

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
“Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Ingeniería



TRABAJO DE DIPLOMA

**Metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares
térmicos.**



Autor: Laercio Antonio Alfaro Mass

Tutores:

Ing. Luis Angel Iturralde Carrera

Msc. Jorge Luis Cabrera Sánchez

Msc. Reinier Jiménez Borges

Declaración de autoridad



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Mecánica

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.

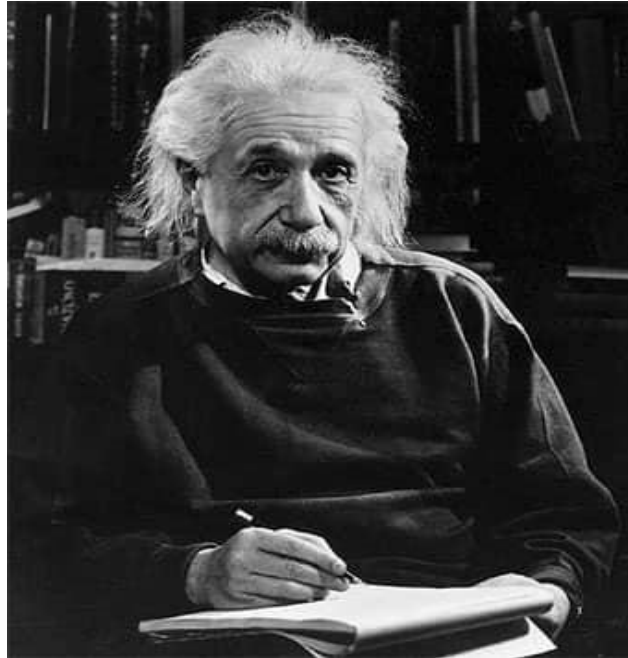
Firma del Vice Decano.

Nombre y Apellidos. Firma.

Información Científico Técnico

Pensamiento:

“ La cosa más hermosa que podemos experimentar es el misterio. Es la fuente de toda arte y toda ciencia”



Albert Einstein

Dedicatoria:

Dedico este trabajo a mis abuelos Jorge Alfaro y José Luis González, que han estado conmigo en cada paso que he dado, a mis padres Laercio y Consuelo, a mi hermana, 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 Consuelo Mass González, a mi amado padre Laercio Alfaro Padilla, a toda mi familia quienes me apoyaron de una u otra forma para que pueda lograr la finalización de mi carrera.

A quienes colaboraron en esta investigación: Ing. Luis Angel Iturralde Carrera, Msc. Jorge Luis Cabrera Sánchez y Msc. Reinier Jiménez Borges como mis asesores de tesis les estoy eternamente agradecido por el interés, la dedicación y confianza que depositaron en mi para realizar y culminar este trabajo de forma satisfactoria.

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

Resumen:

De acuerdo con la política energética que está adoptando el país para minimizar su dependencia de los combustibles fósiles y potenciar el desarrollo de las fuentes renovables de energía. En este estudio se desarrolló una metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos tomando en cuenta las características climáticas y estructurales del sitio. En este sentido la metodología en cuestión propone realizar una caracterización energética y estructural de la edificación, identificando las potencialidades del sitio para la selección y dimensionamiento de los sistemas solares a instalar con la utilización de métodos de cálculos tradicionales y softwares como Solidworks y Sketchup Pro 2021, donde se tienen en cuenta aspectos como la demanda de agua caliente sanitaria, la geolocalización, áreas disponibles, dimensiones de los módulos solares térmicos, tipo de sistema y temperatura final del agua. También se efectúa un análisis económico donde se determina la factibilidad de este tipo de inversión y el impacto medioambiental que trae consigo. Para validar este trabajo se efectuó un estudio de caso en el hotel Punta las Cuevas, obteniendo como resultado un total de 19 calentadores solares de tubos al vacío de la marca Rensol entre habitaciones y restaurante, la totalidad de las áreas disponibles (1300 m²) presentaron más de un 90% de radiación optima y el Periodo de Recuperación de la Inversión fue de 3.5 años para una tasa de interna de retorno del 75%, dejando de emitir así 7.79 (T/año) de CO₂ y ahorro de electricidad para el centro de 8468 kWh/año.

Palabras claves: sistemas solares térmicos, análisis energético, impacto medioambiental, agua caliente sanitaria, temperatura.

Abstract:

In accordance with the energy policy that the country is adopting to minimize its dependence on fossil fuels and promote the development of renewable energy sources. In this study, a methodology was developed for the sizing and selection of solar thermal systems taking into account the climatic and structural characteristics of the site. In this sense, the methodology in question proposes to carry out an energetic and structural characterization of the building, identifying the potentialities of the site for the selection and dimensioning of the solar systems to be installed with the use of traditional calculation methods and software such as Solidworks and Sketchup Pro 2021. , where aspects such as the demand for sanitary hot water, geolocation, available areas, dimensions of the solar thermal modules, type of system and final water temperature are taken into account. An economic analysis is also carried out where the feasibility of this type of investment and the environmental impact that it brings with it are determined. To validate this work, a case study was carried out at the Punta las Cuevas hotel, obtaining as a result a total of 19 Rensol brand vacuum tube solar heaters between rooms and restaurant, all the available areas (1300 m²) presented more than 90% of optimum radiation and the Investment Recovery Period was 3.5 years for an internal rate of return of 75%, thus ceasing to emit 7.79 (T/year) of CO₂ and saving electricity for the center of 8468 kWh/year.

Keywords: solar thermal systems, energy analysis, environmental impact, sanitary hot water, temperature.

Índice:

Introducción:.....	9
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
Introducción al capítulo	12
1.1 Situación Medioambiental Global.....	12
1.1.1 Matriz de consumo energético global.	13
1.1.2 Índices de Consumo de Energía en Cuba.....	14
1.2 Energías Renovables a Nivel Mundial.	14
1.2.1 Ventajas medioambientales de las energías renovables.....	15
1.3 Espectro electromagnético.....	15
1.4 Radiación solar.	16
1.4.1 Radiación incidente sobre la superficie terrestre.	17
1.4.2 Componentes de la radiación solar.	19
1.4.3 Posición Relativa del Sol a la Superficie Terrestre.....	20
1.4.4 Distribución geográfica de la radiación solar.	21
1.5 La Energía Solar.....	22
1.5.1 Aplicaciones de la Energía Solar.....	24
1.6 Energía Solar Térmica.	24
1.7 Características del Calentador Solar.	24
1.7.1 Principio de Funcionamiento del Calentador Solar.....	25
1.7.2 Clasificación de los SST.....	25
1.8 Principales Tecnologías en Cuba y el Mundo.....	27
1.9 Softwares utilizados en el mundo para el dimensionamiento de lo SST.....	30
Conclusiones parciales del capítulo.....	32
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.	33
Introducción del capítulo.....	33
2.1. Caracterización energética de la entidad.....	33
2.2. Análisis estructural del sitio.....	33
2.3. Estudio de las potencialidades del sitio donde se pretende instalar la tecnología solar térmica.	34
2.4. Selección del área para la instalación de los módulos solares térmicos.....	35
2.5. Determinación de la cantidad de agua caliente demandada.....	36
2.6. Selección del SST a utilizar.	38

2.7. Cálculo de la cantidad de módulos necesarios para cubrir la demanda de (ACS) a satisfacer por el Sistema Solar Térmico (SST).....	42
2.9. Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.....	46
2.10. Análisis económico.....	47
2.10.1. Análisis de costo para la institución.	47
2.11. Análisis medioambiental.....	50
Conclusiones parciales del capítulo:.....	50
CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE CASO.....	51
3.1. Caracterización energética de la entidad.....	51
3.3. Orientación y coordenadas del sitio.	55
3.4. Selección del área para la instalación de los módulos solares térmicos.....	56
2.5. Cantidad de agua caliente demandada.	57
3.6. Selección del SST a utilizar.	58
3.7. Cálculo de la cantidad de SST por consumo de agua caliente.	59
3.8. Disposición y ángulo de inclinación óptimo.	59
3.9. Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.	60
3.10. Análisis económico.....	61
3.10.1. Costo de la inversión.	62
3.10.2. Datos de las tasas a utilizar en la evaluación económica.	62
3.10.3. Consumo y costo de la energía para producir (ACS) en la instalación. ..	63
3.11. Análisis medioambiental.....	64
Conclusiones parciales del capítulo:	64
Conclusiones Generales:	66
Anexos:	70

Introducción:

El mundo produce 85 % de su energía utilizando combustibles fósiles, como el carbón, el gas y el petróleo. Esta dependencia está provocando que el planeta sufra grandes cambios ambientales. La deforestación, la sequía, las grandes olas de calor y el derretimiento de los glaciares son; por mencionar algunas de las consecuencias del acelerado crecimiento científico, tecnológico y económico de la humanidad (Mohammad, 2022).

Reducir las emisiones contaminantes depende de que un número suficientemente amplio de países que adopten medidas mitigadoras eficientes y alineadas con los acuerdos internacionales. La cooperación internacional es fundamental para hacer efectivos los compromisos asumidos en virtud de esos acuerdos, llevar a cabo la transición energética y frenar el cambio climático. Tanto el G - 20, que cuenta entre sus miembros con los mayores emisores de gases de efecto invernadero, como el Fondo Monetario Internacional están incorporando de manera creciente consideraciones climáticas para el desarrollo de energías renovables (Garrido, 2022). Estos tipos de energías son aquellas que se van renovando o rehaciendo con el tiempo de forma continua y son tan abundantes en la tierra que perdurarán por miles de años, las usemos o no. Las fuentes de energía renovable son: solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidráulica y oceánica (mareomotriz y hondomotriz) (Belling, 2022).

Cuba posee un alto nivel de consumo de energía eléctrica y se encamina a que éste crezca cada día más. Desgraciadamente para su generación, muchas de las fuentes que se utilizan son a base de hidrocarburos, que como se ha comprobado ocasionan efectos secundarios dañinos al medio ambiente y a la salud. Además, este tipo de combustible representa una fuente no renovable de energía, que en un futuro no muy lejano irá incrementando su valor y finalmente se agotará (Filgueiras, 2022). Por otro lado la isla cuenta con un potencial enorme para aprovechar las energías renovables. Si se apoya su desarrollo, esto atenuará los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales (Guerrero, 2021).

