

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
“Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ingeniería



TRABAJO DE DIPLOMA

Cálculo y selección de un sistema solar térmico para cubrir la demanda de agua caliente en la cocina comedor de la Universidad de Cienfuegos

Autor:

Humberto García Mena

Tutores:

Msc. Jorge Luis Cabrera Sánchez

Cienfuegos, Cuba
Curso 2023

Declaración de autoridad:



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
INGENIERÍA

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica; autorizando para que el mismo sea utilizado para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total, además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certifican que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esa envergadura, referido a la temática señalada.

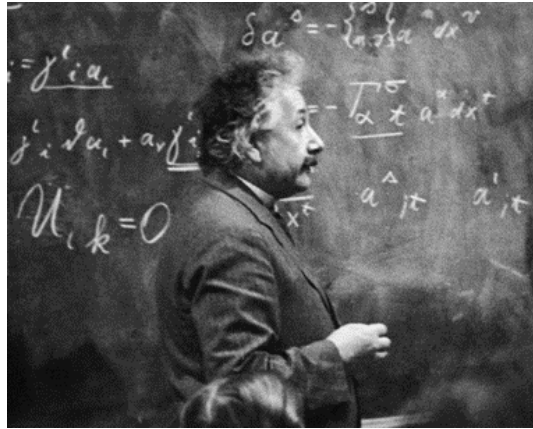
Firma del Vice Decano.

Nombre y Apellidos. Firma.

Información Científico Técnico

Pensamiento:

“La teoría es cuando se sabe todo y nada funciona. La práctica es cuando todo funciona y nadie sabe por qué”.



Albert Einstein.

Dedicatoria:

Dedico este trabajo a mis padres Lisney Mena Valdivie y Gilberto García Pérez, que han estado conmigo en cada paso que he dado, a mis abuelos, a mis hermanos, y a mi familia en general, que con su esfuerzo y sacrificio supieron brindarme su apoyo incondicional en cada momento que los necesite depositando en mí, su confianza para poder ser cada día mejor.

Agradecimientos:

Mis más sinceros agradecimientos, a mi querida madre Lisney Mena Valdivie y a toda mi familia quienes me apoyaron de una u otra forma para que pueda lograr la finalización de mi carrera.

A quien colaboró en esta investigación, Msc. Jorge Luis Cabrera Sánchez como mi asesor de tesis le estoy eternamente agradecido por el interés, la dedicación y confianza que depositó en mí para realizar y culminar este trabajo de forma satisfactoria.

Finalmente agradezco a todos mis amigos que me ayudaron de una u otra forma, al desarrollo del mismo, ya que estos conocimientos serán aprovechados dentro de mi desempeño profesional.

Resumen:

La humanidad se enfrenta actualmente a graves desafíos estrechamente relacionados con el uso insostenible de las fuentes de energía, que tienen importantes consecuencias, entre ellas: sobre el comportamiento climático, la pérdida de diversidad biológica y la contaminación del aire, el agua y el suelo. Para responder a estos desafíos, se están implementando políticas y tecnologías para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promover el uso de fuentes de energía renovables y utilizar las fuentes de energía de manera racional y eficiente.

Este trabajo tiene como objetivo seleccionar un sistema solar térmico para la cocina y comedor de la Universidad de Cienfuegos, en línea con la política energética de Cuba para minimizar su dependencia de los combustibles fósiles y fomentar el uso de energías limpias. Para ello, se utilizó métodos de cálculo tradicionales y software como Solidworks y Sketchup Pro 2021, teniendo en cuenta aspectos como la demanda de agua caliente sanitaria, la geolocalización, áreas disponibles, dimensiones de los módulos de calentadores solares térmicos, tipo de sistema y temperatura final del agua. Además, se realizó un análisis económico para determinar la factibilidad de la inversión y el impacto medioambiental que conlleva.

Entre los resultados aquí evaluados, el consumo de agua según sea necesario, el área de energía solar es mayor, el tipo y el número de tablas instaladas, orientadas, su ángulo de inclinación y al final una evaluación de la economía. Se propuso la implementación y el impacto en el medio ambiente, diciendo que el sistema de calefacción solar es una opción real y estable para satisfacer las necesidades del agua caliente, con ventajas significativas desde el punto de vista. Ahorre electricidad, recupere la inversión y reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras claves: sistema solar térmico (SST), calentadores solares térmicos, agua caliente sanitaria (ACS), inversión, impacto en el medio ambiente

Abstract:

Humanity is currently facing serious challenges closely related to the unsustainable use of energy sources, which have important consequences, including: on climate behavior, the loss of biological diversity and the pollution of air, water and soil. To respond to these challenges, policies and technologies are being implemented to reduce greenhouse gas emissions, promote the use of renewable energy sources, and use energy sources rationally and efficiently.

This work aims to select a solar thermal system for the kitchen and dining room of the University of Cienfuegos, in line with Cuba's energy policy to minimize its dependence on fossil fuels and promote the use of clean energy. To do this, traditional calculation methods and software such as Solidworks and Sketchup Pro 2021 will be used, taking into account aspects such as the demand for domestic hot water, geolocation, available areas, dimensions of the solar thermal heater modules, type of system and temperature. end of water. In addition, an economic analysis will be carried out to determine the feasibility of the investment and the environmental impact it entails.

Among the results evaluated here, the water consumption as needed, the solar energy area is greater, the type and number of boards installed, oriented, their angle of inclination and at the end an evaluation of the economy. The implementation and impact on the environment were proposed, saying that the solar heating system is a real and stable option to meet hot water needs, with significant advantages from the point of view. Save electricity, recover investment and reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: solar thermal system (SST), solar thermal heaters, domestic hot water (DHW), investment, impact on the environment

Índice:

Introducción:	11
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	14
1.1 Situación Medioambiental Actual.	14
1.2 Matriz energética en Cuba y a nivel mundial.	15
1.3 Radiación solar.....	15
1.3.1 Componentes de la radiación solar.	16
1.3.2 Radiación incidente sobre la superficie terrestre.....	17
1.3.3 Distribución geográfica de la radiación solar en Cuba y el mundo.	18
1.4 Agua caliente sanitaria.	20
1.5 Energía Solar Térmica.	20
1.6 Calentadores solares para calentamiento de agua.....	21
1.6.1 Tipos de sistemas solares térmicos.....	22
1.6.2 Principales Tecnologías en Cuba y el Mundo.....	24
Conclusiones parciales del capítulo I:	27
CAPÍTULO 2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA LA COCINA COMEDOR DE LA UNIVERSIDAD.....	28
2.1 Análisis energético de la entidad.....	28
2.2 Tipo de construcción.	29
2.3. Estudio de las potencialidades del sitio donde se pretende instalar la tecnología solar térmica.	29
2.4. Selección del área para la instalación de los módulos solares térmicos.	29
Resultados del análisis en el Sketchup Pro 21.....	30
2.5 Calculo de la demanda de agua caliente sanitaria.....	30
Cantidad de agua caliente demandada (m).....	31
2.6. Selección del Sistema Solar Térmico (SST) a utilizar.	31
Dimensiones del sistema solar térmico para relacionar con el área disponible.....	31
Cálculo del área de captación requerida.....	32
Capacidad hidráulica (T) del termotanque del modelo solar a seleccionar para cubrir la demanda de agua caliente.....	33
Materiales de fabricación.	33
Tipo de sistema.....	33
Selección final del modelo solar.	33
2.7 Cálculo de la cantidad de SST por consumo de agua caliente.	34
Cantidad de calentadores solares necesarios (CMódulos).....	34
2.8 Disposición y ángulo de inclinación óptimo del modelo solar térmico seleccionado. (Cálculos manuales).....	34

Ángulo de inclinación óptimo (Bop)	34
Determinación de la disposición de los calentadores.....	35
Altura desde la base hasta el borde superior del termotanque (h).....	35
Profundidad del calentador solar, (b).	35
Ángulo de la sombra respecto a la horizontal (γ_S).....	36
Distancia de la arista superior de un colector a la arista inferior del otro respecto a la horizontal (a)	36
Distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran pérdidas por sombra (dmin)	36
Distancia mínima entre colectores por fila(J).....	36
Cálculo del número máximo de sistemas solares térmicos por fila.....	36
Cálculo del número máximo de filas de sistemas solares térmicos.....	37
Comprobación de la cantidad de calentadores respecto al área disponible	37
2.9 Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.....	37
Fuerza del viento sobre el calentador solar (F)	37
Velocidad frontal de los vientos (Vf)	38
2.10 Disposición y ángulo de inclinación óptimo. (Según Software).....	38
Conclusiones parciales del capítulo II.	39
Capítulo III. Análisis Económico y Medioambiental.	40
3.1 Análisis Económico	40
3.1.1 Calculo del ingreso.....	40
Energía eléctrica consumida por la tecnología anterior (Ec).	40
Ahorro energético anual (Ae).....	40
3.1.2 Determinación del Período Simple de Recuperación (PSRI).....	40
3.1.3 Cálculo del interés simple.....	41
3.1.4 Determinación del flujo de caja.....	41
3.1.5 Determinación de la tasa de interés real (R).	42
3.1.6 Determinación del valor presente neto.	42
3.1.7 Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).	43
3.1.8 Determinación del Período Real de Recuperación de la Inversión (PRI).	43
3.2 Análisis medioambiental.....	43
3.2.1 Cantidad de combustible ahorrado.	43
3.2.2 Cantidad de CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera.	44
3.2.3 Impacto económico del ahorro de combustible generado	44
Conclusiones parciales del capítulo III	44
Conclusiones generales.....	46

Recomendaciones	47
Bibliografía.....	48
Anexos.....	53

Introducción:

Las observaciones técnicamente fundamentadas del sistema climático global muestran que el calentamiento está provocando que los niveles de hielo y nieve disminuyan, que el nivel del mar aumente y que aumenten las concentraciones de gases de efecto invernadero. Actualmente, el 85% de la energía mundial se produce a partir de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo. Esto ha provocado grandes cambios ambientales en el planeta, desertificación, aumento de eventos climáticos adversos, grandes olas de calor y derretimiento de glaciares; algunas consecuencias del uso excesivo de estos recursos limitados (Mohammad, 2022). El aumento de la concentración de dióxido de carbono se debe principalmente a las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles. Analizamos la contribución humana a los cambios anteriores y concluimos que es la principal causa del calentamiento observado desde 1950. La matriz energética y la matriz energética global estuvieron dominadas por los combustibles fósiles y la economía del mundo desarrollado se construyó sobre ellos, pero los avances tecnológicos en el mundo moderno permiten fuentes de energía más limpias que nos llevan hacia adelante por un camino conocido como transición energética, desde una transición del consumo de combustibles fósiles a la electrificación lograda mediante energías limpias, sin ignorar el proceso de la cuna a la tumba. Análisis del ciclo de vida de cualquier tecnología de generación de energía que tenga un impacto ambiental.

Según el Balance UNE 2019, el sector eléctrico cubano se caracteriza por un alto nivel de electrificación, una producción de energía descentralizada (alrededor del 70%) y un bajo, pero creciente consumo energético per cápita. Sin embargo, la dependencia del combustible importado ha alimentado el interés del gobierno en hacer un mejor uso de los recursos del país para aumentar la seguridad energética y la independencia de Cuba, haciéndola menos vulnerable a los cambios externos. En los últimos años Cuba ha puesto gran énfasis en el uso responsable de la energía, asegurando la eficiencia y la conservación de la energía. Desde 1997, la intensidad energética ha disminuido, y en los últimos seis años esta disminución se ha intensificado, principalmente debido a la crisis económica, el bloqueo económico y comercial de Estados Unidos y el crecimiento del sector servicios, es decir, desde 2017, la intensidad energética ha disminuido. El tamaño ha aumentado. Las medidas de confinamiento se intensificaron a finales de 2019, la pandemia de COVID-19 estalló en el primer trimestre de 2020 y la situación energética se deterioró significativamente (Korkeakoski et al., 2022). Por lo tanto, el país debe apostar cada vez más por el uso de energías renovables para reducir la carga económica del país en este sentido, y al mismo tiempo aportar un granito de arena a la salud global (Guerrero, 2021). Si se apoya su desarrollo, esto aliviará los tradicionales. Impacto ambiental de la producción, distribución y consumo final de energía. Sobre el tema de las energías renovables en Cuba, y la energía solar en particular, (Mass, 2022) presenta un estudio sobre métodos de cálculo para el

dimensionamiento y selección de calentadores solares para realizar este trabajo de aplicación en la cocina comedor de la Universidad de Cienfuegos. El objetivo es utilizar energía solar para cubrir la mayor parte del agua caliente de la instalación sin consumir electricidad de la red nacional. El uso de energía solar no provoca contaminación del agua. No tiene nada que ver con la naturaleza, se caracteriza por ser completamente gratuita, abundante e inagotable. Un sistema de calefacción solar es un sistema que utiliza paneles solares para calentar agua o líquidos. Los paneles captan la energía solar y la utilizan para calentar el líquido, que luego se almacena en tanques para su posterior uso en calefacción, agua caliente o procesos industriales. Los sistemas de calefacción solar son una forma sostenible y eficiente de utilizar la energía solar para reducir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones de carbono.

El término "agua caliente sanitaria" se refiere al agua caliente suministrada para uso doméstico, sanitario y sanitario. Esta agua se utiliza para ducharse, bañarse, lavarse las manos, limpiar herramientas y otras necesidades diarias. El suministro de agua caliente es esencial para mantener condiciones sanitarias y confortables en edificios residenciales, residenciales, comerciales e institucionales.

