el cálculo económico.

Datos para realizar el cálculo económico				
Costo de materiales	PUP [CUC]	PUP [€]	Cantidades	costo total [CUC]
Costo de módulos	250		42	10500
Costo de reguladores	569,184	508,2	2	1138,368
Costo de baterías	13462,4	12020	1	13462,4
Costo de inversores	999,992	892,85	3	2999,976
Costo de estructuras para modulos	77,56	69,25	42	3257,52
tasa decambio [1.00 CUC]-[1.00 €]	1,12		Costo total de	31358,264
Ahorro de energia [kWh/año]	163153,5015			
Ahorro de energia [cuc/año]	29367,63027			

Anexo 15 Datos de entrada para el cálculo del número de paneles.

1	Datos generales		
2	Cantidad de enfriadoras		3
3	Circuitos		6
4	Cantidad de ventiladores x circuito		4
5	Cantidad de ventiladores total		24
6	Tiempo laboral [h]		1
7	Tiempo de autonomía (tA)[días]		1
8	Factor de carga (70%)		0,7
9	Ángulo β [°]		30
10	Ángulo α [°]		0
11	Horas de sol pico aprovechables (hsp) Diciembre		3,73
12	Consumo específico de combustible(g) [g/ kWh]		236
13	Capacidad de refrigeracion [Tn]		130
14	Factor de seguridad (sobredimensionado 30%)		1,3
15	Tarifa económica [\$/h]		0,18
16	Profundidad de descarga (65%)		0,65
17	Consumo de combustible (g) [g/kWh] (se toma el de los grupos		236
18	Coefficiente (k) permite relacionar el combustible no quemado co		3,119
19	Densidad del combustible (ρ) [kg/l]		0,9781
20	Eficiencia dependiendo de la variable climática (η_c) [%]		0,9
21	Potencial solar (Ps) [kWh/m ²]		5,29
22	Horas de trabajo de los ventiladores [h]		15

	D	E	F	G	H
Datos generador DSM-250				Datos ventiladores ZIEHL-ABEGG	
Tecnología de células		policristalino		trifasicos	3 ϕ
Potencia max a STC (Pm) [Wp]		250		Voltaje max ventilador (Vmpp)[V]	380
Voltaje en el punto de max potencia (Vmpp) [V]		32,3		cos ϕ	0,77
Corriente en el punto de max potencia (Impp) [A]		7,74		Corriente max ventilador (Impp) [A]	3,5
Tension en vacio [V]		40,9		frecuencia [Hz]	60
Corriente de cortocircuito [A]		8,33		Potencia ventilador nominal (Pv) [kW]	1,95
Tension del sistema admisible [V]		1000		temperatura [°C]	60
Rendimiento del modulo (STC,CNE) [%]		13,95		Peso [kg]	41
Toma a tierra recomendada		Sin toma a tierra		Rotacion Max [rpm]	1000
Longitud [mm]		1810	1,81	Conexion	D/Y
Ancho [mm]		990	0,99		
Area de 1 panel [m ²]		1,7919			