Sin dudas una de las tecnologías más respetuosas con el medio ambiente y que ha aportado tanto al desarrollo de la humanidad, es la que se basa en la utilización de métodos de aprovechamiento de la luz solar. Uno de los problemas que más afectan la economía de un país y en especial en Cuba es el encarecimiento y el déficit de recursos energéticos, por lo que se hace imprescindible llevar a cabo una política para el desarrollo de estas tecnologías (Hernández, 2022)

Los Sistemas Solares Térmicos (SST) aprovechan la energía del Sol para generar calor y producir agua caliente sanitaria y en algunos casos electricidad. Estos se basan en captar y concentrar la radiación solar en un determinado punto o superficie para que el potencial energético de la radiación solar sea transferido en forma de calor al agua por los diferentes mecanismos de transferencia de calor (convección, conducción y radiación) (Ravi et al., 2020). La inversión de esta tecnología se amortiza con el ahorro energético. Actualmente, las instalaciones solares térmicas pueden quedar amortizadas entre 8 y 12 años, con una vida útil de 15 a 20 años en promedio. El período de amortización efectivo dependerá del tipo de combustible que se sustituye, variaciones de su precio, radiación solar existente, clima del lugar, demanda de agua caliente, y el tamaño y costo del SST (Barrietos, 2021).

Este estudio propone una metodología de cálculo para el dimensionamiento y selección de calentadores solares térmicos sin excluir el tipo de entidad donde se desee instalar la tecnología. El cual tiene como fin la utilización del componente energético proveniente del sol para satisfacer la mayor parte de los requerimientos de agua caliente de las instalaciones, sin tener que pagar combustible, pues el empleo de la energía solar no conlleva contaminación de ninguna naturaleza con la característica que es casi completamente gratuita y abundante, así como inagotable.

Problema:

Hoy en día no existe en Cuba una metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos que tomen en cuenta las características climáticas y estructurales del sitio.

Hipótesis:

La propuesta de una metodología que tome en cuenta las características climatológicas y estructurales de un sitio debe propiciar un correcto dimensionamiento y selección de los sistemas solares térmicos.

Objetivo general:

Desarrollar una metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos que tomen en cuenta las características climáticas y estructurales del sitio.

Objetivos específicos :

- Estudiar las tendencias nacionales e internacionales de la utilización de energía solar térmica en edificaciones y principales tecnologías.
- Identificar las herramientas informáticas más comunes para el dimensionamiento de estos sistemas.
- Desarrollar una metodología de cálculo, incluyendo criterios económicos y de sostenibilidad ambiental.
- Validar la metodología propuesta en un estudio de caso.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Introducción al capítulo

Este primer capítulo está enfocado en la situación medioambiental por la que atraviesa el planeta y la ventaja que representa el uso de fuentes de energías renovables en especial la energía solar. En relación a los sistemas solares térmicos (SST), se abordan temas como, componentes, principales tecnologías y herramientas informáticas más utilizadas en el mundo para la explotación de este recurso; todo esto con el fin de tener una mayor información a la hora de elaborar una metodología basada en la selección y dimensionamiento de sistema solares térmicos.

1.1 Situación Medioambiental Global.

En la próxima década uno de los grandes problemas que enfrentará el mundo es el cambio climático ya que está afectando en gran parte el medio ambiente. Es por ello, la necesidad de tomar medidas urgentes ante la emergencia climática con el fin de salvar vidas humanas y especies animales e intentar recuperar lo que nos hemos dedicado en los últimos años a destruir (Vargas, 2022). Para ello, países, organizaciones y grandes empresas han adoptado un conjunto de medidas para mitigar estos efectos, las cuales son:

- **Contaminación:**

- Disminución del uso de los automóviles de combustión y utilización de modelos eléctricos.
- Producción de productos ecológicos, y no sólo de alimentos, también productos de aseo, moda y cosméticos.
- Reciclar y reducir el consumo de plásticos.
- Utilización de energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidráulica y oceánica.

- **Deforestación:**

- Prohibir la tala indiscriminada de árboles.
- Exigir la sustentabilidad de las empresas y sus proveedores.
- Fortalecer las poblaciones indígenas quienes por su identidad cultural protegen y conservan los territorios forestales.

- **Pérdida de Biodiversidad:**

- Prohibir el transporte de especies exóticas.
- Concientizar sobre de la importancia que tienen las especies vegetales y animales para la vida del planeta.
- Aplicar las “tres erres” ecológicas,(reducir, reutilizar y reciclar).

1.1.2 Matriz de consumo energético global.

Según (Zieliński, 2022) en el último año la demanda de electricidad aumentó el máximo jamás visto en términos absolutos 1 414 TWh, esto equivale aproximadamente a agregar otra India a la demanda de electricidad mundial. Muchos países avanzados recuperaron los niveles anteriores a la pandemia después de la caída en el 2020. El crecimiento real sigue ocurriendo en Asia, en gran medida, por el auge del crecimiento económico. Un ejemplo de ello es China que experimentó el mayor aumento, con una demanda de electricidad un 14 % en correspondencia al 2021.

El consumo mundial de petróleo disminuyó hasta un 34 % y, a pesar de la reducción mantuvo la primera posición. Tras esta primera fuente energética se posicionó el carbón con un 27 %. El gas natural, en cambio, aumentó a nivel global su cuota de participación en la energía primaria con un 24 %.

En conjunto, el uso de combustibles fósiles representa el 85 % del total de energía primaria consumida a nivel mundial. Finalmente, la energía nuclear y renovable representaron el 4 % y 11 % del consumo de energía primaria en el mundo (Zieliński, 2022) como se muestra en la figura 1.1.

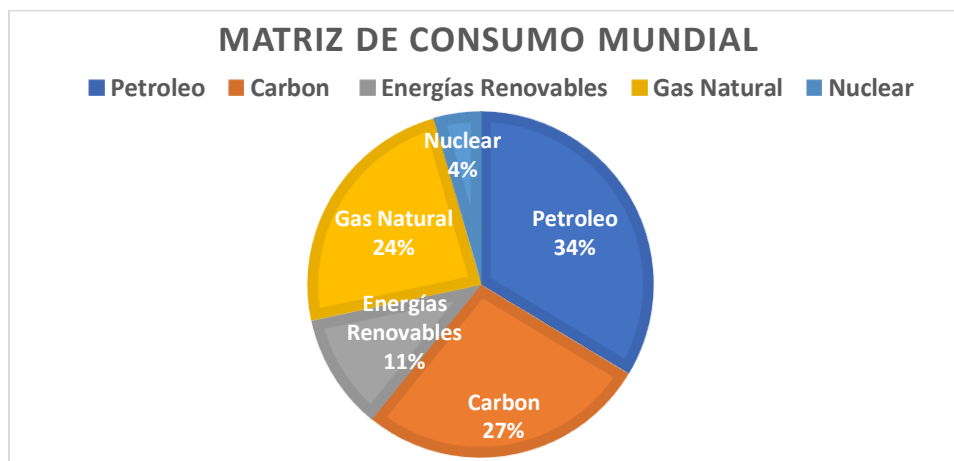


Figura 1.1. Consumo mundial de energía primaria. Elaboración propia, Agosto 2022.

1.1.3 Índices de Consumo de Energía en Cuba.

En Cuba el 40.6 % de la capacidad de generación se produce en centrales termoeléctricas, el 21.5 % con motores a Fuel Oil, y el 21.9 % con motores diésel. Estas dos últimas tecnologías, en los emplazamientos de generación distribuida instalados en todas las provincias del país. Hoy en el país casi el 8 % se produce con gas acompañante de la producción de petróleo, el 5 % proviene de fuentes renovables de energía (agua, sol, y viento), y el cerca de 3 % restante se produce en las unidades flotantes enclavadas en el Mariel (Filgueiras, 2022) como muestra la figura 1.2.

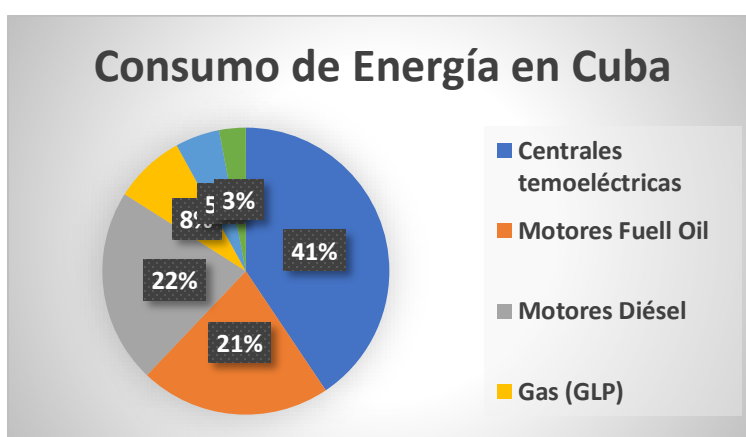


Figura 1.2. Consumo energético cubano. Elaboración propia.

1.2 Energías Renovables a Nivel Mundial.

El panorama energético global está pasando por un cambio fundamental, impulsado por el rápido crecimiento del uso de energías renovables gracias a las reducciones en los costos de las tecnologías y sistemas, en particular para las energías solares. En los últimos años los costos de estas tecnologías han caído un 80 % (Schnyder, 2020). Esto es de gran relevancia pues proporciona un gran ímpetu para la implementación de energías renovables en las ciudades, empresas y el sector residencial. Esto contribuye a que las ciudades mitiguen sus emisiones de CO₂ relacionadas con la energía, que en su mayor parte se derivan de los sectores de la construcción, el transporte y la industria (Gómez, 2021).

1.2.1 Ventajas medioambientales de las energías renovables.

Las ventajas medioambientales de las energías renovables son quizá las más conocidas aunque no son las únicas. Las principales ventajas medioambientales son las siguientes:

- Son inagotables, ya sea por la magnitud del recurso o por su regeneración natural.
- Son limpias y no generan residuos de difícil tratamiento.
- No producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes a la atmósfera. En el caso de la bioenergía, la planta en su crecimiento absorbe el CO₂ que posteriormente emitirá en su combustión (Magoja, 2022).