Problema:

¿Cómo satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria en la cocina comedor sin afectar el consumo de hidrocarburos de la Universidad de Cienfuegos?

Hipótesis:

Si se calcula y selecciona un sistema de calentamiento solar térmico para uso de agua caliente sanitaria en la cocina comedor se podría estar contribuyendo de manera significativa a la limpieza y esterilidad de esta instalación, además de utilizar energía limpia para reducir la contaminación ambiental.

Objetivo general:

Calcular y seleccionar un sistema de calentamiento solar térmico, que asegure la necesidad de ACS que se consume para brindar los servicios que presta el comedor estudiantil de la Universidad de Cienfuegos, al menor costo económico y ambiental posible.

Objetivos específicos:

- Estudiar las tendencias nacionales e internacionales de la utilización de energía solar térmica en edificaciones y principales tecnologías.
- Seleccionar un sistema de calentamiento solar térmico, que garantice la demanda de ACS que se consume en la prestación de los servicios que presta el comedor estudiantil de la UCF
- Determinar el impacto económico y ambiental de la solución propuesta, para contribuir al uso eficiente y sostenible de los recursos energéticos en el país.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

1.1 Situación Medioambiental Actual.

Según (Zieliński, 2022) la demanda mundial de electricidad aumentó un 3% en el primer semestre de 2022 en comparación con el mismo período del año pasado; Esto estaba en línea con el promedio histórico. La energía eólica y solar alcanzaron el 77% de este crecimiento de la demanda, y la energía hidroeléctrica más que el resto. En China, el aumento en la generación eólica y solar alcanzó el 92% de su aumento en la demanda de electricidad; en los Estados Unidos fue del 81%, mientras que en India fue del 23%. El consumo mundial de petróleo disminuyó a un 32%, pero a pesar de la reducción, mantuvo la primera posición en la matriz energética global. El carbón se posicionó en segundo lugar con un 28%, mientras que el gas natural aumentó su cuota de participación en la energía primaria a nivel global con un 30%. El uso de combustibles fósiles representa el 85% del total de energía primaria consumida a nivel mundial, mientras que la energía nuclear y renovable representaron el 4% y 11% del consumo de energía primaria en el mundo, respectivamente.

Además, se prevé que la energía procedente de fuentes renovables supere por primera vez un tercio del suministro eléctrico mundial total el próximo año. El crecimiento de la demanda mundial de energía repuntará en 2024 tras ralentizar en 2023. Es importante destacar que el uso de energías renovables ha sido más resiliente frente a los impactos de COVID-19 en el sector energético, y el consumo de energías renovables no convencionales (solar, eólica, geotermia) aumentó en un 4% en América Latina y el Caribe durante la pandemia de COVID-19, mientras que el consumo de hidroelectricidad solo disminuyó un 5.5% en la región (Zieliński, 2022) como se muestra en la figura 1.1.

Aunque el uso de combustibles fósiles sigue siendo predominante, se espera que la energía renovable tenga un papel cada vez más importante en la matriz energética global en el futuro.

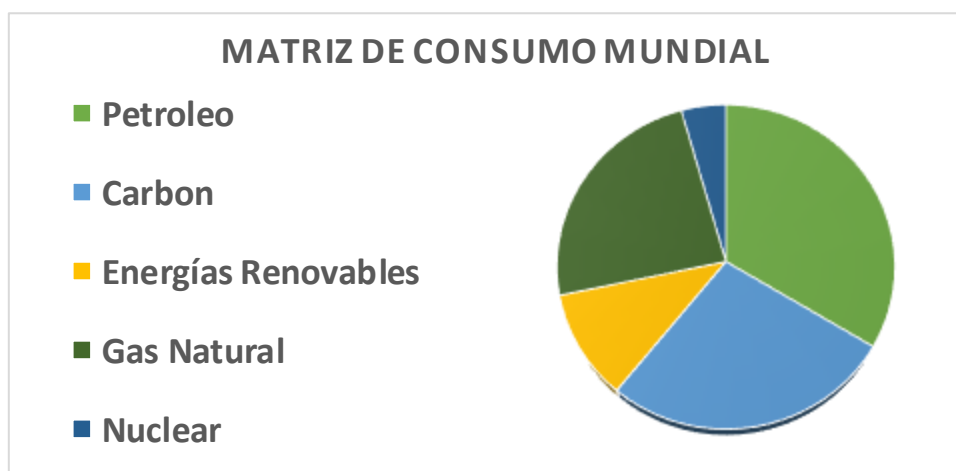


Figura 1.1. Consumo mundial de energía primaria. agosto 2022. (Zieliński, 2022)

1.2 Matriz energética en Cuba y a nivel mundial.

Es importante destacar que el proceso de generación de electricidad en Cuba es muy costoso y el país realiza un gran esfuerzo para mantener la generación de electricidad en medio de la difícil situación económica que atraviesa, agudizada por la pandemia de COVID-19 y el impacto del asedio económico, comercial y financiero de Estados Unidos.

En Cuba el 43.7% de la capacidad de generación de electricidad se produce en centrales termoeléctricas, el 15.9% con motores a Fuel Oil y el 28% con motores diésel. Estas dos últimas tecnologías se encuentran en los emplazamientos de generación distribuida instalados en todas las provincias del país. Además, casi el 8% de la electricidad se produce con gas acompañante de la producción de petróleo, el 5% proviene de fuentes renovables de energía (agua, sol y viento) y cerca del 3% restante se produce en las unidades flotantes enclavadas en el Mariel (Mass, 2022) como muestra la figura 1.2.

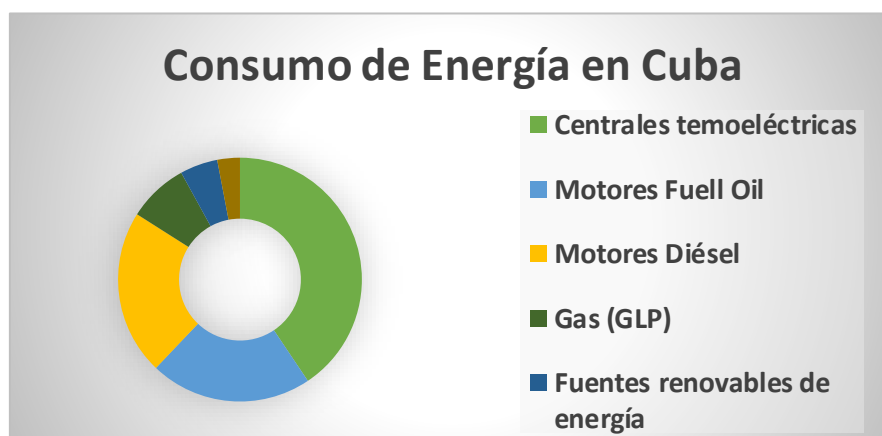


Figura 1.2. Consumo energético cubano (Mass, 2022).

1.3 Radiación solar.

La radiación solar, proveniente del Sol, es un fenómeno de vital importancia en el estudio de la energía y el medio ambiente. El Sol, una esfera ardiente con una temperatura media de 5 778 K (5 505 °C), alberga en su núcleo reacciones de fusión nuclear que generan una pérdida de masa transformada en una inmensa cantidad de energía. Esta energía se propaga hacia el exterior en forma de radiación solar, abarcando un espectro que va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

Es importante destacar que no toda esta radiación logra alcanzar la superficie terrestre debido a la interacción con los gases presentes en la atmósfera. Específicamente, las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por estos gases, lo que limita su llegada a nuestro planeta (Zhou, et al., 2021). Para

cuantificar la radiación solar que efectivamente alcanza la Tierra, se utiliza la magnitud conocida como irradiancia, que mide la potencia por unidad de superficie. Su unidad de medida es el vatio por metro cuadrado (W/m^2).

Este conocimiento acerca de la radiación solar y su distribución es fundamental para comprender los procesos energéticos que ocurren en nuestro planeta y para desarrollar estrategias que aprovechen de manera eficiente y sostenible esta valiosa fuente de energía renovable. En este sentido, resulta imperativo seguir investigando y desarrollando tecnologías que permitan maximizar el aprovechamiento de la radiación solar, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y a la construcción de un futuro más sustentable para las generaciones venideras.

1.3.1 Componentes de la radiación solar.

Reflexión (Albedo):

El poder reflectante o parte de la radiación reflejada de la superficie terrestre o de cualquier otra superficie se llama albedo. El albedo medio de los planetas es del 30%. Esta energía se pierde y no tiene ningún efecto sobre el calentamiento atmosférico. El albedo varía de un lugar a otro y de un momento a otro, dependiendo de la nubosidad, las propiedades de la superficie, la inclinación de los rayos del sol, las partículas en el aire, etc. La luna tiene un albedo de sólo el 12% porque no tiene atmósfera y brilla intensamente en las noches de luna llena. Generalmente, las superficies oscuras y dañadas tienen una reflectividad menor que las superficies claras y lisas. Al aumentar la humedad del suelo, este absorbe más radiación global y afecta así al régimen térmico de la superficie regada. El albedo del suelo suele oscilar entre el 10% y el 30%, en el caso de lodo húmedo su valor se reduce al 5% y en el caso de arena seca su valor aumenta al 40%. El albedo oscila entre el 10% y el 25% para cultivos y bosques, y la nieve reciente es del 80% al 90%. El albedo promedio del agua es menor que el albedo de la tierra porque la luz del sol penetra más a través del agua que a través de la tierra. El albedo del agua se ve afectado por la turbidez; aumenta en agua sucia en comparación con agua limpia. (IDEAM, s. f.)

Absorción:

Según (IDEAM, s. f.) Un gas absorbe energía cuando la frecuencia de la radiación electromagnética coincide con la frecuencia de vibración de las moléculas del gas. Cuando un gas absorbe energía, se convierte en movimiento molecular interno, lo que hace que la temperatura aumente. La atmósfera es un fluido formado por diferentes tipos de gases, cada uno de los cuales se comporta de manera diferente absorbiendo selectivamente energía en diferentes longitudes de onda y en algunos casos es transparente en ciertos rangos espectrales. La atmósfera es principalmente débilmente absorbente o transparente en la parte visible del espectro, pero tiene una capacidad

considerable para absorber la radiación ultravioleta solar o la radiación de onda corta, y el ozono es el principal causante de este fenómeno. Además, la atmósfera absorbe bien la capacidad de la Tierra para emitir radiación infrarroja o de onda larga causada por el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso.

Dispersión:

La radiación del sol viaja en línea recta, pero los gases y partículas de la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. La dispersión ocurre cuando un fotón choca contra un obstáculo, que solo cambia la dirección de viaje del fotón sin absorción. La dispersión depende de la longitud de onda, cuanto más corta sea la longitud de onda, mayor será la dispersión. El tamaño relativamente pequeño de las moléculas de gas en comparación con la longitud de onda hace que la radiación incidente se disperse en todas direcciones (hacia adelante y hacia atrás), un fenómeno conocido como dispersión de Rayleigh. El proceso de difusión explica cómo se ilumina una zona sombreada o parte sin luz solar y cómo llega hasta ella la luz difusa o la radiación difusa. La dispersión de la luz se refiere a su separación en colores. Las longitudes de onda tienen diferentes ángulos y diferentes colores. Siguen el orden del arco iris: el rojo tiene la longitud de onda más larga y el violeta la más corta. (Padrón, 2022).

1.3.2 Radiación incidente sobre la superficie terrestre.

Según (Zhou et al., 2021) la disponibilidad de energía procedente del Sol depende de la localización geográfica de un punto en la Tierra (latitud, longitud, elevación), además de factores astronómicos como la época del año y la duración del día. Todos estos factores pueden ser determinados con menor o mayor grado de exactitud para estimar la cantidad de energía solar disponible. Sin embargo, el factor que afecta mayormente su disponibilidad efectiva son las nubes. La radiación que finalmente llega a la superficie de la tierra se clasifica en radiación directa, difusa y global cose se observa en la figura 1.3.

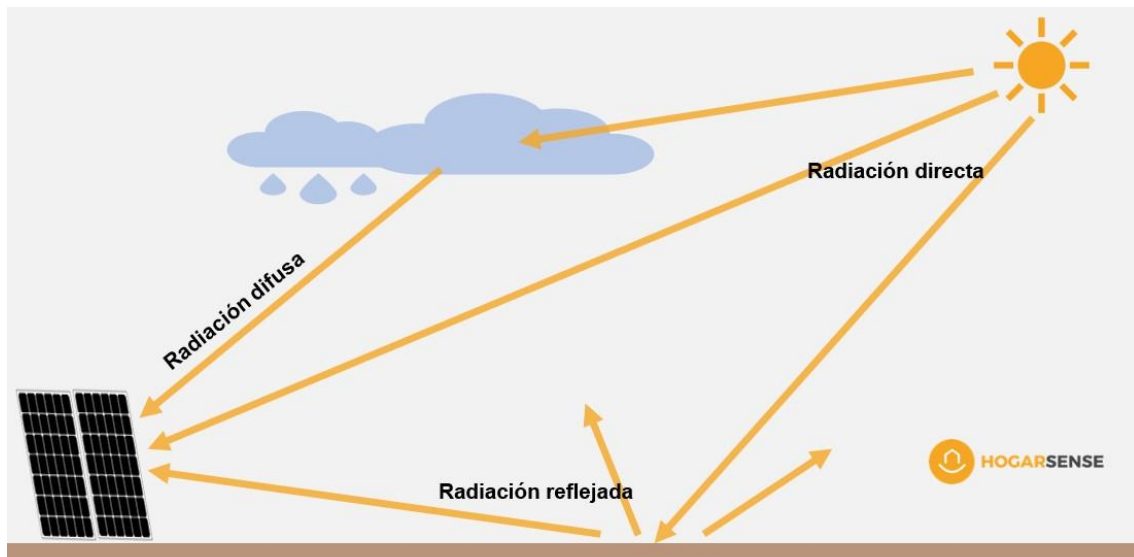


Figura 1.3. Componentes de la radiación global. Imagen extraída de Google.