1.3 Espectro electromagnético.

En el espectro electromagnético son considerados todos los rangos de frecuencias de radiación electromagnética. Se caracteriza por la distribución de radiación emitida o absorbida por el objeto en particular. Las ondas electromagnéticas son capaces de transmitir energía de un lugar a otro, especialmente en el vacío.

La energía solar se encuentra dentro del espectro electromagnético como radiación infrarroja, visible y ultravioleta. La energía infrarroja es la que experimentamos cotidianamente en forma de calor, como la luz del sol, un incendio, un radiador o una acera caliente. Esto está entre las secciones visibles y de microondas del espectro electromagnético. La luz infrarroja tiene un rango de longitudes de onda desde la luz roja hasta la violeta como se muestra en la figura 1.3. El porcentaje de energía radiante emitida por intervalo de unidad de longitud de onda es llamado función de la distribución de la energía espectral.(Martínez, 2018).

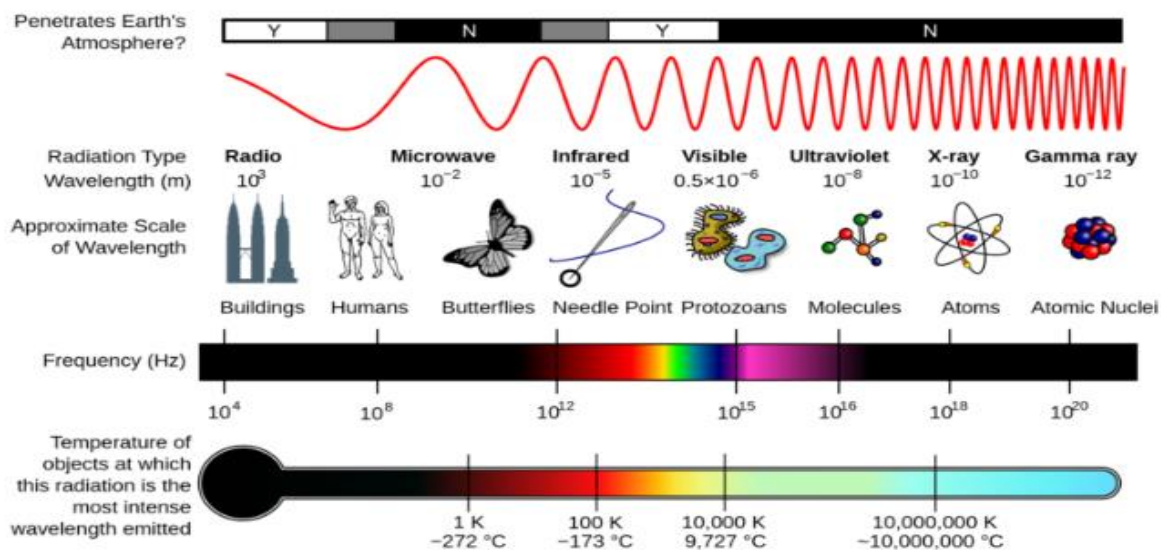


Figura 1.3. Tipos de radiación. Tomado de (Golant, 2022).

En la figura 1.3 se describe el espectro electromagnético desde la luz de baja energía a la izquierda, hasta la luz de alta energía a la derecha. En la parte superior de la figura, Y y N identifican las longitudes de ondas de la luz que pueden y no pueden atravesar la atmósfera terrestre, respectivamente. En la parte inferior una barra de colores indica la temperatura típica de un objeto que emite con mayor intensidad a esta longitud de onda.

1.4 Radiación solar.

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El cual es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura media de 5 778 K (5 505 °C) y en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. La superficie del Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la potencia que por unidad de superficie alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (Martínez, 2018).

1.4.1 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 1.4.

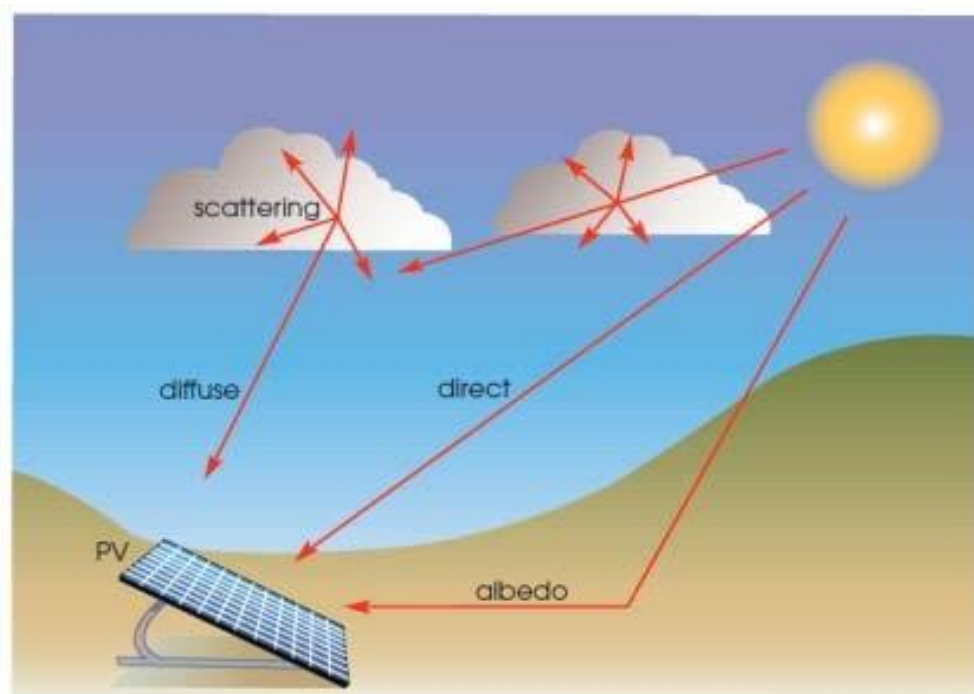


Figura 1.4. Componentes de la radiación global. Imagen extraída de Google.

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).

Según (Sun, 2022) 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; el flujo con el cual

esta energía incide sobre una superficie horizontal por segundo es lo que llamamos radiación solar difusa. 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. Cuando no hay nubes en el cielo, la radiación difusa se produce por medio del proceso de difusión a través de partículas atmosféricas.

Radiación global (H).

La radiación global es toda la radiación solar que llega a la tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa. El aporte de cada componente a la radiación global, varía con la altura del Sol, la transparencia de la atmósfera y la nubosidad. Su evaluación se efectúa por el flujo de esta energía por unidad de área y de tiempo sobre la superficie horizontal expuesta al Sol y sin ningún tipo de sombra (Sun, 2022).

Balance radiativo.

Según (Zhou et al., 2021) el balance radiativo del planeta es un parámetro fundamental ya que determina nuestro clima (la atmósfera se calienta o se enfría dependiendo de si recibe más o menos energía). Este balance incluye la energía solar, que es la principal fuente de energía para el planeta, igualmente, la atmósfera y el océano pueden trasladar excesos de energía de una región a otra diferente en el globo. Considerando, que al tope de la atmósfera llega un 100% de la radiación solar, de este total, sólo un 25% llega directamente a la superficie de la Tierra y un 25% es dispersado por la atmósfera como radiación difusa hacia la superficie, esto hace que cerca de un 50% de la radiación total incidente llegue a la superficie terrestre. Un 20% es absorbido por las nubes y gases atmosféricos (como el ozono en la estratosfera). El otro 30% se pierde hacia el espacio, de este porcentaje, la atmósfera dispersa un 6%, las nubes reflejan un 20% y el suelo refleja el otro 4 %. El flujo medio incidente en el tope de la atmósfera es un cuarto de la constante solar, es decir, unos 342 W/m^2 y queda reducida en superficie (por reflexión y absorción) a unos 168 W/m^2 (Padrón, 2022), como se observa en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Balance radiativo en (W/m^2).

Entrante		Saliente	
Balance de calor en la superficie de la tierra			
Radiación solar	168	Radiación terrestre	390
Radiación atmosférica	324	Evaporación	78
		Conducción y convección	24
Total	492	Total	492
Balance de calor de la atmósfera			
Radiación solar	67	Radiación al espacio	195
Condensación	78	Radiación a la superficie	324
Radiación terrestre	390	Radiación de la tierra al espacio	40
Conducción	24		
Total	559	Total	559
Balance de calor planetario			
Radiación solar	342	Reflejada y dispersada	107
		Radiación de atmosfera y nubes al espacio	195
		Radiación de la tierra al espacio	40
Total	342	Total	342

Elaboración propia a partir de :(Prath, 2020).

1.4.2 Componentes de la radiación solar.

La atmósfera terrestre interviene directamente en la relación de incidencia producida entre la radiación solar y la superficie terrestre. Dependiendo de la longitud de onda de la energía transmitida por la radiación y de la naturaleza de la sustancia que conforma a la atmósfera, se producen los fenómenos conocidos como dispersión, reflexión y absorción (Lovell, 2022).

Dispersión:

Los gases contenidos en la atmósfera desvían parte de la energía de la radiación que viaja en línea recta desde el Sol, creándose así la radiación difusa. Este efecto

es el culpable de que zonas o áreas de la superficie en las cuales haya sombra estén iluminados, aunque no les llegue luz solar directa, y es gracias a la luz difusa (Padrón, 2022).

Reflexión:

La capacidad de reflexión o fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie se denomina (albedo). El albedo planetario es en promedio de un 30%. Esta energía se pierde y no interviene en el calentamiento de la atmósfera. Además este depende de la cobertura nubosa, naturaleza de la superficie, inclinación de los rayos solares y partículas en el aire (Lovell, 2022).

Absorción:

La atmósfera está compuesta por distintos gases, estos son mayoritariamente nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, ozono y vapor de agua, y absorben selectivamente la radiación solar dependiendo de las longitudes de onda. Un mal absorbente de radiación solar sería el nitrógeno, mientras el oxígeno y el ozono son buenos absorbentes de radiación ultravioleta en longitudes cortas. El vapor de agua resulta ser un buen absorbente en longitudes más largas. Para el rango de longitudes de onda entre $0.3\ \mu\text{m}$ y $0.7\ \mu\text{m}$ ningún gas componente de la atmósfera es buen absorbedor por lo que en la región de luz visible existe un vacío, que corresponde a una importante fracción de la radiación solar. Esta es la razón por la que la radiación visible llega a la Tierra y por ello la atmósfera es transparente a la radiación que proviene del Sol (Grossi, 2022).

1.4.3 Posición Relativa del Sol a la Superficie Terrestre.

La posición del sol relativa a una superficie se establece como una función que relaciona la posición solar en la esfera celeste y la posición de dicha superficie sobre el plano horizontal al que pertenece. Esta posición viene caracterizada por dos ángulos, que se observan en la figura 1.5.

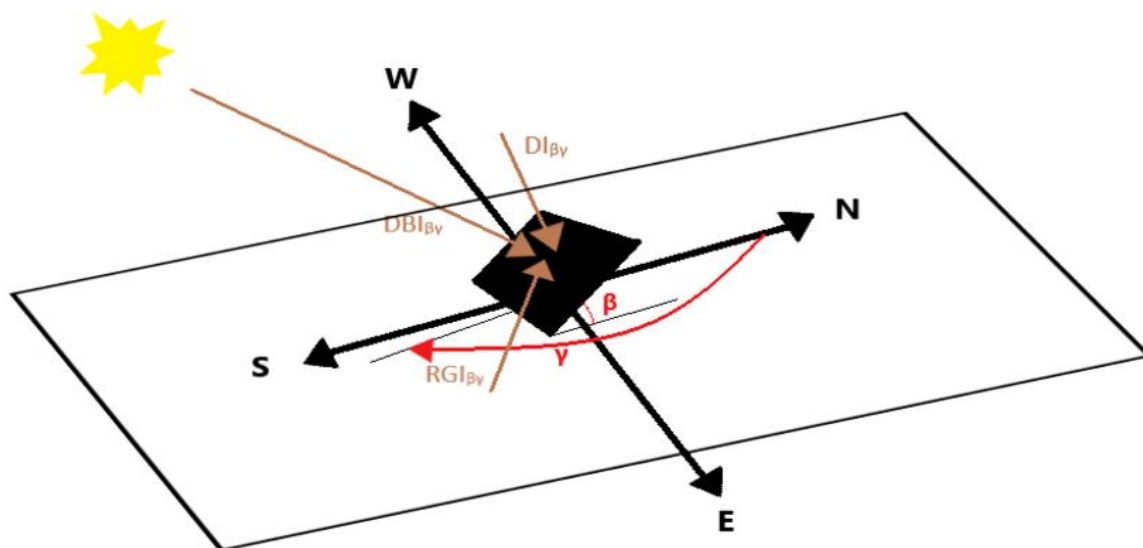


Figura 1.5. Presentación gráfica del ángulo de inclinación β y el ángulo azimutal γ , junto con los componentes difuso, de haz directo y reflectante de la radiación solar recibida. Imagen extraída de (Lovell, 2022).

- El ángulo acimutal, (γ), también llamado orientación, que forma la proyección de la normal a la superficie sobre el plano horizontal con el plano meridiano del lugar. Se cuenta a partir del punto cardinal Sur, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el Este y negativamente hacia el Oeste.
- La pendiente o inclinación, β , de la superficie, que es el ángulo formado por dicha superficie con el plano horizontal. Se mide de 0° a 180° . Si $\beta > 90^\circ$ la superficie estaría enfrentada al suelo (Valladares et al., 2022).

1.4.4 Distribución geográfica de la radiación solar.

Debido a la forma esférica de la Tierra, a las características de su superficie y a su posición con respecto al sol, la cantidad de energía que proviene del sol e incide en cada punto de la Tierra no es constante. Esto hace que existan lugares más idóneos y aprovechables que otros para instalar y explotar los sistemas de captación solar. A la franja situada entre las latitudes $\pm 35^\circ$ respecto al ecuador, se le llama coloquialmente “cinturón solar”, y se identifica con la zona descrita en la figura 1.6 con colores más rojizos. En dicha franja los niveles de radiación son mayores de 1700 kWh/m^2 al año, lo que hace que los países incluidos en esta área con semejante potencia, tengan la atracción de poder aprovechar las energías solares con unos costes aceptables (Sun, 2022).

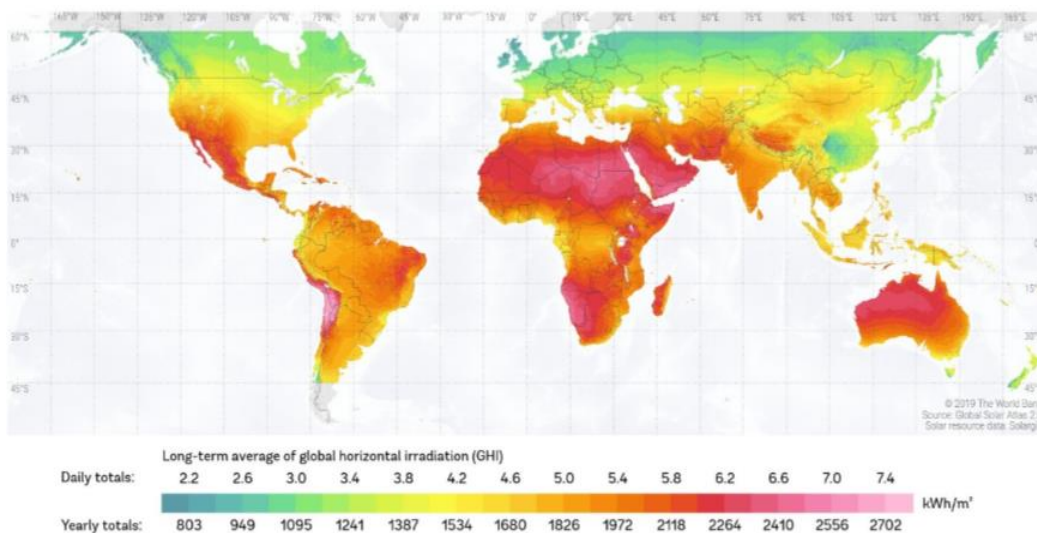


Figura 1.6. Mapa mundial de la radiación solar por zonas. Tomado de (Zhou et al., 2021).

Distribución de la radiación solar para el territorio nacional.

Cuba se sitúa dentro de este cinturón solar por tener anualmente una radiación promedio que oscila entre los 1 642 kWh/ m² año y los 2 372 kWh/ m² año. Además, tiene la ventaja de disfrutar ampliamente de la luz durante todo el año como se muestra en la figura 1.7.



Figura 1.7. Mapa de la radiación solar en Cuba. Imagen extraída de (Lovell, 2022).

1.5 La Energía Solar.

Esta forma de energía es necesaria para la vida de plantas, animales y seres humanos. Es una solución óptima debido a sus características (es limpia, segura y relativamente inagotable) por ello se desarrollan nuevas formas de obtención de la misma por medio de paneles, colectores y espejos concentradores.

Las células solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Por otro lado, los colectores solares térmicos usan espejos concentradores, laminas absorbedoras y sustancias en el vacío para captar la radiación y posteriormente transferirla a un fluido en forma de calor, obteniendo así agua caliente en hoteles, hospitales, la industria y el hogar. De la energía solar se puede obtener calor y electricidad, es por ello que el estudio de la energía solar se lleva a cabo en base a las necesidades del ser humano (Albertus, 2022).

Ventajas:

- Este tipo de energía no contamina.
- Es una fuente inagotable.
- Son de fácil mantenimiento, lo que facilita su elección.
- El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando, mientras que el costo de los combustibles fósiles aumenta con el paso del tiempo, debido a que cada vez son más escasos.(Albertus, 2022).

Desventajas:

- El nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan atractivo para el consumidor.
- Necesita grandes extensiones de terreno, lo que dificulta que se escoja este tipo de energía.
- En diversas ocasiones se debe complementar este método de convertir energía con otros, como por ejemplo las instalaciones de agua caliente y calefacción, que requieren una bomba para hacer circular el fluido.
- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial) (Albertus, 2022).

1.5.1 Aplicaciones de la Energía Solar.

El campo de aplicación de la energía solar se manifiesta mediante la implementación de dos grupos de sistemas solares los cuales son:

- Sistemas solares fotovoltaicos.
- Sistemas solares térmicos.

Los sistemas fotovoltaicos transforman la luz del sol en energía eléctrica; estos sistemas funcionan con baterías para el almacenamiento de la energía producida por los paneles y su aplicación es idónea para zonas donde no hay tendidos eléctricos. También hay sistemas que se conectan a las redes de energía eléctrica, estos no utilizan baterías pues parte de la energía producida es inyectada a la red.

En los sistemas solares térmicos, la temperatura puede ser baja, intermedia o alta; dependerá de la aplicación que tenga. Para sistemas en viviendas, el rango de temperaturas anda entre los 50°C y 65°C; en sistemas industriales las temperaturas pueden sobrepasar los 100°C esto dependerá de la tecnología utilizada y no necesariamente será con agua puesto que se pueden utilizar diseños especiales de este sistema para el calentamiento de aire (Salcedo, 2021).

1.6 Energía Solar Térmica.

La energía solar térmica es aquella que aprovecha la energía que nos llega del sol en forma de radiación, y la transforma en energía térmica mediante el uso de colectores o captadores solares con el objetivo de generar calor para diferentes usos: cocinar, producir agua caliente y en la calefacción. Es una forma de energía renovable sostenible que, normalmente, se aplica en viviendas e instalaciones pequeñas. Sin embargo, también se utiliza en centrales de mayor tamaño.

Dicha tecnología presenta captadores por donde circula un fluido (agua o ciertos gases) que se calienta gracias a esa radiación, haciendo que se eleve la temperatura del agua de un depósito. Gracias a este sistema se consigue producir agua caliente y vapor (Barrietos, 2021).

1.7 Características del Calentador Solar.

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. Este consta principalmente de tres partes como se muestra en la figura 1.8:

- Placa colectora: esta es la pieza fundamental del equipo, la cual se encarga de capturar la energía del sol y transferirla al agua.
- El termo – tanque: es donde se almacena el agua caliente.
- El sistema de tuberías: es por donde el agua circula.