Radiación directa (H_b).

Es la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra en forma de rayos provenientes del Sol sin haber sufrido difusión, ni reflexión alguna. Esta radiación llega a la superficie de la Tierra, sin cambios de dirección (Sun, 2022).

Radiación difusa (H_d).

Es la componente de la radiación solar que, al encontrar pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera en su camino hacia la tierra e interactuar con las nubes, es difundida en todas las direcciones. También es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera a diferencia de la radiación solar directa.

1.3.3 Distribución geográfica de la radiación solar en Cuba y el mundo.

Debido a la forma esférica de la Tierra, las propiedades de su superficie y su posición con respecto al Sol, la energía que proviene del Sol y que afecta a todos los puntos de la Tierra no es constante. Los países ubicados a ± 35 grados de latitud ecuatorial se conocen como la región del Cinturón Solar porque experimentan algunos de los niveles anuales más altos de radiación solar en la Tierra. Los países más importantes del Cinturón del Sol son China, India, Sudáfrica, Brasil y México. La comunidad internacional está muy interesada en la región, por lo que innumerables empresas están invirtiendo en energía solar, ya que el desarrollo de esta tecnología en la región es aún pequeño. Actualmente, sólo el 9% de las instalaciones solares del mundo están ubicadas en países del Cinturón del Sol. Esto indica que aún se necesitan todos los pasos para promover y desarrollar aún más la industria solar en la región. Porque no sólo ayuda a generar más electricidad para el consumo, sino que también mejora

la calidad de vida de gran parte de la población que vive en extrema pobreza y fortalece la economía local.(Renovables Verdes, 2010)

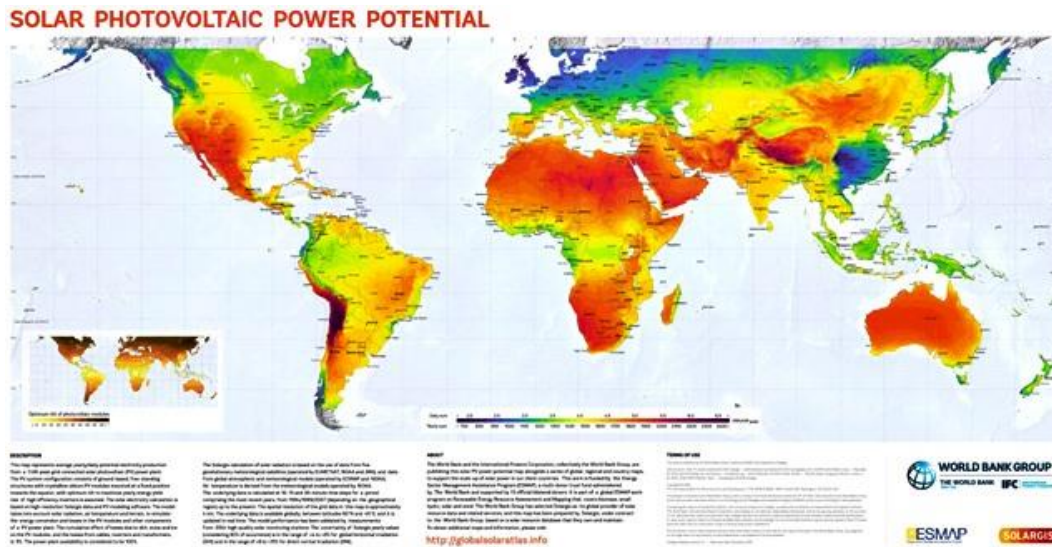


Figura 1.4 Atlas solar mundial. Tomada de TYS Magazine

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 et al., 2018)

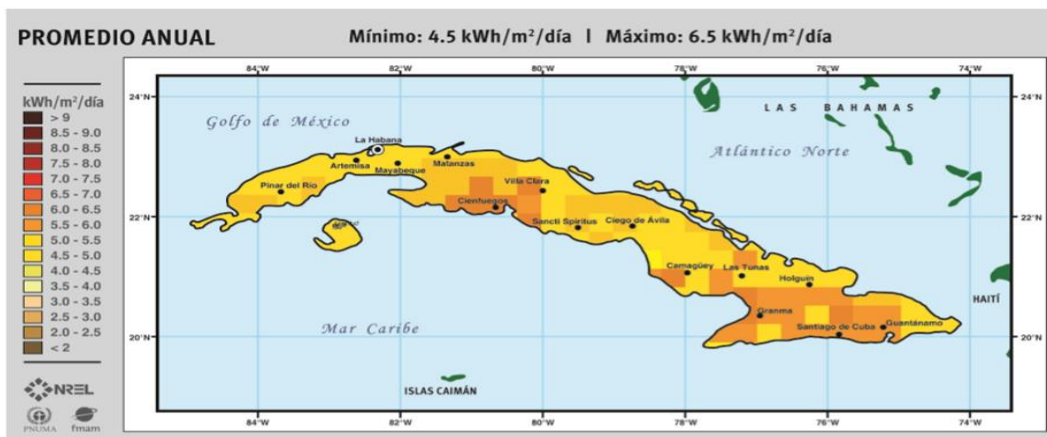


Figura 1.5 Radiación solar en Cuba. Imagen extraída de (Lovell, 2022)

1.4 Agua caliente sanitaria.

El término "agua caliente sanitaria" se refiere al agua caliente suministrada para uso doméstico, sanitario y sanitario. Esta agua se utiliza para ducharse, bañarse, lavarse las manos, limpiar herramientas y otros usos diarios. El suministro de agua caliente es esencial para mantener condiciones sanitarias y confortables en edificios residenciales, residenciales, comerciales e institucionales. El suministro de agua caliente es un aspecto esencial en el diseño y planificación de la edificación, ya que afecta directamente a la calidad de vida de los residentes y al consumo energético del edificio. La eficiencia energética y la sostenibilidad son consideraciones clave a la hora de implementar sistemas de agua caliente sanitaria, y el uso de tecnologías como los calentadores de agua solares pueden reducir significativamente el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociados con el calentamiento del agua.

1.5 Energía Solar Térmica.

Se entiende por energía solar térmica la conversión de la energía de la radiación solar en energía térmica o energía térmica. Esta conversión se realiza mediante dispositivos especialmente diseñados llamados colectores solares. Cómo almacenar agua caliente para su uso posterior:

Agua caliente sanitaria, uso industrial, calefacción de espacios, calefacción de piscinas, secaderos, aire acondicionado, etc. Por tanto, la energía solar térmica utiliza directamente la energía que recibimos del sol para calentar líquidos. Se diferencia de la energía solar fotovoltaica en que aprovecha las propiedades físicas de ciertos materiales semiconductores y utiliza la radiación solar para generar electricidad. (Emerson, s. f.).

La conversión de la energía solar en energía térmica se produce directamente todos los días sin intervención humana en el proceso. Todos hemos intentado quemar un trozo de papel con una lupa. La lupa enfoca los rayos del sol en un punto determinado de su superficie (foco). Esta concentración de rayos (y por tanto de energía) eleva rápidamente la temperatura del papel, provocando que se queme. Este ejemplo es muy sencillo de implementar y los resultados son

muy espectaculares, permitiéndonos ver cómo la radiación solar se convierte instantáneamente en energía térmica. Pero en realidad, ni siquiera es necesario concentrar los rayos del sol para lograr la conversión de calor deseada. Cualquier sustancia experimenta de forma natural un aumento de temperatura cuando se expone a la radiación solar. Mientras que una superficie negra absorbe toda la radiación visible (por eso la vemos negra), una superficie blanca refleja toda la radiación que llega a su superficie, por lo que su aumento de temperatura será muy pequeño. En las instalaciones térmicas, los captadores solares utilizarán superficies oscuras para absorber la mayor cantidad de radiación solar posible. Por tanto, la luz solar directa que incide sobre el sistema de recogida en un día soleado es suficiente para conseguir la dosis de energía necesaria para su uso en diversas aplicaciones. Si realmente queremos utilizar esta fuente de energía, tan beneficiosa para los ciudadanos por sus ventajas medioambientales y su grado de autonomía, debemos, por supuesto, evitar que la energía resultante desaparezca más adelante. (López-Cózar, 2006)

1.6 Calentadores solares para calentamiento de agua.

Un calentador solar de agua es un sistema fototérmico capaz de utilizar la energía térmica del sol para el calentamiento de agua sin usar ningún tipo de combustible. Se compone de: un colector solar, donde se captura la energía del sol y se transfiere al agua; un termotanque, donde se almacena el agua caliente; y un sistema de tuberías por donde circula el agua (Strevel, s. f.)

Colector solar: también conocido como "panel termo-solar" o "captador solar", es la pieza principal del calentador y tiene la función de captar la energía solar para luego transferirla al agua. Existen tres tipos de colectores solares: colector plano, tubos evacuados de vidrio con o sin tubos de calor (heat pipes) y colector de plástico. La radiación solar incide sobre la superficie captadora, ésta la transforma en calor para luego transferirla al agua que circula a través de los tubos de plástico, que están integrados a dicha superficie.

Termotanque: es la parte donde se almacena el agua caliente. Su forma es cilíndrica y se puede ubicar de forma horizontal o vertical. Normalmente está fabricado en materiales como plástico reforzado o metal. El termotanque es un elemento primordial para el sistema del calentador solar, ya que en esta parte se almacena el agua caliente.

Sistema de tuberías y válvulas: es el encargado de "transportar" el agua entre el colector, el termotanque y el sistema sanitario mediante el efecto termosifón. Dependiendo de las condiciones externas, algunos sistemas de calentamiento solar de agua requieren adicionalmente de una bomba. Estos sistemas funcionan bajo el principio de circulación forzada.

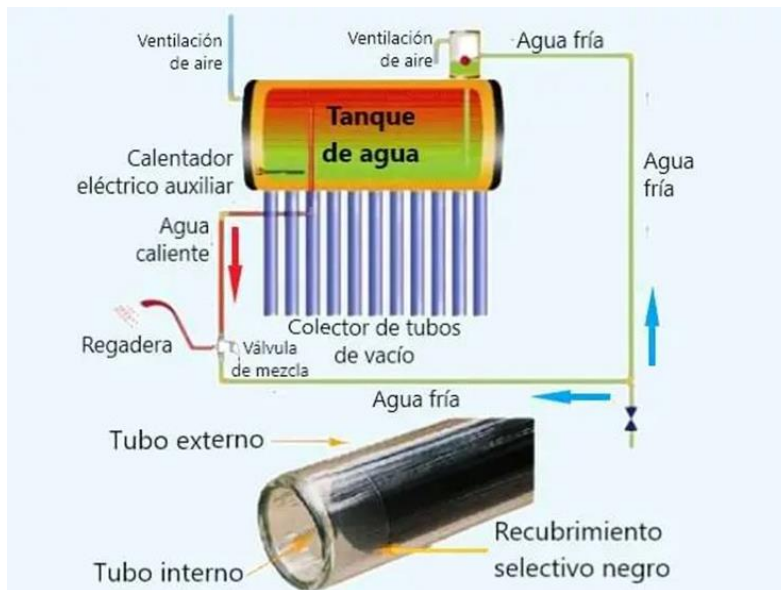


Figura 1.6 Partes principales de un calentador solar. Imagen extraída de Google

1.6.1 Tipos de sistemas solares térmicos.

En los SST existen tres tipos de sistemas los cuales se diferencian por el tipo de aplicación, uso final del fluido y diseño de la instalación.

- **Sistemas de baja temperatura:**

Los sistemas de calefacción solar se pueden clasificar según la temperatura que producen, siendo los sistemas de baja temperatura los más comunes y capaces de calentar agua hasta 50°C a 65°C. Estos sistemas se utilizan en áreas comerciales como hoteles e industrias, así como en áreas residenciales debido a su facilidad de instalación y mantenimiento (Salcedo, 2021). Los sistemas de calefacción solar se pueden utilizar para calentar agua sanitaria, calentar agua de piscinas, calentar agua industrial y precalentar. Además, los sistemas de calefacción solar también se pueden clasificar según los principios de circulación, los sistemas de transferencia de calor, la construcción y la presión de trabajo. Los componentes de los sistemas solares térmicos incluyen el colector solar, el tanque acumulador, la bomba de circulación, el intercambiador de calor y el sistema de control como se muestra en la figura 1.7.

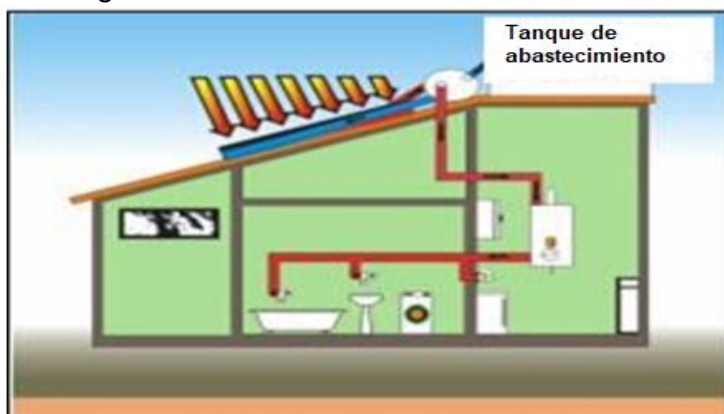


Figura 1.7. Sistema de baja temperatura. Imagen tomada de (Salcedo, 2021).