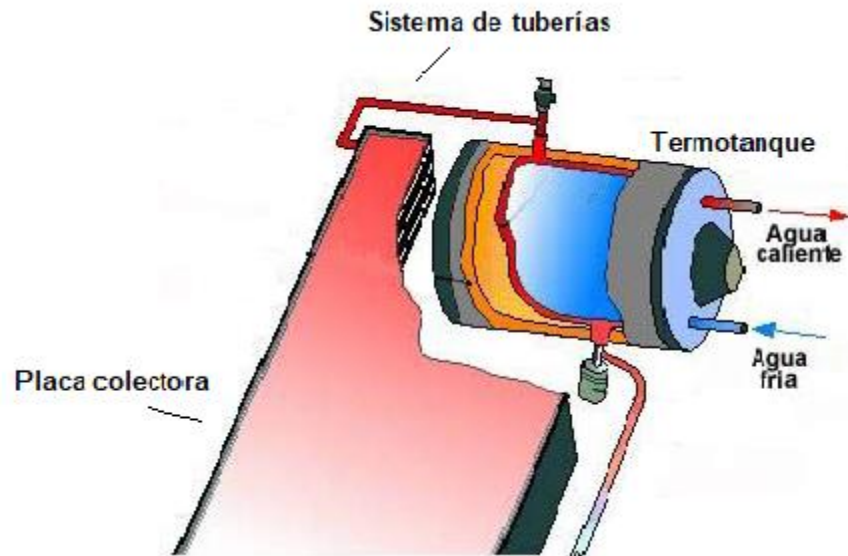


Figura 1.8. Partes principales de un calentador solar. Imagen extraída de (Moreno, 2022).

1.7.1 Principio de Funcionamiento del Calentador Solar.

El principio de funcionamiento de estas tecnologías es absorber o concentrar la luz solar por medio de revestimientos de vidrio y espejos concentradores con el fin de provocar un aumento en la temperatura del fluido que circula por dentro de los colectores ya sean tubos al vacío o placa plana, en ellos se produce un efecto denominado “termosifón” donde el agua caliente que es más ligera que la fría tiende a subir. Dando lugar a una circulación natural, sin necesidad de ningún equipo de bombeo.

1.7.2 Clasificación de los SST.

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:

Este tipo de sistemas va destinado a calentar agua por debajo del punto de ebullición a temperaturas entre 50°C a los 65°C normalmente dedicado para el

sector comercial como hoteles e industrias y para el sector residencial por su fácil montaje y mantenimiento (Ravi et al., 2020) como se muestra en la figura 1.9. Dicho esto se pueden encontrar desempeñando diferentes usos como:

- Sistema complementario en el hogar.
- Para calentar aguas de piscinas.
- En la calefacción.
- En el precalentamiento de agua para usos industriales.

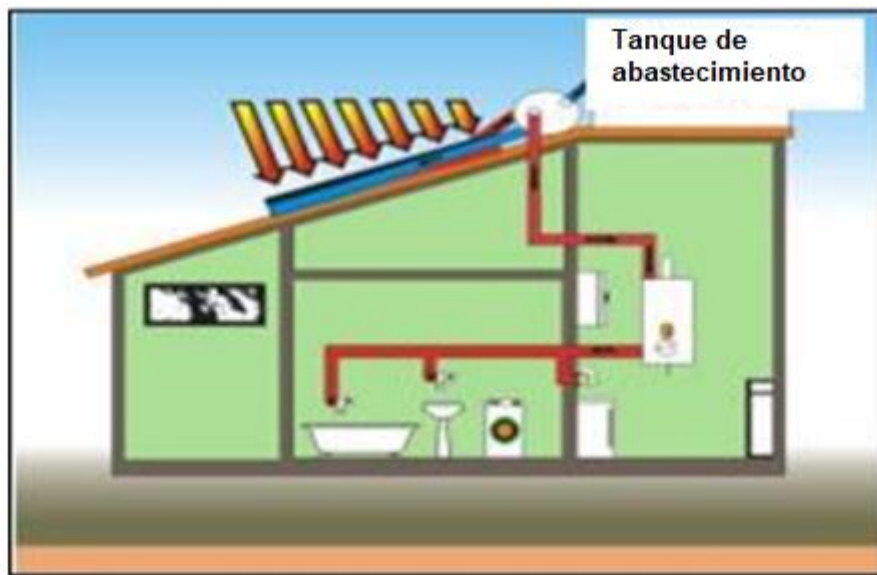


Figura 1.9. Sistema de baja temperatura. Imagen tomada de (Salcedo, 2021).

Sistemas de media temperatura:

Estos van destinados a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 100°C. Este tipo de sistemas se puede utilizar para la producción de vapor o para el calentamiento de otro tipo de fluido, pudiéndose alcanzar hasta los 300°C (Ravi et al., 2020).

Sistemas de alta temperatura:

Están dirigidos a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 300°C fundamentalmente producción de energía eléctrica. Producir energía térmica sin que exista un proceso de combustión supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio y exento de cualquier tipo de contaminación como se muestra en la figura 1.10 (Kamal, 2022); (Salcedo, 2021).

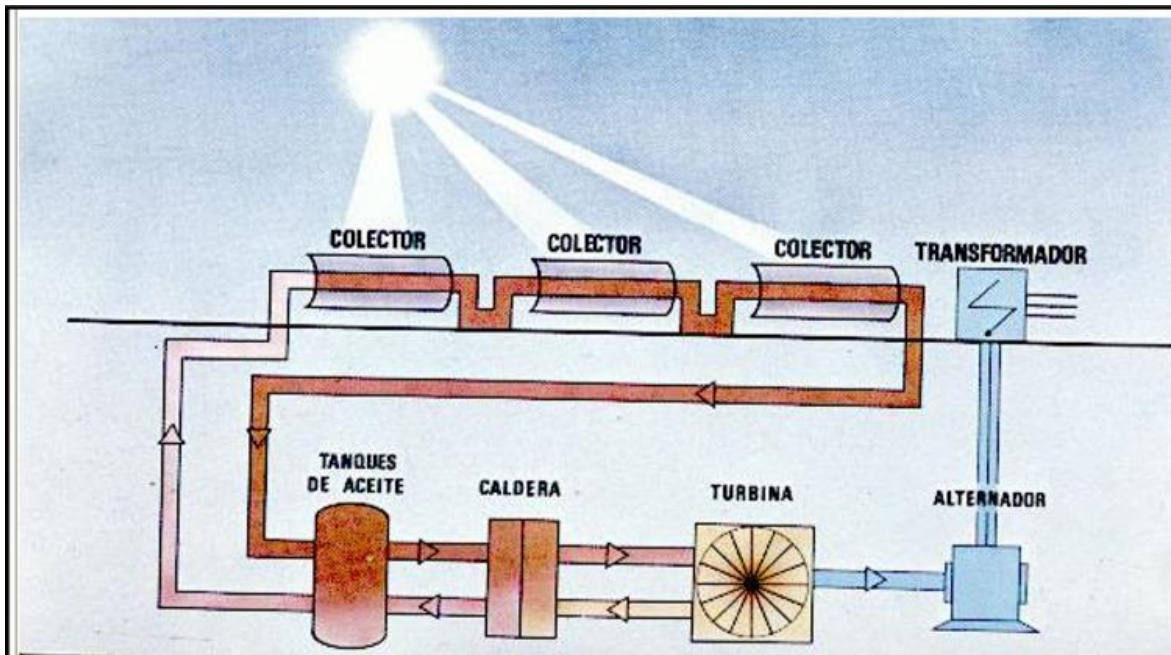


Figura 1.10. Esquema de un sistema de alta temperatura. Imagen tomada de (Salcedo, 2021).

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.

1.8 Principales Tecnologías en Cuba y el Mundo.

Calentador solar de tubos al vacío:

Estos consisten en dos o tres tubos, dos interiores de metal y uno exterior de vidrio fabricado de borosilicato, generalmente concéntricos como muestra la figura 1.11. Entre el tubo de vidrio y el tubo metálico externo, que debe ser negro (y puede ser de cobre) se hace el vacío, ya que la forma tubular permite que los tubos soporten grandes presiones, así como captar la mayor cantidad de radiación solar como se muestra en la figura 1.12. Debe señalarse que se hace el vacío para reducir las pérdidas de calor por conducción y convección, con lo cual se consiguen temperaturas más elevadas. El resultado final es que en los colectores tubulares la pérdida de calor por convección y conducción se reduce considerablemente, la temperatura de operación aumenta y su eficiencia real oscila entre 60 y 70%.

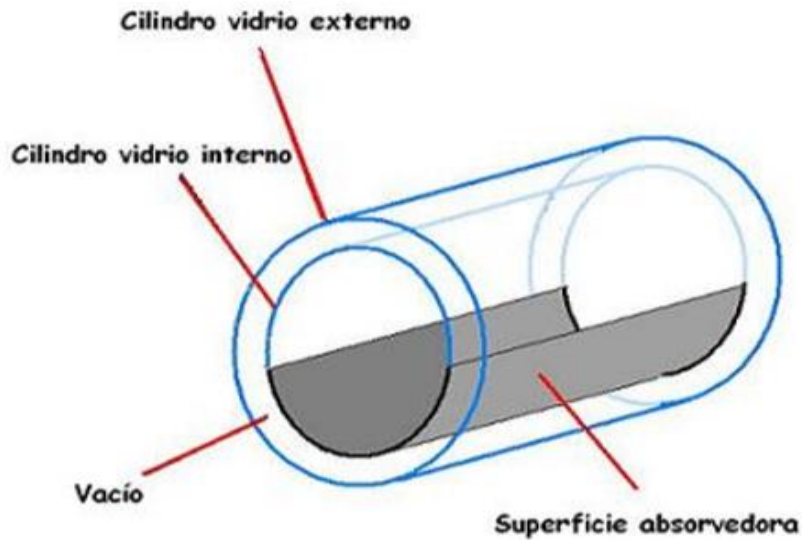


Figura 1.11. Sección del tubo al vacío. Elaboración propia.



Figura 1.12. Calentador solar de tubos al vacío. Imagen extraída de Google.

Calentadores solares de placa plana:

Los colectores solares planos son sistemas de captación energética en los que la energía solar incidente tiene que atravesar una o varias capas normalmente de vidrio o algún otro material transparente adecuado, antes de alcanzar la placa de absorción negra, que es el elemento más importante del colector solar, al cual está unido el tubo por donde circula el fluido térmico portador del calor. Este calor, posteriormente es transferido por conducción hacia el fluido de trabajo, que es el que finalmente remueve la energía térmica del colector y la transfiere al tanque de almacenamiento térmico. El vidrio o su sustituto, además de permitir el paso de la radiación solar hasta la placa de absorción, sirve también para minimizar las

pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente por la parte superior del colector, realizando pues un importante doble trabajo. En la figura 1.13 se muestra un ejemplo de este tipo de calentador.



Figura 1.13. Modelo de calentador solar de placa plana. Imagen extraída de (Ravi et al., 2020).

En cuanto a la configuración 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 1.14.

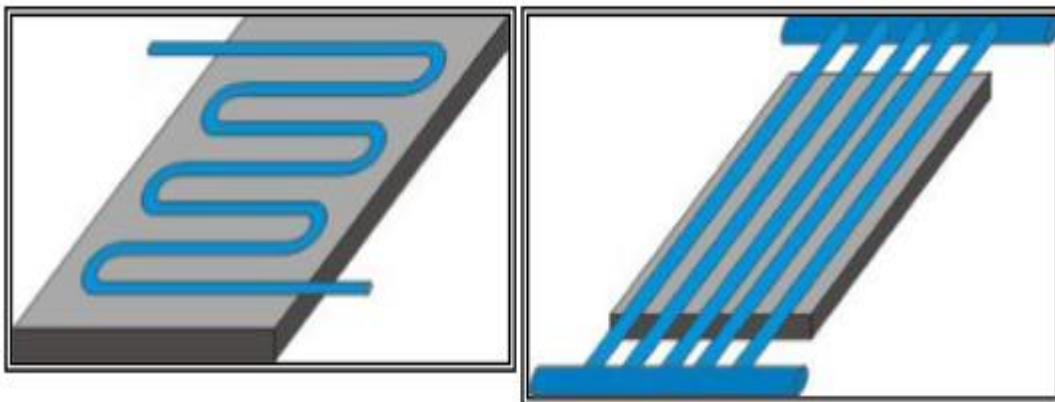


Figura 1.14. Un colector de serpentina y uno de tubos paralelos. Elaboración propia.

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 1.15. 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.



Figura 1.15. 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.

1.9 Softwares utilizados en el mundo para el dimensionamiento de lo SST.

Aunque el procedimiento de dimensionado del campo de captadores de una instalación solar térmica no es complejo, sí es cierto que el uso de un software específico facilita enormemente esta tarea que se torna repetitiva, ya que deben realizarse los cálculos para los 12 meses del año. A continuación se van a presentar brevemente 5 softwares que se pueden utilizar con esta finalidad.

1.CHEQ4: Este software contiene una colección de distintas tipologías de instalaciones que el usuario puede elegir y, tras introducir el resto de datos que definen los componentes que forman parte de ella (captador, depósito, intercambiador, tuberías, etc.), proporciona como resultado la cobertura solar para (ACS) o para calentamiento del agua de piscinas. No es por lo tanto un software de

dimensionado, sino únicamente de verificación, ya que la instalación debe de estar previamente definida.(Gracia, 2021).

2. ESCOSOL: Se trata de una hoja de cálculo desarrollada en formato Excel que permite calcular instalaciones de energía solar térmica, instalaciones de aerotermia y para obtener la etiqueta de eficiencia energética. Ha sido elaborada por la empresa Salvador Escoda S.A. Inicialmente el usuario debe elegir el tipo de instalación solar que desea diseñar (para Agua Caliente Sanitaria, para Calefacción por Suelo Radiante o para Climatización de Piscinas). Tras ello, deberán de cumplimentarse los datos necesarios, incluido el modelo de captador elegido y los correspondientes a la demanda energética). Además de proporcionar la contribución solar anual conseguida, facilita una estimación del coste de la instalación y contiene un apartado en el que es posible realizar el dimensionado de las tuberías de los circuitos primario, secundario y de distribución, incluyendo el vaso de expansión y el electro circulador (Gracia, 2021).

3. ACSOL: En este caso, es un simulador de instalaciones solares térmicas de baja temperatura. Este contempla cuatro esquemas de principio distintos, todos ellos aplicables a edificios multifamiliares: con acumulación centralizada, distribuida, mixta o centralizada con intercambiador individual. Pero también posibilita el estudio de instalaciones solares para piscinas cubiertas y para preparación de agua para duchas comunitarios (polideportivos o gimnasios) (Gracia, 2021).

4. TRANSOL: Este software no es de dimensionado, sino de simulación; lo que significa que el usuario debe disponer de la instalación predefinida. Paso a paso, deberán introducirse los datos que vaya solicitando el programa para que, finalmente, realice una simulación de su funcionamiento hora a hora a lo largo de todo un año. Una vez terminado el proceso, se obtendrán como resultados la contribución solar, el tiempo de funcionamiento de las bombas, energía consumida por ellas, déficit energético y pérdidas energéticas (Gracia, 2021).

5. SEAS_ST: Esta es una sencilla pero práctica hoja de cálculo de carácter eminentemente didáctico, que permite seguir detalladamente el proceso de dimensionado del campo de captadores de una instalación. (Gracia, 2021).

- Introducción de los datos de demanda de agua caliente (ACS).

- Determinación de las pérdidas de energía debidas a inclinación, orientación y sombras.
- Estimación de la superficie captadora para el cumplimiento de los requisitos del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Obtención de la contribución solar y del déficit energético

Conclusiones parciales del capítulo.

- 1- Las fuentes renovables de energía se presentan como una alternativa viable para la humanidad, pues el mundo presenta un gran potencial para su explotación, además de ser energías verdes e inagotables.
- 2- El sol es la mayor fuente de energía existente en la naturaleza, lo que permite que los sistemas solares térmicos se presenten como una gran alternativa para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y energía eléctrica.
- 3- La implementación de la tecnología solar térmica en edificaciones tiene un gran impacto en el consumo de energía eléctrica ya que gran parte de este consumo se debe a la generación de agua caliente sanitaria (ACS).
- 4- Cuba presenta un gran potencial para la implementación de la tecnología solar térmica ya que casi todo el año exhibe altos niveles de radiación que oscilan entre los 1 642 kWh/ m² año y los 2 372 kWh/ m² año. En Cienfuegos estos valores son de 2191.46 kWh/ m² año.
- 5- Muchos de los softwares utilizados en el mundo para el dimensionamiento y selección de los sistemas solares térmicos no presentan evaluación económica y medioambiental.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

Introducción del capítulo.

El siguiente capítulo consiste en la elaboración de una metodología de cálculo para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos, con la ayuda de softwares como Sketchup y Solidworks. Además se consultaron diferentes fuentes de interés investigativo como es el caso de (Sousa et al., 2020), (Moratón et al., 2021), (Ravi et al., 2020), (León et al., 2021), (Sánchez, 2022), (Valencia, 2022).

2.1. Caracterización energética de la entidad.

Se debe considerar un análisis energético del lugar donde se desee instalar la tecnología solar térmica con base en la norma ISO 50001 de gestión y desempeño energético. Para ello se procede a :

➤ Analizar el uso y consumo del agua en la instalación.

- ❖ Realizar análisis del consumo de agua en los tres últimos años.
- ❖ Identificar si existen oportunidades de ahorro de este recurso.

➤ Analizar el uso y consumo de energía.

- ❖ Realizar análisis de los portadores energéticos e identificar cuál de ellos es el de mayor consumo.
- Gráfico de Control.
- ❖ Identificar las áreas de mayor consumo.
- Diagrama de Pareto.
- ❖ Determinar cuál es el equipo de mayor consumo.
- Estratificación.
- ❖ Identificar oportunidades para la mejora del desempeño energético.

2.2. Análisis estructural del sitio.

➤ Describir la edificación en la cual se pretende instalar la tecnología solar térmica en cuanto a :

- ❖ Tipo de construcción.
- Hormigón armado (pre fabricado)
- Acero (tubos y perfiles)
- Albañilería
- Simple (ladrillo y piedra)

- Armada (bloques de cemento)
- Reforzada (Hormigón celular)
- Madera (madera laminada)
- ❖ Material de la cubierta (techo).
- Planchas de zinc galvanizado
- Planchas de fibrocemento
- Placa de hormigón
- Otro material
- ❖ Altura de las cubiertas.
- ❖ Disponibilidad de área, (m^2).
- Planos de la edificación

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

El clima juega un rol fundamental en la eficiencia de los sistemas solares térmicos, ya que cuestiones como la nubosidad, el viento y la lluvia inciden directamente en el funcionamiento del mismo. Para las zonas en donde se instalan estos equipos, es importante contar con la información meteorológica especialmente, contar con la información de la radiación solar (Kamal, 2022). En este sentido se debe:

- Determinar la orientación y coordenadas del sitio para identificar datos como:
 - ❖ Velocidad del viento en la región, (m/s).
 - ❖ Niveles de radiación promedio anual ver tabla 2.1.
 - Irradiancia, (W/m^2).

Tabla 2.1: Clasificación de la irradiancia.

Niveles de carga	Irradiancia (W/m^2)
Baja	$I < 6$
Media	$6 \leq I < 9$
Alta	$9 \leq I < 12$
Muy alta	$12 \leq I$

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

Donde:

(I): Irradiancia solar, (W/m^2).

❖ Nubosidad

- Baja
- Media
- Alta

❖ Niveles de precipitaciones en la zona, (mm).

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

➤ Determinar las áreas de mayor incidencia solar.

Para identificar las áreas de mayor incidencia solar se utiliza el software Sketchup Pro 2021, el cual es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D). Para efectuar este análisis se modela la edificación en dicho programa introduciendo datos como:

❖ Medidas generales de la edificación (planos).

- Dimensiones de la edificación.
 - Largo, (m)
 - Ancho, (m)
 - Altura, (m)
- Dimensiones de tanques, árboles o cualquier otro obstáculo que pueda influir en la radiación solar, tomando como centro de referencia a la edificación.
- ❖ Coordenadas del sitio.
- Geolocalización del lugar.