- **Sistemas de media temperatura:**

Los sistemas de calefacción solar de temperatura media se utilizan principalmente en aplicaciones industriales con requisitos de temperatura entre 100 y 400 grados Celsius (Pacheco, et al., 2021). Estos sistemas se utilizan para producir vapor o calentar otros líquidos durante procesos como secado, esterilización, limpieza, evaporación, generación de vapor y acondicionamiento en naves industriales. Además, los sistemas de calefacción solar de media temperatura se pueden clasificar según el tipo de captador solar utilizado, como por ejemplo captadores solares de tubos de vacío o captadores solares de concentración. Los colectores solares tubulares de vacío pueden alcanzar temperaturas de hasta 120°C y se instalan principalmente en edificios de gran altura que requieren más calefacción, como oficinas, hospitales, aeropuertos y restaurantes. Por otro lado, los sistemas solares térmicos de alta temperatura se utilizan para generar vapor y electricidad, mientras que los sistemas de baja temperatura se utilizan para generar agua caliente.

- **Sistemas de alta temperatura:**

Los sistemas solares térmicos de alta temperatura se utilizan para generar vapor y electricidad. Sin embargo, el calor extremo también puede ser peligroso para la salud humana, especialmente para los trabajadores que están expuestos a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo. Las altas temperaturas aumentan el riesgo de enfermedades causadas por el calor, como agotamiento por calor, insolación e insolación, que pueden ser mortales. Las industrias que requieren trabajar en entornos de alta temperatura, como la agricultura, la construcción, la jardinería, la extracción de petróleo y gas y el transporte de productos agrícolas, materiales de construcción y otros materiales pesados, deben tomar precauciones para proteger a los trabajadores de las enfermedades causadas por el calor. Algunas medidas preventivas incluyen proporcionar agua potable, acceso a la sombra, tomar descansos preventivos en la sombra, tener un plan escrito eficaz de prevención del golpe de calor y capacitar a los empleados sobre los síntomas y las respuestas al golpe de calor, como se muestra en la figura 1.8

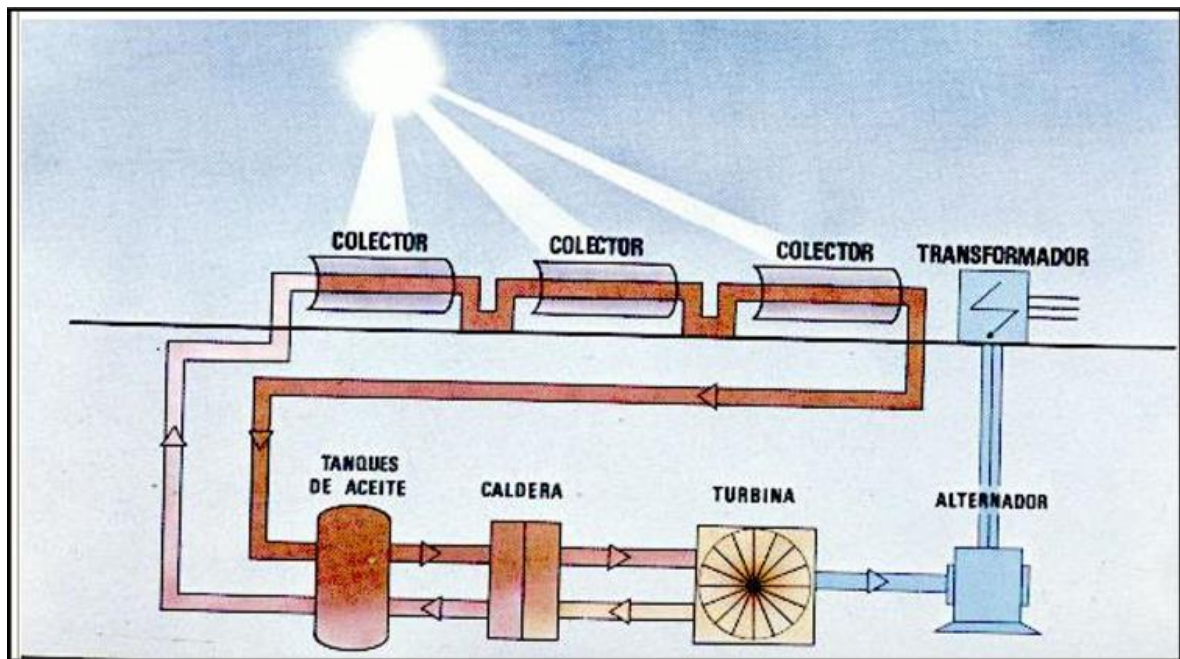


Figura 1.8. Esquema de un sistema de alta temperatura. Imagen tomada de (Salcedo, 2021).

Para este estudio se llevó a cabo un análisis más profundo de los sistemas de baja temperatura ya que es el más apropiado para instalar en hoteles, casas y empresas que tengan como fin obtener agua caliente entre 50°C y 65°C para uso sanitario.

1.6.2 Principales Tecnologías en Cuba y el Mundo.

- **Calentador solar de tubos al vacío:**

Consisten en dos o tres tubos, dos tubos metálicos interiores y un tubo exterior de vidrio de borosilicato, normalmente concéntricos, como se muestra en la figura 1.9. Se crea un vacío entre el tubo de vidrio y el tubo metálico interior (que debe ser negro), ya que la forma tubular permite que el tubo resista alta presión y capture la máxima cantidad de radiación solar, como se muestra en la figura 1.10. Cabe señalar que el vacío está diseñado para reducir la pérdida de calor por conducción y convección, lo que resulta en una temperatura más alta. El resultado final es que la pérdida de calor por convección y conducción se reduce significativamente en el colector tubular, la temperatura de funcionamiento aumenta y la eficiencia práctica se sitúa entre el 60 y el 70%. (Mass, 2022)

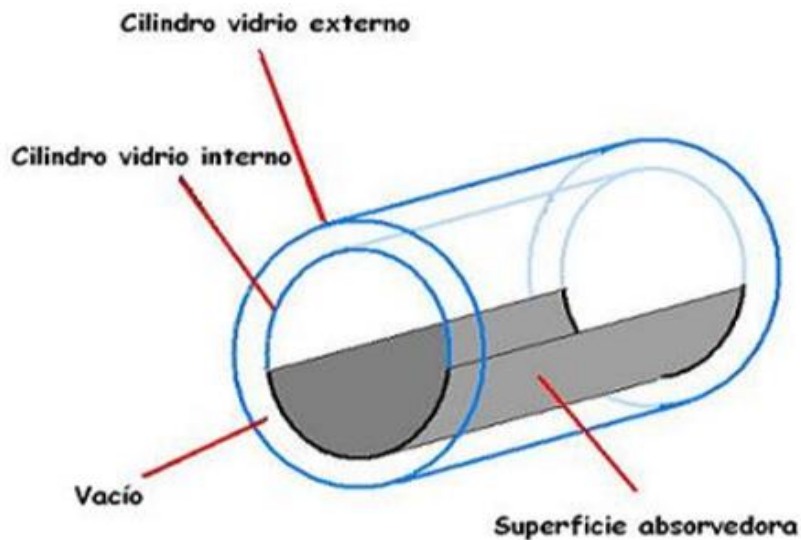


Figura 1.9. Sección del tubo al vacío. (Mass, 2022).



Figura 1.10. Calentador solar de tubos al vacío. Imagen extraída de Google.

- **Calentadores solares de placa plana:**

Los colectores solares de panel plano son sistemas de captación de energía en los que la energía solar incidente debe pasar a través de una o más capas (normalmente vidrio u otros materiales transparentes adecuados) antes de llegar a la placa absorbente negra, que es el elemento más importante del colector solar. con tuberías adjuntas por las que circula el fluido portador de calor. Luego, este calor se conduce al fluido de trabajo, que finalmente extrae la energía térmica del colector solar y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico. El vidrio o sus sustitutos desempeñan un doble papel importante al reducir la pérdida de calor al ambiente circundante por radiación y convección a través de la parte superior del colector, además de permitir que la radiación solar se transfiera a la placa absorbente (Mass, 2022). En la figura 1.11 se muestra un ejemplo de este tipo de calentador.



Figura 1.11. Modelo de calentador solar de placa plana. Imagen extraída de Google

En cuanto a la disposición de los tubos que van dentro de los colectores solares que transportan el agua para ser calentada existen dos configuraciones muy comunes, una alternativa es la tubería en forma de serpentina y la segunda es construirla con tubos paralelos como los que se muestran en la figura 1.12.

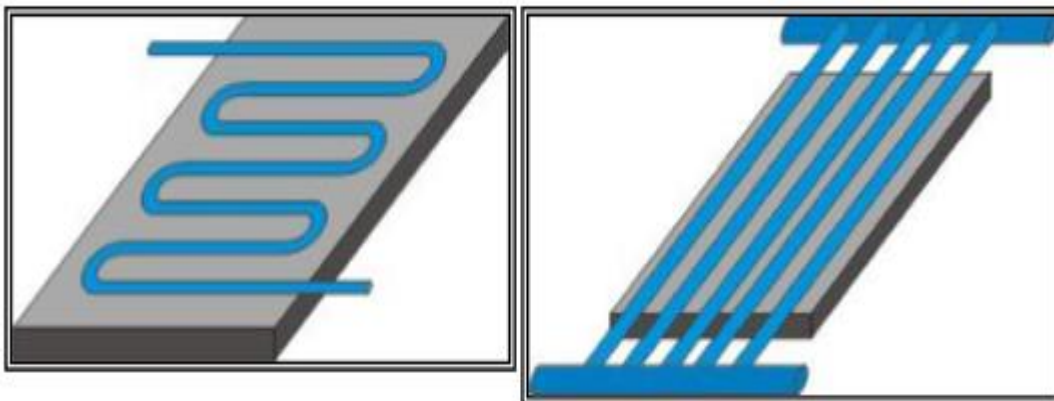


Figura 1.12. Un colector de serpentina y uno de tubos paralelos. (Mass, 2022)

- **Calentador solar de concentración:**

Estos son usados para la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales como muestra la figura 1.13. Los colectores de placa plana no pueden ser usados porque para estos fines se requiere de temperaturas de fluido más elevadas. Por ello se usan los colectores de concentración, dispositivos más complejos y costosos, que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña que permite que la intensidad de la energía solar se incremente y las temperaturas del receptor

(llamado 'blanco') pueden acercarse a varios cientos de grados Celsius (Mass, 2022).



Figura 1.13. Calentadores solares por concentración. Imagen extraída de Google.

Observación: Los colectores planos y tubulares tienen la ventaja de que funcionan tanto con radiación difusa como directa. En cambio, los colectores de concentración solo presentan un máximo desempeño con radiación directa, por otra parte, permite alcanzar altas temperaturas y pueden estar fijos o seguir el movimiento del Sol.

Conclusiones parciales del capítulo I:

- En Cuba, más del 95% de la electricidad se produce a partir de combustibles fósiles, mientras que las energías renovables representan alrededor del 5% restante, lo que demuestra claramente que aún nos queda un largo camino por recorrer en la aplicación de estas tecnologías.
- Cuba tiene el privilegio de pertenecer al grupo de países del llamado cinturón solar con mayor radiación solar promedio anual, donde la radiación solar promedio anual de Cuba es de 1825 kWh/m². La dosis media diaria de radiación es de 5 kWh/m²/día. Es un importante atractivo para la inversión y el desarrollo de células solares y producción solar térmica.
- En Cuba, el uso de tecnologías de calefacción solar se limita esencialmente a sistemas de baja temperatura para calentar agua sanitaria en instalaciones de producción y servicios, utilizando tecnologías como calentadores de paneles solares planos y tubos de vacío.

CAPÍTULO 2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO PARA LA COCINA COMEDOR DE LA UNIVERSIDAD.

Para la realización de este capítulo se seguirá paso a paso el método propuesto por el ingeniero Laercio Alfaro Mass (Mass, 2022).

2.1 Análisis energético de la entidad

Los principales portadores energéticos de la instalación son el diésel y fuel oil, pero en el análisis el consumo de fuel oil es despreciable.

El consumo de diésel para la caldera del comedor por años se muestra en la figura 2.1.