Al introducir los datos anteriores este programa localiza las áreas de mayor incidencia solar ya que efectúa un análisis de cómo se comporta la radiación en la edificación los 365 días del año con una frecuencia de 10 a 11 horas diarias de exposición, basándose en la geolocalización y las características constructivas del sitio. Para saber cuáles áreas son más favorables que otras, el programa se basa en una escala de colores que muestra la intensidad de la radiación según la figura 2.1. Esta escala va de un color azul celeste a un rojo intenso y muestra las horas anuales de exposición a la radiación solar a la izquierda de la escala y el porcentaje de aprovechamiento de la misma a la derecha. También tiene en cuenta los solsticios de verano e invierno y recomienda que las áreas óptimas para la instalación de la tecnología solar son las que poseen más de un 80 % de incidencia,

estas se encuentran entre los colores amarillo y rojo.

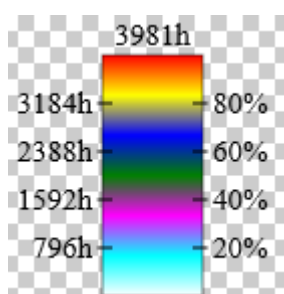


Figura 2.1. Escala de la radiación solar. Imagen extraída de Sketchup Pro 2021.

2.5. Determinación de la cantidad de agua caliente demandada.

- Según (García, 2021) existen diferentes formas de calcular la demanda de agua caliente en una institución ya que muchos de estos centros varían en cuanto a :
 - ❖ Consumo de (ACS) agua caliente sanitaria en (litros/día x unidad).
 - Para saber los (litros/día x unidad) escoger los datos según la institución. Para ello ver las tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2: Demanda de referencia de consumo por unidad.

Criterio de demanda	Cantidad	Unidad de medida
Vivienda	28	litros /día x persona
Hospitales y clínicas	55	
Ambulatorios y centros de salud	41	
Hotel ★ ★ ★ ★ ★	69	
Hotel ★ ★ ★ ★	55	
Hotel ★ ★ ★	41	
Hotel / hostel ★ ★	34	
Camping	21	
Hostal / pensión ★	28	
Residencia	41	
Centro penitenciario	28	
Albergue	24	
Vestuarios / duchas colectivas	21	

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

Tabla 2.3. 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	litros/día x kg
Lavanderías	4	

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

- ❖ Número de personas que consumen agua caliente sanitaria (ACS).
- En el caso de uso residencial privado de viviendas, el cálculo del número de personas (unidades) por vivienda se realizará utilizando los valores de la tabla 2.4 a continuación.
- El valor del número de personas se obtiene al introducir el número de habitaciones o dormitorios que presenta el inmueble.

Tabla 2.4: Número de personas según número de dormitorios.

Número de dormitorios	Número de personas
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
≥ 6	7

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

- ❖ Para determinar el consumo en viviendas y otros sitios de características similares se aplica la ecuación 2.1 mostrada a continuación.

$$m = \theta * v \quad (\text{Ec.2.1})$$

Donde:

m : Consumo de agua caliente sanitaria, (litros/día).

θ : Cantidad de litros/día x persona o litros/día x kg.

ϑ : Cantidad de personas.

- ❖ Para determinar el consumo cuando se trata de edificios de viviendas plurifamiliares o bloques de viviendas (hoteles, hospitales y otros de semejantes características) se utiliza la tabla 2.5 donde se determina el factor de centralización (F_c) y posteriormente se aplica la ecuación 2.2.

Tabla 2.5: Determinación del factor de centralización.

Número de viviendas	Factor de centralización
$N \leq 3$	1
$4 \leq N \leq 10$	0.95
$11 \leq N \leq 20$	0.90
$21 \leq N \leq 50$	0.85
$51 \leq N \leq 75$	0.80
$76 \leq N \leq 100$	0.75
$N \geq 101$	0.70

Fuente: (Documento Básico HE., 2022).

Donde :

N : Número de viviendas o habitaciones.

$$m = \theta * \vartheta * F_c \quad (\text{Ec.2.2})$$

Donde :

F_c : Factor de centralización, (adimensional).

2.6. Selección del SST a utilizar.

- Para seleccionar un sistema solar térmico (SST) se toma en cuenta no solo la necesidad que se tenga del producto, también las condiciones propias del sitio y la calidad del equipo. Para seleccionar adecuadamente un sistema solar se deben tener presentes aspectos tales como.
- ❖ Dimensiones del sistema solar térmico para relacionar con el área disponible.
- Conocer las dimensiones de los sistemas solares es muy importante ya que con estos datos y el área determinada en análisis anteriores, se identifican los modelos solares térmicos que cumplan con los requisitos de la entidad. Para

saber que dimensiones hay que tener en cuenta ver figura 2.2.

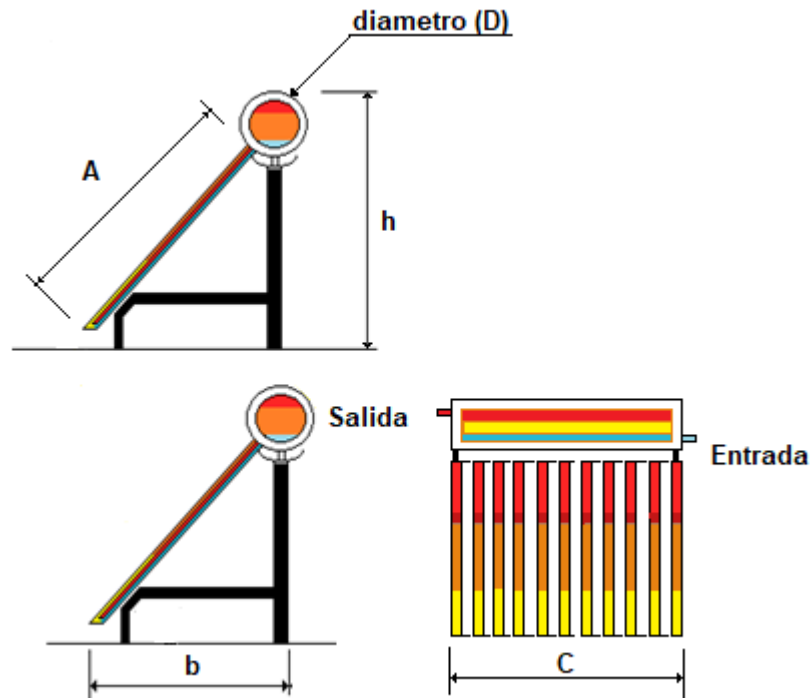


Figura 2.2: Acotado de un sistema solar térmico. Elaboración propia.

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).

Observación:

Para obtener un criterio más sólido se determina el área de colector requerida para satisfacer la demanda de agua caliente según la ecuación 2.3. Con este valor se puede seleccionar el sistema solar térmico aproximadamente.

$$A = \frac{Q}{\eta_{\text{colector solar}} * I_{\text{máx}}} \quad (\text{Ec.2.3})$$

Donde:

A: Área de captación del colector solar requerido (m²).

$\eta_{\text{colector solar}}$: Eficiencia del calentador solar (este dato es del fabricante, %).

$I_{m\acute{a}x}$: Radiación solar máxima diaria, (kWh/m²/día).

Q : Calor sensible que se debe suministrar al agua, (kJ/día). Se determina según la ecuación 2.4.

$$Q = m * C_p * (T_C - T_F) \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde:

m : Consumo de agua caliente sanitaria, (litros/día).

C_p : Calor específico del agua, (kJ/kg °C).

T_C : Temperatura del agua caliente requerida, (°C).

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

- ❖ Peso del calentador solar para relacionar con las características estructurales del lugar.
- Es válido aclarar que el peso está estandarizado por modelos solares térmicos ya sea de placa plana o tubos al vacío. Para determinar cuál sería la elección más conveniente en este caso hay que comparar el dato obtenido en la ecuación 2.5 con los valores característicos del material de la cubierta sobre el que se pretende instalar la tecnología(Sánchez, 2022).

$$P = \frac{G}{S} = \frac{M * F_g}{S} \quad (\text{Ec.2.5})$$

Donde:

P : Presión ejercida por el calentador solar, (N/m²).

G : Peso del calentador solar más estructura, (N).

S : Área superficial que ocupa el calentador solar, (m²).

M : Masa del calentador solar, (kg).

F_g : Fuerza de gravedad, (m/s²).

- ❖ Capacidad hidráulica (T) del termotanque del modelo solar a seleccionar para cubrir la demanda de agua caliente.
- Para este paso se consideran los datos obtenidos en la demanda de agua caliente sanitaria y se procede a seleccionar un modelo que satisfaga dicha demanda.
- ❖ Certificaciones.
- Las certificaciones son de gran importancia ya que en el mercado existen

productos solares térmicos que son fabricados con material poco resistente a las condiciones expuestas por los equipos. Esto a largo plazo, afecta el rendimiento de agua caliente, así como sus demás componentes dígame termotanque, estructura y por consiguiente a su eficiencia.(López, 2019).

❖ Materiales de fabricación de los sistemas solares térmicos.

- Según (López, 2019) el material utilizado para la fabricación de un calentador solar tendrá un impacto directo en la eficiencia del sistema y el precio de la tecnología. Por ello es importante que se tenga un presupuesto preconcebido de acuerdo a las necesidades del sitio. A continuación se presentan algunas de las alternativas que se recomiendan.

- Acero inoxidable
- Acero galvanizado
- Acero al carbón
- Aluminio

❖ Tipo de sistema.

- Para este criterio todo dependerá si el sitio donde se pretende instalar la tecnología solar térmica consta de un hidroneumático o de un tanque elevado. Es válido aclarar que para tener un funcionamiento óptimo, se necesitan cumplir las siguientes características según la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Características por sistema.

Tipos de sistemas	Requisitos de utilización
Sistema de circulación forzada (hidroneumático o bomba de circulación)	Capacidad de trabajo mínima de 4.84 kW
Sistema de circulación natural (Tanque elevado)	Altura mínima de 1.20 m por encima del termotanque

Fuente: (López, 2019).

❖ Temperatura .