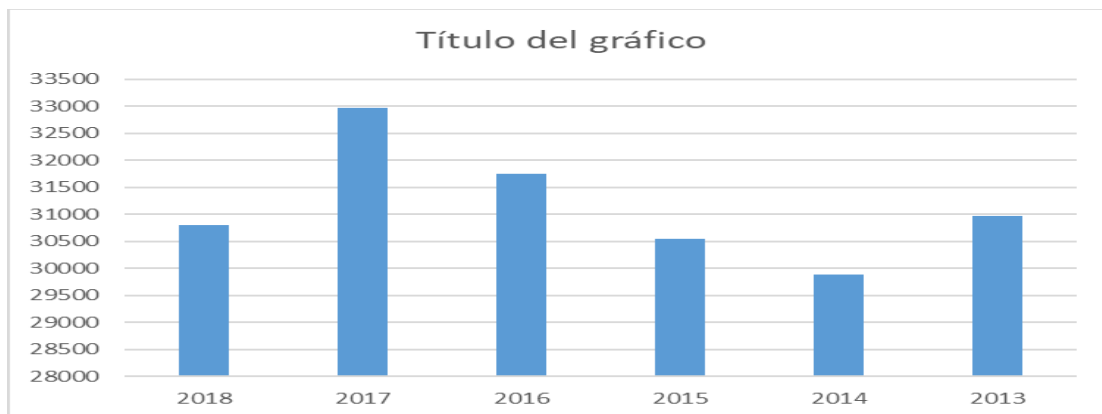


Figura 2.1 Consumo de diésel para la caldera del comedor. Fuente elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2.1, el consumo de combustible diésel en la cocina es elevado. La introducción de un sistema de agua caliente mediante calentadores solares ayudará a ahorrar electricidad en la universidad.

Además, otro estudio puede analizar las causas del alto consumo de plantas y tomar medidas contra estas causas, pero el foco de este trabajo es el consumo de agua. Se entiende que el agua de la instalación se utiliza:

- Consumo de agua potable por parte de huéspedes y empleados.
- Utilice agua al cocinar y preparar alimentos y bebidas.

La entidad no cuenta con un sistema de monitoreo del consumo de agua, lo que puede generar un desperdicio de este valioso recurso y gastos innecesarios. Para utilizar racionalmente este recurso se deben considerar las siguientes medidas:

- Gestionar y controlar diariamente el consumo de agua de la instalación.
- Instalar grifos de bajo flujo para reducir el uso de agua.
- Realizar mantenimientos de las tuberías y conductos con regularidad para evitar fugas y desperdicio de agua.
- Educar a los empleados y comensales sobre la importancia del uso sensato del agua y promover prácticas sustentables.

2.2 Tipo de construcción.

Esta instalación docente está conformada por paneles de prefabricado a porticado, con una construcción tipo nave de estructura portante de columnas, cerchas, cubiertas y muros divisorios de hormigón armado, carpintería de armada y pisos de granito. Además, presenta una arquitectura de los años 70 del pasado siglo con una altura promedio de sus cubiertas de 5 m y un área disponible de cubierta de aproximadamente 1000 m².

2.3. Estudio de las potencialidades del sitio donde se pretende instalar la tecnología solar térmica.

Para obtener los diversos datos de geográficos y meteorológicos con la mayor precisión posible se utilizó el programa PVsyst 7.4, ingresando en él los siguientes datos:

La cocina está ubicada en la región de Cuatro Caminos, ciudad de Cienfuegos, Cuba con Latitud: 22.172 °, Longitud: -80.4488°, Altitud de 36 m, con zona horaria -5.0.

De lo cual se obtiene:

- El nivel anual de precipitaciones asciende a 842 mm según los registros meteorológicos (*Clima Cienfuegos: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Cienfuegos*, s. f.)
- Irradiación horizontal global (GlobH) anual de 5.25 kWh/m²/d,
- Irradiación difusa horizontal (DiffH) anual de 2.27 kWh/m²/d,
- Humedad relativa anual del 77.4 %.
- Temperatura anual de 22.42 °C,
- Velocidad del viento anual de 8.64 km/h
- El mes más seco es diciembre con 19 mm de precipitación. Septiembre presenta la mayor cantidad de precipitaciones, con una media de 140 mm

2.4. Selección del área para la instalación de los módulos solares térmicos.

Para identificar las áreas de mayor incidencia solar se utiliza el software Sketchup Pro 2021, el cual es un software potente de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) ampliamente usado a nivel mundial.

Mediante el uso de este programa se puede geolocalizar el sitio y conociendo las medidas generales de la edificación se modela en 3d y con la ayuda de la extensión Sunhours se puede realizar un análisis de cómo se comporta la radiación solar en el edificio durante todo el año. Este localiza las áreas donde más se puede aprovechar la incidencia solar y lo muestra mediante la figura 2.2 en la cual se puede apreciar una escala de colores que va desde el azul hasta el marrón, a la izquierda de la escala se indican las horas de exposición solar y el porcentaje de aprovechamiento de estas a la derecha. El programa recomienda que las áreas óptimas para las instalaciones de tecnología solar son las que se encuentran a partir del 80 % de incidencia comenzando estas a partir del color amarillo.

Resultados del análisis en el Sketchup Pro 21



Figura 2.2 Representación de la edificación teniendo en cuenta el edificio número 7 de la residencia estudiantil de cuatro caminos. Fuente Sketchup Pro 21.

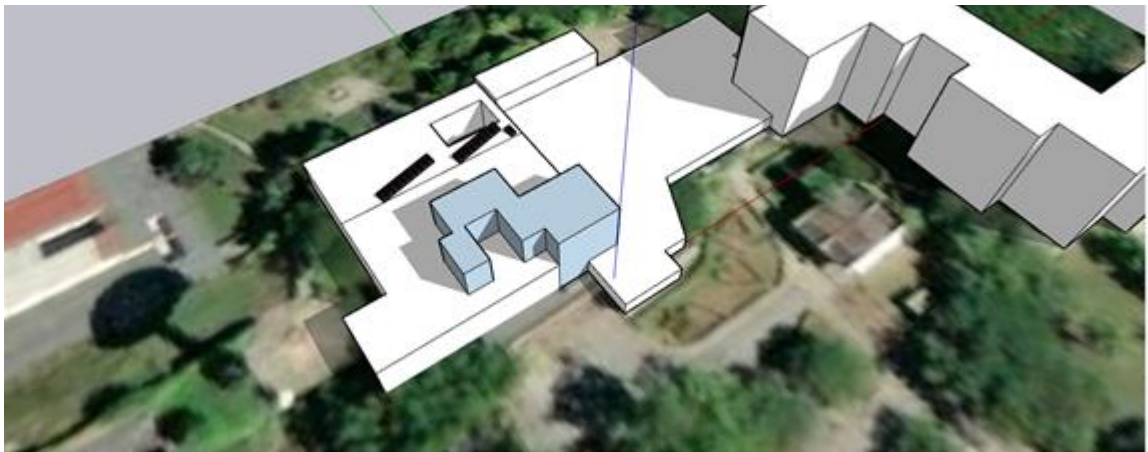


Figura 2.3 Representación de la cubierta del edificio. Fuente elaboración propia Sketchup Pro 21.

Se ha establecido que más del 90% del área de cobertura para la instalación de tecnologías solares térmicas presenta condiciones óptimas de uso, con tiempos de exposición anuales superiores a las 2500 horas. Esto es lógico, porque es el lugar más alto y no hay riesgo de tener pérdida por sombras.

2.5 Calculo de la demanda de agua caliente sanitaria.

En la tabla 2.1 se observan los criterios de demanda utilizados para el cálculo de la demanda orientativa de agua caliente sanitaria.

Tabla 2.1. Demanda de referencia de consumo por unidad.

Criterio de demanda	Cantidad	Unidad de medida
Escuela sin ducha	4	litros /día x persona
Escuela con ducha	21	
Cuarteles	28	
Fábricas y talleres	21	
Oficinas	2	
Gimnasios	21	
Restaurantes	8	
Cafeterías	1	
Lavanderías	4	litros/día x kg

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

Teniendo en cuenta que queremos analizar sólo el consumo de agua en el comedor de estudiantes, excluyendo el consumo de agua en el dormitorio, el consumo indicativo de agua caliente es de 4 litros por persona diario.

Cantidad de agua caliente demandada (m)

$$m = \theta * \vartheta \left(\frac{1}{d} \right) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$m = 3600 \frac{1}{d}$$

Donde:

θ : demanda orientativa de ACS (4 l/d-personas) (Obtenido mediante la tabla 2.1)

ϑ : Cantidad de personas. (900) (Los cálculos se realizan teniendo en cuenta días críticos en los que se debe dar servicio a 900 personas.)

Se obtuvo como resultado un consumo en la instalación de 3600 Litros/Día

2.6. Selección del Sistema Solar Térmico (SST) a utilizar.

Basado en (Mass, 2022) para la correcta selección de los SST se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cálculo tentativo del área total que requerida
- Capacidad del termotanque
- Materiales de fabricación
- Tipo de sistema
- Temperatura requerida
- Disponibilidad en el mercado

Dimensiones del sistema solar térmico para relacionar con el área disponible.

Para la correcta selección de los modelos solares térmicos a instalar es necesario estimar las dimensiones mínimas necesarias de los mismos para ello en la figura 2.4 se muestran las dimensiones más importantes a tener en cuenta.

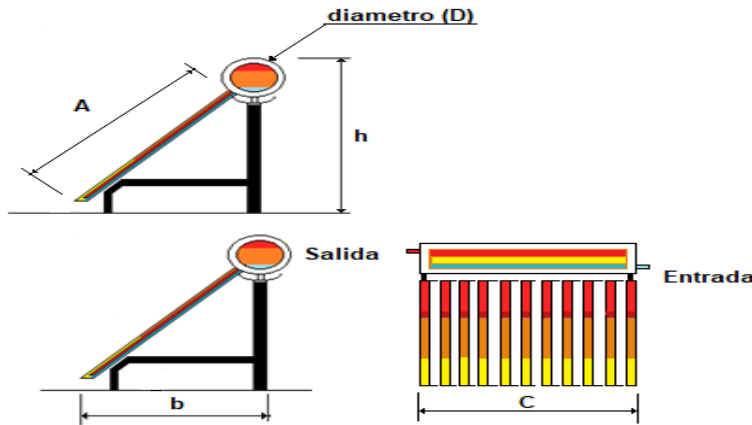


Fig. 2.4. Acotado de un sistema solar térmico. Fuente:(Mass, 2022).

Donde:

A: Largo de la placa o tubo colector, (m).

h: Altura desde la base hasta el borde superior del termotanque, (m).

b: Profundidad del calentador solar, (m).

C: Ancho del calentador solar, (m).

Cálculo del área de captación requerida

En la realidad es necesario calcular el área de colector requerida para satisfacer la demanda de agua caliente para una mejor selección de los modelos solares para ello se utiliza la ecuación 2.2

$$A = \frac{Q}{\eta_{\text{colector solar}} * I_{\text{máx}}} \quad (\text{m}^2). \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$A = 30,6 \text{ m}^2$$

Donde:

A: Área de captación requerida (m^2).

$\eta_{\text{colector solar}}$: Eficiencia del calentador solar (70 %) (La eficiencia de estos calentadores solares varía, pero en condiciones ideales se estima que tienen una eficiencia del 70 al 80 %. Sin embargo, vale la pena señalar que factores como la temperatura ambiente, la orientación del colector solar, la limpieza y el mantenimiento del sistema, etc., pueden afectar la eficiencia real.).

$I_{\text{máx}}$: Radiación solar máxima diaria. (5 kWh/ m^2/d). (Esta se utiliza como promedio para Cuba 5 kWh/ m^2/d)

Q: Calor sensible que se debe suministrar al agua. (kJ/d). (Se determina según la ecuación 2.3)

$$Q = m * C_p * (T_c - T_F) \quad (\text{kJ/d}). \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$Q = 146405 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Donde:

m: Consumo de agua caliente sanitaria. (3600 L/d).

C_p : Calor específico del agua. ($4183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$)

T_C : Temperatura del agua caliente requerida. (60 °C) (El Real Decreto 865/2003 de 4 de julio establece que la temperatura del agua caliente sanitaria en la red de distribución debe mantenerse a una temperatura mínima de 50°C y una temperatura máxima de 60°C para evitar la proliferación de la bacteria Legionella)

T_F : Temperatura del agua de la red pública en el sitio. (25°C)

Capacidad hidráulica (T) del termotanque del modelo solar a seleccionar para cubrir la demanda de agua caliente.

Se consideran los datos alcanzados en la demanda de agua caliente sanitaria y se procede a seleccionar un modelo que compense dicha demanda.

Materiales de fabricación.

Los materiales utilizados para fabricar un calentador solar afectarán directamente la eficiencia del sistema y el costo de la tecnología. Por ello, es importante planificar el presupuesto con antelación en función de las necesidades del lugar (López, 2019). Estos materiales pueden ser acero inoxidable, acero galvanizado, acero al carbono, aluminio, etc., dependiendo de las características específicas del fabricante y del lugar de instalación del equipo. Dadas las características del sitio, no se requieren materiales especiales, por lo que se puede utilizar cualquiera de los materiales anteriores.

Tipo de sistema.

El sistema puede tener circulación forzada o circulación natural mediante termosifón, dependiendo de dónde esté instalada la tecnología de células solares. El sistema de circulación natural que mejor se adapta a las necesidades de los hoteles es muy eficiente y fácil de instalar y mantener. Además, no es necesario adquirir equipos especiales de bombeo y control.

Selección final del modelo solar.

Teniendo en cuenta todos los criterios anteriores se seleccionó el Calentador Solar Rensol de 200 Litros fabricado en Cuba, con un precio de 15707.09 Pesos Cubanos y se brindaron los siguientes datos.

Tabla 2.3 Ficha técnica.

Modelo	Rensol 200L
Capacidad del tanque (Litros)	200
Tipo de producto	Tubos al vacío
Número de tubos	25
Material del tanque de almacenamiento de agua	Acero inoxidable
Material de los tubos	Vidrio de borosilicato
Material del soporte	Acero galvanizado

Aislamiento	Espuma de poliuretano de alta densidad
Ángulo de inclinación	Ajustable para captar la máxima radiación solar
Eficiencia	Alta eficiencia en la captación y transferencia de energía solar. (oscila entre el 70 y 80 %)
Dimensiones del tanque de almacenamiento de agua	Diámetro de 0.6 m y una altura de 1.4 m
Dimensiones de los tubos al vacío	Largo de 1,8 metros y un diámetro de 0.05 m
Funcionamiento	Termosifón
Superficie de captación (m ²)	2.5
Peso del tanque de almacenamiento de agua	Aproximadamente 50 kg
Peso de los tubos al vacío	Aproximadamente 20 kg
Temperatura de trabajo	45-80 °C

Fuente. Rensol S.A

2.7 Cálculo de la cantidad de SST por consumo de agua caliente.

La cantidad de calentadores solares necesarios se determina mediante la ecuación 2.4.

Cantidad de calentadores solares necesarios ($C_{\text{Módulos}}$).

$$C_{\text{Módulos}} = m / T \quad (\text{Ec.2.4})$$

$$C_{\text{Módulos}} = 18 \text{ Modelos solares}$$

Donde:

$C_{\text{Módulos}}$: Cantidad de módulos necesarios.

T: Producción de agua caliente del calentador. (200 L/d).

m: Consumo de agua caliente sanitaria. (3600 L/d)

2.8 Disposición y ángulo de inclinación óptimo del modelo solar térmico seleccionado. (Cálculos manuales).

Ángulo de inclinación óptimo (B_{op})

$$B_{\text{op}} = 3.7 + 0.69 * |\varphi| \quad (^\circ) \quad (\text{Ec.2.5})$$

$$B_{\text{op}} = 18.99868^\circ \approx 23^\circ$$

Donde:

B_{op} : ángulo de inclinación óptima. ($^{\circ}$)

φ : latitud del lugar. (22.172°)

Determinación de la disposición de los calentadores

Para disminuir el nivel de pérdidas a causa de las sombras se debe calcular la disposición de los sistemas solares y esta se divide en distancia entre filas y distancia entre columnas. En la figura 2.5 se muestra la distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran pérdidas por sombra.

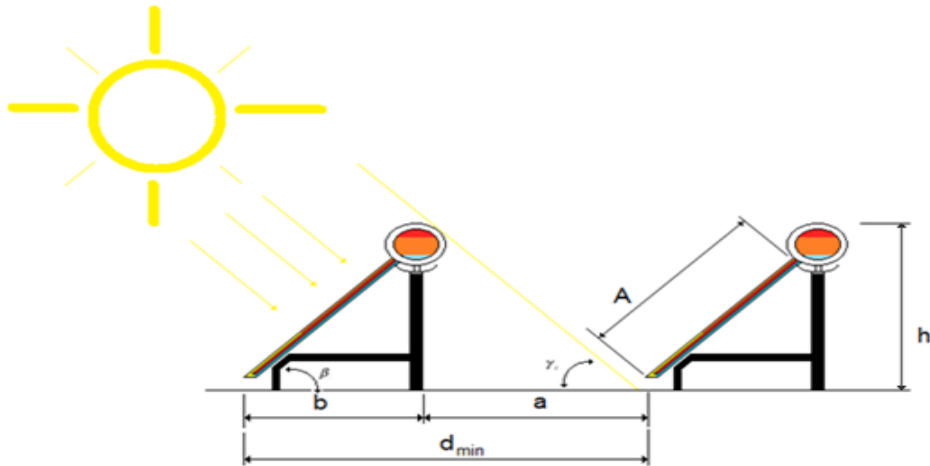


Figura 2.5. Disposición de un sistema solar térmico. Fuente (Mass, 2022)

Donde:

$d_{mín}$: Distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran pérdidas por sombra, (m).

A: Largo de la placa o tubo colector. (1.8 m)

h: Altura desde la base hasta el borde superior del termotanque, (m).

β : grado de inclinación del colector respecto a la horizontal, (23°).

γ_s : ángulo de la sombra respecto a la horizontal, ($^{\circ}$).

a: distancia de la arista superior de un colector a la arista inferior del otro respecto a la horizontal, (m).

b: Profundidad del calentador solar, (m).

Con el grado de inclinación y el largo de la placa o tubo colector, se calcula la altura desde la base hasta el borde superior del termotanque mediante la ecuación 2.6.

Altura desde la base hasta el borde superior del termotanque (h)

$$h = \sin\beta * A \quad (\text{m}) \quad (\text{Ec.2.6})$$

$$h = 0.7 \text{ m}$$

Con los mismos datos se calcula (b) en la ecuación 2.7.

Profundidad del calentador solar, (b).

$$b = \cos\beta * A \quad (\text{m}) \quad (\text{Ec.2.7})$$

$$b = 1.6 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta el ángulo de inclinación del colector y el ángulo recto creado, se halla por ángulos internos de un triángulo (γ_s) mediante la ecuación 2.8.

Ángulo de la sombra respecto a la horizontal (γ_s)

$$\gamma_s = 90^\circ - 23^\circ \quad (^\circ) \quad (\text{Ec.2.8})$$

$$\gamma_s = 67^\circ$$

Con el valor del ángulo (γ_s) y la altura h se calcula (a) en la ecuación 2.9.

Distancia de la arista superior de un colector a la arista inferior del otro respecto a la horizontal (a)

$$a = \frac{h}{\tan \gamma_s} \quad (\text{m}) \quad (\text{Ec.2.9})$$

$$a = 0.3 \text{ m}$$

Una distancia de 0,3 m proporciona un fácil acceso al pasillo para la limpieza y el mantenimiento del calentador. Suma la distancia (a) más la distancia (b) para obtener la distancia mínima requerida para garantizar que no se produzcan sombras, como se muestra en la Ecuación 2.10.

Distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran pérdidas por sombra ($d_{\min}$)

$$d_{\min} = a + b \quad (\text{m}) \quad (\text{Ec.2.10})$$

$$d_{\min} = 1.9 \text{ m}$$

En la figura 2.6 se muestra la distancia mínima que debe existir entre colectores por fila.

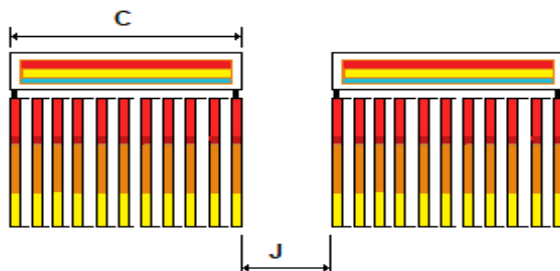


Figura 2.6 Distancia mínima entre colectores por fila. Fuente (Mass, 2022).

La distancia mínima entre colectores por fila se determina mediante la ecuación 2.11.

Distancia mínima entre colectores por fila(J)

$$J = d_{\min} - A \quad (\text{m}) \quad (\text{Ec.2.11})$$

$$J = 0.1 \text{ m}$$

Donde:

J: Distancia mínima entre colectores por fila. (m).

Cálculo del número máximo de sistemas solares térmicos por fila.

El número máximo de sistemas solares térmicos por fila se determina mediante la ecuación 2.12.

$$Z = \left(\frac{R}{(J+C)} \right) - J \quad (\text{Ec.2.12})$$

$$Z = 20 \text{ Sistemas solares.}$$

Donde:

Z: número máximo de sistemas solares térmicos por fila.

R: Ancho de la instalación. (50 m) (Dato del análisis estructural)

J: Distancia mínima entre colectores por fila. (0.4 m).

C: Ancho calentador solar. (1.4 m) (Se encuentra en la ficha técnica)

Cálculo del número máximo de filas de sistemas solares térmicos.

Conociendo el número máximo de sistemas solares térmicos permisibles por fila se determina número máximo de filas de sistemas solares térmicos utilizando la ecuación 2.13.

$$X = (L/d_{min}) - a \quad (\text{Ec.2.13})$$

$$X = 18 \text{ Filas de sistemas solares térmicos.}$$

Donde:

X: número máximo de filas de sistemas solares térmicos.

L: Largo de la instalación (8 m) (Dato del análisis estructural)

Luego para comprobar si la cantidad de calentadores necesarios por la demanda de agua caliente se pueden instalar en la superficie disponible se usa la ecuación 2.14.

Comprobación de la cantidad de calentadores respecto al área disponible

$$\mu = X * Z \quad (\text{Ec.2.14})$$

$$\mu = 360$$

$$\mu \geq C_{Módulos}$$

$$81 \geq 18$$

Donde:

μ : Cantidad máxima de calentadores a instalar en el área disponible.

2.9 Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.

Se evalúa la estructura que sostiene al termotanque y al colector solar mediante el software de diseño mecánico SolidWorks 17.

Mediante dicho programa se realiza la modelación de la estructura según las dimensiones de fabricación. Para conseguir los datos de las tensiones Von Mises, (N/m²) y los desplazamientos unitarios, se somete dicha estructura a un estudio de cargas. Para ello es necesario introducir en el software valores como: **Peso del termotanque y el colector.** (Este dato se encuentra en la ficha técnica.)

Fuerza del viento sobre el calentador solar. (Para determinar la fuerza que ejercen los vientos sobre el calentador solar se utiliza la ecuación 2.15.

Fuerza del viento sobre el calentador solar (F)

$$F = \rho * C_{di} * A * \frac{V_f^2}{2} \quad (\text{N}) \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$F = 5.181 \text{ N}$$

Donde:

ρ : Densidad del aire a nivel del mar. (1.2 kg/m³). (A nivel del mar y 20°C de temperatura la densidad del aire es aproximadamente 1.2 kg/m³.)

C_{di} : Coeficiente de resistencia de superficies planas. (0.8) (Para forma rectangular)

A : Área proyectada del colector. (2.5 m^2) (Este dato se encuentra en la ficha técnica)

V_f : Velocidad frontal de los vientos. (m/s).

Para determinar la velocidad frontal de los vientos se usa la ecuación 2.16.

Velocidad frontal de los vientos (V_f)

$$V_f = V * \cos\varphi \text{ (m/s)} \quad (\text{Ec.2.16})$$

$$V_f = 7.95 \text{ km/h} = 2.2 \text{ m/s.}$$

Donde:

V: Velocidad del viento. (8.64 km/h) (Dato del análisis de las potencialidades del sitio)

φ : Ángulo entre la dirección del viento y el calentador solar. (23°)

2.10 Disposición y ángulo de inclinación óptimo. (Según Software)

El software profesional Sketchup Pro 2021 puede utilizar la extensión Skelion para calcular con precisión la inclinación óptima del sistema solar y su ubicación en función del área de máxima incidencia solar determinada posteriormente. Para ello deberás introducir los siguientes datos:

- Ubicación geográfica del sitio web.
- Datos meteorológicos en sitio.
- Área de montaje de equipos.

Optimum orientation: Azimuth: 145.61 Tilt: 27.93

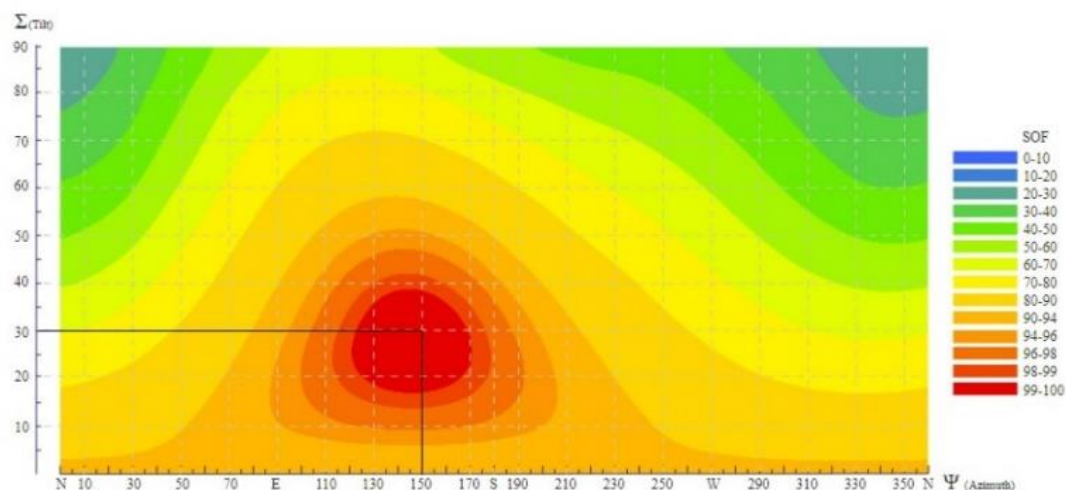


Fig.2.7 Orientación óptima. Elaboración propia Sketchup Pro 21, septiembre 2023.

Como se observa en la figura 2.7 desde los ángulos 18 hasta el 38 aproximadamente son ángulos de inclinación óptimos pues están en la zona roja

de la escala de colores, por otra parte, se pueden orientar los calentadores con respecto al norte solar de 120 a 170 grados.

Conclusiones parciales del capítulo II.

- El comedor presenta una demanda de agua caliente sanitaria de 3600 (L/día) según las normas de consumo establecidas para este tipo de instalaciones.
- Para la instalación de los módulos solares térmicos la cubierta del comedor estudiantil de UCF dispone de un área total de aproximadamente 1000 m², para la cual se ejecutó el estudio de incidencia solar mediante el uso del software Sketchup Pro 21, arrojando como resultado que más del 90% de esta área se encuentra expuesta a la radiación solar durante 3000 horas anuales en condiciones óptimas.
- Para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria se necesitan 18 módulos de calentadores solares del tipo de tubos al vacío de la marca RENSOL con capacidad para 200 L, área de captación de 2.5 m² a una temperatura de aproximadamente 60 °C.
- Los calentadores deberán ser instalados en 3 filas de 9,8 y 1 módulos cada una, separadas a una distancia mínima entre filas de 2,2 m, con una inclinación desde la horizontal de 23° grados y un azimut de 165° orientados al sur.

Capítulo III. Análisis Económico y Medioambiental.

3.1 Análisis Económico

Se considerarán los costos de mantenimiento, reparación y reemplazo de los calentadores solares a lo largo de su vida útil. También se evaluarán los ahorros en costos de energía eléctrica y gas que se obtendrán al utilizar la tecnología solar. Asimismo, se realizará un análisis de los beneficios ambientales que se obtendrán al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono. Toda esta información permitirá realizar una evaluación económica completa que incluya los costos iniciales, los ingresos esperados y los beneficios a largo plazo, lo que ayudará a tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y rentabilidad de la instalación de la tecnología solar.

La metodología a seguir se circunscribe a las técnicas de valor descontado, basadas en el descuento a valor presente de las cantidades futuras o flujos de caja. (Ransoli, et al., 2021)

3.1.1 Calculo del ingreso

Para conocer la energía eléctrica consumida por las duchas se utiliza la ecuación 3.1

Energía eléctrica consumida por la tecnología anterior (E_c).

$$E_c = 15500 \text{ kWh/año}$$

Ahorro energético anual (A_e).

$$A_e = E_c * T_E \text{ (CUP/año)} \quad (\text{Ec.3.3})$$

$$A_e = 48825 \frac{\text{CUP}}{\text{año}}$$

Donde:

E_c : Electricidad consumida por la tecnología anterior, (15500 kWh/año).

T_E : Tarifa eléctrica, (CUP/kWh) (La tarifa eléctrica impuesta para la universidad actualmente como promedio se tomará 3.15 pesos cubanos por kW consumido.)

3.1.2 Determinación del Período Simple de Recuperación (PSRI).

En la provincia de Cienfuegos las entidades suministradoras dedicadas a la instalación y mantenimiento de los sistemas solares térmicos son COPEXTEL S.A y ALASTOR S.A. Al realizar contactos con dichas empresas para obtener información relacionada con los costos de inversión para este tipo de tecnología se determinó:

Se comprobó que la entidad tiene definido un costo de instalación de 6738.12 \$ CUP además se necesitan comprar 18 calentadores con un precio de 15707.09 pesos cubanos cada uno para un total de 282727 pesos cubanos.

Costo de instalación:

Esta empresa cobra por el servicio de instalación de los 14 calentadores un total de 7219.41 CUP.

Costo total de la inversión:

Partida de gastos	Costo por partidas (CUP)
Compra calentadores	282727
Instalación	7219,41
Costo Total	289946,41

A partir de este sencillo análisis de costes, se puede ver que otros costes como el transporte y el mantenimiento no se tienen en cuenta.

Para la determinación del Período Simple de Recuperación se utiliza la ecuación 3.2

$$PSRI = \frac{\text{Inversión en capital}}{Ae} \quad (\text{Años}) \quad (\text{Ec.3.4})$$

$$PSRI = 5.938 = 6 \text{ años}$$

Donde:

Inversión en capital. (289946,41 CUP)

Ahorros anuales netos (Ae). (48825 CUP/año)

3.1.3 Cálculo del interés simple.

El capital depositado en los bancos crea nuevo capital, pero siempre depende del monto del capital inicial depositado, no del monto de los intereses devengados (sin capitalización) (Monteagudo, 2021). 3.5. la ecuación muestra cómo determinar el interés simple.

$$F = \sum_{i=1}^n p(1+r)_i \quad (\text{CUP}) \quad (\text{Ec.3.5})$$

$$F = 989544.5 \text{ CUP}$$

Donde:

p: Cantidad presente de dinero. (289946,41 CUP).

i: Año para el que se desea determinar el valor futuro. (Para 20 años.)

r: Tasa de interés. (2.25 %) (Según Trading Economics 2023 (*Cuba Indicators*, s. f.)

3.1.4 Determinación del flujo de caja.

Un capital colocado en el banco genera un nuevo capital, pero siempre sobre la magnitud del capital inicial depositado más la magnitud del interés ganado (Hay capitalización)(Rivas, 2019).Se determina por la ecuación 3.5.

$$Fc_i = (I_i - G_i - Dep) * \left(1 - \frac{ti}{100}\right) + Dep \quad (\text{CUP/año}) \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$Fc_i = 26855.97 \frac{\text{CUP}}{\text{año}}$$

Donde:

I: Ingresos en el año i, (48825 CUP).

G: Gastos en el año, (15120 CUP). (Los gastos se estiman en un 40% de los ingresos para pago de salario y otros gastos destinados a la operación de los calentadores)

Dep: Depreciación del equipamiento planteada (Según la ecuación 3.7)

ti: Tasa de impuesto sobre la ganancia, (35 %). (El impuesto sobre la ganancia es del 35%, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012. (*Gaceta Oficial*, s. f.))

$$\text{Dep} = \frac{\text{costo del equipo}}{\text{vida útil estimada}} \quad (\text{CUP/año}) \quad (\text{Ec.3.7})$$

$$\text{Dep} = 14136.35 \frac{\text{CUP}}{\text{año}}$$

Donde:

Costo del equipo (226637.38 CUP)

Vida útil estimada (20 años)

3.1.5 Determinación de la tasa de interés real (R).

Se trata de tipos de interés que tienen en cuenta el efecto de la inflación. La inflación o depreciación de una moneda reflejada en un aumento de los precios de mercado se puede incorporar al análisis de inversión calculando las tasas de interés reales (tipos de cambio fijos) utilizando el coeficiente de Fisher (Monteagudo, 2021). Está determinado por la ecuación 3.8.

$$R = \left(\frac{1+r}{1+f} \right) - 1 \quad (\%) \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$R = -0.25 \%$$

Donde:

r: Tasa de interés bancaria, (2.25 %).

f: Tasa de inflación, (37.67 %). (La tasa de inflación en Cuba es de 37.67 según Trading Economics 2023 (*Cuba Indicators*, s. f.)).

3.1.6 Determinación del valor presente neto.

El valor actual neto (VAN) se determina utilizando 3.9. ecuación. Calcular el valor presente de los flujos de caja esperados para todos los años del período de evaluación del proyecto (Iturralde, 2021).

$$\text{VPN} = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+D)^i} \quad (\text{CUP}) \quad (\text{Ec.3.9})$$

$$\text{VPN} = 19329191.8 \text{CUP}$$

Donde:

K_0 : Inversión inicial. (282727 CUP).

F_c : Flujo de caja. (26855.9725 CUP)

D: Tasa de descuento real utilizada (Planteada según la ecuación 3.10 para un margen de riesgo del 3 %.)

$$D = R + \frac{\text{margen de riesgo}}{100} \quad (\%) \quad (\text{Ec.3.10})$$

$$D = -0.225 \%$$

Donde:

R: tasa de interés real (-0.25%)

El valor presente neto a través de los años se muestra en la figura 3.1

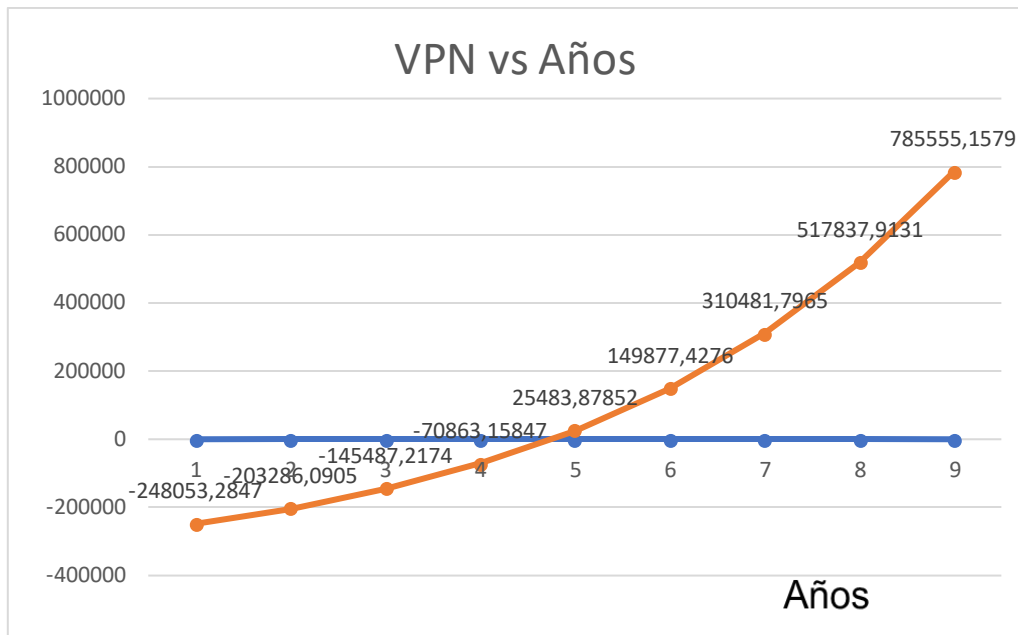


Figura 3.1 VPN vs años. Fuente Elaboración propia.

Ya para los 8 años de explotación del equipo se tiene un valor presente neto de 517837,9131 CUP superior en 227891,503 CUP a la inversión inicial.

3.1.7 Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero. (Monteagudo, 2021). Esta se calcula según la ecuación 3.11.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{C_i}}{(1+TIR)^i} \quad (\%) \quad (\text{Ec.3.11})$$

Se determina una tasa interna de retorno (TIR) del 44 %.

3.1.8 Determinación del Período Real de Recuperación de la Inversión (PRI).

Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento (D) considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero. Se determina a partir de la ecuación 3.12. (Monteagudo, 2021), (Jiménez, 2020).

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{F_{C_i}}{(1+D)^i} \quad (\text{Ec.3.12})$$

A los 5 años se ha recuperado totalmente la inversión.

Para obtener el valor del PRI se le van adicionando gradualmente a la inversión inicial los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión.

3.2 Análisis medioambiental.

3.2.1 Cantidad de combustible ahorrado.

Para analizar el combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, ver ecuación 3.13

$$\text{Combustible ahorrado} = Ec * g \quad (\text{kg/año}) \quad (\text{Ec.3.13})$$

Combustible ahorrado = 3983.5 kg/año

Donde:

Ec: Energía consumida por la tecnología anterior, (15500 kWh/año).

g: Consumo específico de combustible de la tecnología anterior. (0.257 Kg/Kwh.)

(Según (*Estadísticas Energéticas*, s. f.))

3.2.2 Cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera.

Según el combustible ahorrado se puede calcular la cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera en (t/año). Este valor se calcula mediante la ecuación 3.14

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} * k}{\rho} \quad (\text{t/año}) \quad (\text{Ec.3.14})$$

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = 3.66 \text{ t/año}$$

Donde:

Combustible ahorrado (3983.5 kg/año)

K: Coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera (0.782 t/m³)

ρ: Densidad del combustible. (850 kg/m³)

3.2.3 Impacto económico del ahorro de combustible generado

Podemos tener una noción del ahorro que significaría al país dejar de usar la tecnología actual e implementar la tecnología solar mediante la ecuación 3.15.

$$\text{Ahorro en comb} = \frac{\text{Combustible ahorrado}}{\text{peso de cada barril}} * \text{precio del barril} \quad (\text{CUP/año}) \quad (\text{Ec.3.15})$$

$$\text{Ahorro en combustible} = 2814.5 \text{ USD/año}$$

$$\text{Ahorro en combustible} = 67502.6/\text{año}$$

Donde:

Combustible ahorrado. (3983.5 kg/año)

Peso de cada barril (130 kg) (Los barriles de crudo tienen un peso aproximado de 130 kg)

Precio del barril (91,85 USD)(Según (*Precio Del Petróleo OPEP Por Barril 2023 | Datosmacro.Com*, s. f.) para el mes de octubre.)

Nota: Cálculos del capítulo, anexo 3.

Conclusiones parciales del capítulo III

- Debido a la instalación de los módulos solares en el comedor de la Universidad de Cienfuegos estaría dejando de consumir aproximadamente 15500 kWh anuales, lo que representa un ahorro de 48825 CUP en igual período considerando los precios de la tarifa presente del cobro de la electricidad.
- Como resultado de la evaluación técnico económica se tiene que para una inversión inicial de 282727 CUP con los ahorros estimado se obtiene una tasa interna de retorno de 44 %, con un periodo de recuperación de la

inversión de 6 años, además para los 8 años de explotación del equipo se tiene 517837,9131 CUP superior en 227891,503 CUP a la inversión inicial.

- Con la instalación de los módulos solares se podría estar ahorrando al país un total de 3.98 t/año, un total de 3,66 toneladas de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera y lo que a los precios actuales del barril de petróleo representa un ahorro de 2814.5 USD.

Conclusiones generales.

- En Cuba más del 95% de la energía eléctrica se produce con combustibles fósiles, mientras las fuentes renovables de energía representan aproximadamente el restante 5%, ello demuestra claramente cuanto nos queda por avanzar en la aplicación de estas tecnologías.
- Cuba, posee el privilegio de pertenecer al grupo de países que se encuentran dentro del llamado cinturón solar, siendo estas, las naciones que reciben los mayores promedios de radiación solar anual, que para el caso de Cuba es de 1 825 kWh/m² ósea una radiación promedio diaria de 5 kWh/m²/d. Esto constituye, una importante atracción para el desarrollo de las inversiones en materia de energía solar fotovoltaica y térmica.
- En Cuba, el uso de la tecnología solar térmica se ha visto limitada fundamentalmente a sistemas de baja temperatura para el calentamiento de agua sanitaria en instalaciones de producción y servicios, con tecnologías de tipo calentadores solares planos y de tubos al vacío.
- Para la instalación de los módulos solares térmicos la cubierta del comedor dispone de un área total de 1000 m², para la cual se ejecutó el estudio de incidencia solar mediante el uso del software Sketchup Pro 21, arrojando como resultado que más del 90% de esta área se encuentra expuesta a la radiación solar durante 3000 horas anuales en condiciones óptimas.
- Para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria se necesitan 18 módulos de calentadores solares del tipo de tubos al vacío de la marca RENSOL con capacidad para 200 L, área de captación de 2.5 m² a una temperatura de aproximadamente 60 °C.
- Los calentadores deberán ser instalados en 3 filas de 9,8 y 1 módulo/s cada una, separadas a una distancia mínima entre filas de 1,9 m, con una inclinación desde la horizontal de 23 grados y un azimut de 165 orientados al sur.
- Debido a la instalación de los módulos solares en el comedor de la Universidad de Cienfuegos estaría dejando de consumir aproximadamente 15500 kWh anuales, lo que representa un ahorro de 48825 CUP en igual período considerando los precios de la tarifa presente del cobro de la electricidad.
- Como resultado de la evaluación técnico económica se tiene que para una inversión inicial de 282727 CUP con los ahorros estimado se obtiene una tasa interna de retorno de 44 %, con un periodo de recuperación de la inversión de 6 años, además para los 8 años de explotación del equipo se tiene 517837,9131 CUP superior en 227891,503 CUP a la inversión inicial.
- Con la instalación de los módulos solares se podría estar ahorrando al país un total de 3.98 t/año, un total de 3,66 toneladas de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera y lo que a los precios actuales del barril de petróleo representa un ahorro de 2814.5 USD.

Recomendaciones

- Finalización y evaluación tecno-económica de equipos hidráulicos sanitarios de este estudio de montaje de módulos solares.

Bibliografía.

- Aliamovski, A. (2012). *Cómo resolver problemas prácticos*. SolidWorks Simulación БХВ-Петербург.
- Bravo Hidalgo, D. (2015). *Energía y desarrollo sostenible en Cuba*. Centro Azúcar, 42(4), 14-25.
- Brightman, M. (2018). *The SketchUp Workflow for Architecture: Modeling Buildings, Visualizing Design, and Creating Construction Documents with SketchUp Pro and LayOut*. John Wiley & Sons.
- Cabrera, D. A., & Macho, J. J. G. (2012). *Almacenamiento térmico en aplicaciones solares de concentración de alta temperatura*. Catalogo Técnico Chromagen ESP. <https://www.gasfriocalor.com>
- Celis, R. G. (2020). *Matriz energética mundial y el cambio climático: Estado actual. Alemania*.
- Climate Data. (2023). *Clima Cienfuegos: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Cienfuegos*. <https://es.climate-data.org> Cuba. Indicators. <https://tradingeconomics.com/cuba/indicators> de, A. Global Electricity.
- Mezquida, E. Blanco, E. Martínez, J.C. (1990). *Especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente*. Junta de Andalucía, Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- Documento Básico HE. (2022). <https://www.codigotecnico.org>
- Emerson, R. W. (2016). *En fin, de aprender las lecciones más importantes de la vida uno debe sobreponerse un miedo*. <https://tanatologiaenlineablog.wordpress.com/2016/04/08/ralph-waldo->

emerson-dijo-para-aprender-las-lecciones-importantes-de-la-vida-uno-debe-vencer-el-miedo-cada-dia/.

Cuba energía. (2019). *Estadísticas Energéticas*.

<https://www.cubaenergia.cu/estadisticas-energeticas>

Felipe Blanch, J. J. de, & López Martínez, J. A. (s. f.). Sistemas solares térmicos de baja temperatura. Edicions UPC. <https://doi.org>

Gaceta Oficial. (15 de junio de 2021). Gaceta Oficial. Cuba. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es>

Guerrero, A. L. (2021). *Geopolítica de la transformación energética global y dinámicas territoriales de la transición energética en Sudamérica*.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s. f.). *La radiación solar y su paso por la atmósfera*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>.

Iturralde Carrera, L. A., Monteagudo Yanes, J. P., & Negrín Ransoli, P. J. (2021). *Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina*.

Duarte, T., Jiménez Arias, R. E., & Ruíz Tibaná, M. (2007). Economic analysis of projects of investment.

Korkeakoski, M., Filgueiras Sainz de Rozas, M. L., Korkeakoski, M., & Filgueiras Sainz de Rozas, M. L. (2022). Una mirada a la transición de la matriz energética cubana.

Kumar, R., Rajoria, C. S., Sharma, A., & Suhag, S. (2021). *Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study*.

- Materials Today. Proceedings*, 46, 5322-5328.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.785>
- Kurowski, P. (2017). *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ONgBDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&dq=solidworks+simulation&ots=lyiTr28wJ0&sig=YrKa4cH3o-YDlcnJAnIcwOs-adU#v=onepage&q=solidworks%20simulation&f=false>
- López, C. (2019). *Selección de Calentadores Solares*.
<https://www.ensusmexico.com>
- López-Cózar, J. M. (2006). *Energía solar térmica*. IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Mass, L. A. (2022). Metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos.
- Medio ambiente. (15 de Septiembre de 2023). *World Bank*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/environment/overview>
- Mohammad, O. (2022). *Renewable energy and climate change*.
<http://www.sciencedirect.com>
- Monteagudo Yanes, J. P., & Crespo Sánchez, G. (2021). Evaluación Económica de Proyectos de Ahorro de Energía.
- Moreno-Mas, M., Estelles-Miguel, S., & De La Poza, E. (2023). *Investigación, desarrollo e innovación en materia de energías renovables: La urgencia de Europa por ser energéticamente independiente*. Proceedings INNODOCT/22. International Conference on Innovation, Documentation and Education, 435-442. <https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15874>

- Pacheco, M., Lobo, C., Luis, J., Amador, C., Pablo, J., Romero, M., & Carlos, A. (2021). Review of medium temperature solar concentration technology for industrial applications.
- Padrón, L. (2022). Estudio del comportamiento de la radiación solar y su aprovechamiento. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 20(2)
- Partesdel. (2023). *Partes del calentador solar*. Partesdel.com. https://www.partesdel.com/calentador_solar.html
- Plazas, C., Moreno Cáceres, N., & Sánchez, C. (2023). Diseño, construcción y evaluación de un colector solar de placa plana con parámetros de rendimiento modificables.
- Datosmacro. (2022). Precio del petróleo OPEP por barril <https://datosmacro.expansion.com/materias-primas>
- Ransoli, P. J. N., Yanes, J. P. M., & Carrera, L. A. I. (2021). *Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de la empresa porcina. SciComm Report*. <https://doi.org/10.32457/scr.v1i2.1490>
- Renovables Verdes. (2010). *Las naciones del cinturón solar o sunbelt. Renovables Verdes*. <https://www.renovablesverdes.com/las-naciones-del-cinturon-solar-o-sunbelt/>
- Rivas, S. (2019). *Políticas de inversión extranjera en Cuba*. <http://www.scielo.org>
- Rodríguez-Borges, C. G., & Sarmiento-Sera, A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. *Ingeniería Mecánica*, 14(1), 13-21.
- Ruiz, F. (2023). *Iniciación Al Mundo 3d A Través De Sketchup*. <http://repositorio.unimayor.edu.co/handle/20.500.14203/708>

Salvador, D. G. C., Núñez Flores, E., Ramírez García, R., Romero, J. C. (s. f.).

Del bóiler de leña al calentador solar, una opción sustentable. Ciencia UNAM.

Santos, R. D., Fuentefría, A. S., Fernández, M. C., & Llanes, M. V. (2018).

Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría. Cujae

Sloan, L. (2023). *SketchUp for Interior Design: 3D Visualizing, Designing, and*

Space.Planning.<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1YOrEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP15&dq=sketchup+software&ots=YgLaoMdb5&sig=4P8H45eJZ5xxyhKIEV4Izn8Iq2Y#v=onepage&q=sketchup%20software&f=false>

Strevel, M. Campaña de Energía y Cambio Climático (s. f.). Calentadores solares: energía renovable en tu hogar.

Sun, S. (2022). *Modeling daily global solar radiation using only temperature dta:*

Past, development, and future. <http://www.elsevier.com>

Yanes, J. P. M. (2013). Proyectos universitarios para el CEEMA. Universidad de Cienfuegos.

Zhou, Y., Liu, Y., Wang, D., Liu, X., & Wang, Y. (2021). *A review on global solar radiation prediction with machine learning models in a comprehensive perspective.*

Anexos

Anexo 1: Datos meteorológicos. Fuente PVsyst 7.4.

Lugar	Cuatro Caminos				
País	Cuba				
Región	Norte América				
Fuente	Meteonorm 8.1 (1991-2005), Sat=100%				
Latitud	22.172	°			
Longitud	-80.4488	°			
Altitud	36	m			
Zona horaria	-5	GMT			
Albedo	0.2				
Valores	GlobH	DiffH	Temp	Vel del viento	Humedad relativa
Mes	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	%
Enero	129.9	47.6	19.9	2.8	80.5
Febrero	137.5	50.8	21.3	2.7	76.9
Marzo	179.1	67.5	23.1	2.99	70.5
Abril	188.3	74.2	24.4	3.01	70.2
Mayo	178.3	88.5	26.1	2.6	71.4
Junio	186.3	93.1	26.6	2.1	77.9
Julio	194	86.9	27.1	1.91	76.7
Agosto	181.4	88.4	27	1.8	78.6
Septiembre	156.1	70.2	25.7	1.69	83
Octubre	144.3	66.8	25	2.2	80.8
Noviembre	126.5	50.7	22.3	2.5	81
Diciembre	114.3	43.7	21.4	2.5	81.3
Año	1916.1	828.4	24.2	2.4	77.4

Anexo 2: Localización del sitio. Fuente Google Maps.



Anexo 3: Cálculos económicos del capítulo III. Fuente Elaboración propia en Excel.

Análisis de costos						
Ingreso						
Electricidad generada					15500	kWh/año
Tarifa eléctrica					3,15	Cup/kWh
Ingreso					48825	Cup
Ingreso por ahorro						
Electricidad generada en el año para el autoconsumo					15500	kWh/año
Tarifa eléctrica					3,15	Cup/kWh
Ingreso por ahorro					48825	CUP/año
Ingreso por exportación						
Electricidad generada para la exportación					0	kWh/año
Tarifa eléctrica					3,15	Cup/kWh
Ingreso por exportación					0	CUP/año
Ingreso total						
Ingreso por ahorro					48825	CUP/año
Ingreso por exportación					0	CUP/año
Ingreso total					48825	CUP/año
Determinación del período simple de recuperación						
Inversión en capital					282727	CUP
Ahorros anuales netos					48825	CUP/año
Determinación del período simple de recuperación PSRI					5,79061956	
Cálculo del interés simple						
Cantidad presente de dinero p					282727	CUP
Año para el que se desea determinar el valor futuro i					20	Año
Tasa de interés r					2,5	%
Interés simple F					989544,5	CUP
Cálculo del interés compuesto						
Cantidad presente de dinero P					282727	
Tasa de interés r					2,5	
Interés compuesto F a los 3 años					12121920,13	
Evaluación del valor del dinero a través del tiempo						
Cantidad presente de dinero P					282727	
Tasa de interés r					2,5	
Año para el que se desea determinar el valor futuro i					20	
Evaluación del valor del dinero a través del tiempo F					2,15143E+16	

Determinación del flujo de caja		
Ingresos en el año I	48825	CUP/año
Gastos en el año G	15120	CUP/año
Tasa de impuesto sobre la ganancia t	35	%
Costo del equipo	282727	CUP
Vida útil estimada (años)	20	años
Depreciación del equipamiento Dep	14136,35	CUP/año
Flujo de caja Fci	26855,9725	CUP/año
Determinación de la tasa de interés real		
Tasa de interés r	2,5	%
Tasa de inflación f	37,67	%
Determinación de la tasa de interés real R	-0,25546597	%
Determinación del valor presente neto		
Flujo de caja Fci	26855,9725	CUP
Inversión inicial Ko	282727	CUP
Margen de riesgo %	3	%
Tasa de descuento real utilizada D	-0,22546597	
Determinación del valor presente neto VPN	19329191,8	CUP

Impacto medioambiental		
Combustible ahorrado		
Energía generada KWh/año, se denomina E	15500	kWh
Consumo específico de combustible de los grupos electrógenos g	0,257	Kg/kWh
Combustible ahorrado	3983,5	Kg/año
Precio del barril actualmente	91,85	USD/Barril
Peso de cada barril	130	kg
Ahorro en combustible	2814,49596	USD
Ahorro en combustible	67502,5897	CUP/año
Cantidad de CO2 dejado de emitir a la atmósfera		
Combustible ahorrado	3983,5	
Se permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas	0,782	
Densidad del combustible p	850	
Cantidad de CO2 dejado de emitir a la atmósfera	3,66482	