- La temperatura es un factor crucial, esta dependerá de para qué será utilizado el modelo solar. A continuación se ofrece una descripción para cada sistema.
- **Sistema de baja temperatura:** su utilización se basa en obtener agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de (50 a 65) °C, por ende se utilizan en hoteles,

hospitales, el hogar, piscinas o lugares con características semejantes. Dentro de este grupo se encuentran los modelos de placa plana y tubos al vacío de circulación termosifónica (López, 2019).

- **Sistema de media temperatura:** Estos van destinados a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas (100 a 300) °C. Es normalmente utilizado en los mataderos (cárnicos). Los modelos que se pueden encontrar para estas aplicaciones son los de tubos al vacío presurizado de alta calidad y los concentradores de disco – parabólicos.
- **Sistemas de alta temperatura:** Están dirigidos a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 300 °C, fundamentalmente producción de energía eléctrica. Para esta aplicación se utilizan los concentradores cilindro parabólicos, fresnel lineal y los concentradores de placas de receptor central (López, 2019).
- ❖ A demás de estos criterios de selección se recomienda tener en cuenta otros tales como: la disponibilidad en el mercado, país o empresa que suministra esta tecnología (López, 2019).

2.7. Cálculo de la cantidad de módulos necesarios para cubrir la demanda de (ACS) a satisfacer por el Sistema Solar Térmico (SST).

Para determinar la cantidad de calentadores solares térmicos ver ecuación 2.6.

$$C_{Módulos} = m / T \quad (Ec.2.6)$$

T : Capacidad de agua caliente en el termotanque, (litros/día).

$C_{Módulos}$: Cantidad de módulos necesarios, (adimensional).

m : Consumo de agua caliente sanitaria, (litros/día).

2.8. Disposición y ángulo de inclinación óptimo del modelo solar térmico seleccionado.

- Determinación de la disposición y ángulo de inclinación de los colectores solares térmicos:
- ❖ Software especializado Sketchup Pro 2021.

Una enorme ventaja que ofrece el programa Sketchup Pro 2021 está en la determinación del ángulo de inclinación óptimo del sistema solar y la disposición de los mismos según las áreas de mayor incidencia solar determinadas con

posterioridad. Para ello es necesario introducir en el software datos como:

- La geolocalización del sitio (esto se realiza en el paso 2.4).
- Las dimensiones del sistema solar (esto se realiza en el paso 2.6).

❖ Cálculos manuales.

De estudios previos se conoce que la mejor inclinación de un sistema solar térmico es aquella igual a la latitud del sitio. Esto corresponde a superficies con azimut de 180° , dependiendo de si la superficie se halla en el hemisferio norte o sur. Es posible obtener valores más precisos con la ecuación 2.7. En cualquier caso, es necesario que la inclinación no se encuentre por debajo de 15° para permitir que la suciedad acumulada pueda ser retirada por la lluvia. (Moratón et al., 2021).

$$B_{op} = 3.7 + 0.69 * |\varphi| \quad (\text{Ec.2.7})$$

Donde:

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

φ : latitud del lugar, ($^\circ$).

La disposición de los sistemas solares térmicos se divide en distancia entre filas y distancia entre columnas esto se realiza con el fin de disminuir los riesgos de pérdidas por sombras. En la figura 2.3 se muestra (d_{min}) como la distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran perdidas por sombra. (Becerra, 2019).

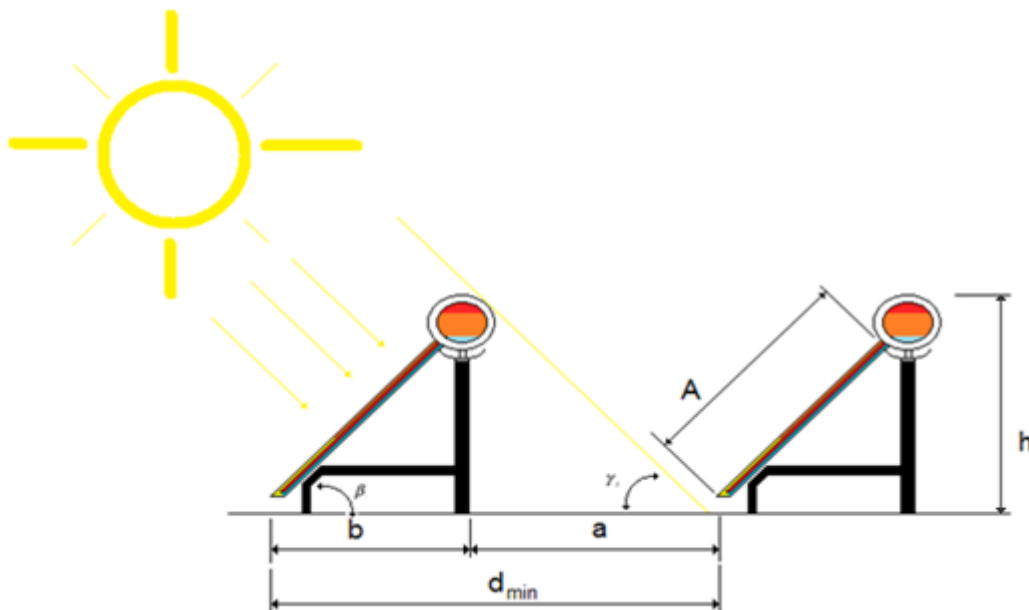


Figura 2.3. Disposición de un sistema solar térmico. Elaboración propia.

Donde:

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

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

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

β : grado de inclinación del colector respecto a la horizontal, ($^{\circ}$).

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 2.8. (Becerra, 2019).

$$h = \text{sen}\beta * A \quad (\text{Ec.2.8})$$

Con los mismos datos se calcula (b) en la ecuación 2.9.

$$b = \text{cos}\beta * A \quad (\text{Ec.2.9})$$

Considerando el ángulo de inclinación del colector y los ángulos rectos que se forman, se complementan los demás ángulos y se determina que el ángulo (γ_s). (Becerra, 2019).

Con el valor del ángulo (γ_s) y la altura h se calcula (a) en la ecuación 2.10.

$$a = \frac{h}{\text{tan}\gamma_s} \quad (\text{Ec.2.10})$$

Al ser (a) la distancia mínima entre la arista superior del sistema solar térmico y la arista inferior del otro con respecto a la horizontal, esta se puede normalizar a un valor mayor en caso de que sea muy pequeño, para asegurar que no ocurra interferencia entre colectores y facilitar el acceso por los pasillos para la limpieza y mantenimiento. (Becerra, 2019).

En la ecuación 2.11 se suma la distancia (a) más la distancia (b) para obtener la distancia mínima necesaria para garantizar que no ocurran pérdidas por sombra

$$d_{\min} = a + b \quad (\text{Ec.2.11})$$

En la figura 2.4 se representa la distancia mínima entre colectores por fila.

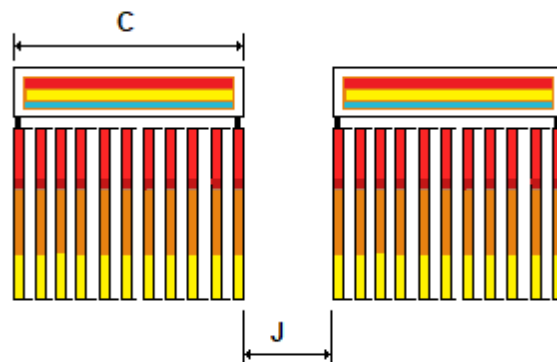


Figura 2.4. Distancia mínima entre colectores por fila. Fuente (Becerra, 2019).

La distancia mínima entre colectores por fila se determina mediante la ecuación 2.12.

$$J = d_{\min} - A \quad (\text{Ec.2.12})$$

Donde:

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

- Cálculo del número máximo de sistemas solares térmicos por fila.

Por la ecuación 2.13 se determina el número máximo de sistemas solares térmicos por fila.

$$Z = \left(\frac{R}{J+C} \right) - J \quad (\text{Ec.2.13})$$

Donde:

Z : número máximo de sistemas solares térmicos por fila.

R : Ancho de la instalación, (m).

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

C : Ancho calentador solar, (m).

- Cálculo del número máximo de filas de sistemas solares térmicos.

Conocido el número máximo de sistemas solares térmicos por fila se determina número máximo de filas de sistemas solares térmicos según la ecuación 2.14.

$$X = (L/d_{\min}) - a \quad (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

L : Largo de la instalación, (m).

X : Número máximo de filas de sistemas solares térmicos.

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

- Para comprobar si la cantidad de calentadores necesarios por la demanda de agua caliente se pueden instalar en la superficie disponible, utilizar ecuación ver ecuación 2.15.

$$\mu = X * Z \quad (\text{Ec.2.15})$$

$$\mu \geq C_{\text{Módulos}}$$

Donde:

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

2.9. Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.

➤ Para evaluar la estructura que sostiene al termotanque y al colector solar, se utiliza el software de diseño mecánico Solidworks. Con 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 es estandarizado por el fabricante.

❖ Fuerza del viento sobre el calentador solar.

- Para determinar la fuerza que ejercen los vientos sobre el calentador solar ver la ecuación 2.16. (Becerra, 2019).

$$F = \rho * C_{di} * A * \frac{V_f^2}{2} \quad (\text{Ec.2.16})$$

Donde:

ρ : Densidad del aire a nivel del mar, (kg/m³).

C_{di} : Coeficiente de resistencia de superficies planas.

A : Área proyectada del colector, (m²).

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

- Para determinar la velocidad frontal de los vientos ver ecuación 2.17.

$$V_f = V * \cos\phi \quad (\text{Ec.2.17})$$

Donde:

V: Velocidad del viento, (m/s). Dato de la geolocalización.

φ : Ángulo entre la dirección del viento y el calentador solar, ($^{\circ}$).

2.10. Análisis económico.

2.10.1. Análisis de costo para la institución.

➤ Para el análisis de costo se citaron criterios dados por (Iturralde, 2021), (Monteagudo, 2021).

Para llevar a cabo la evaluación económica se tendrán en cuenta todos los gastos realizados debido a la instalación de la tecnología solar térmica de acuerdo a: cantidad de calentadores solares instalados, además también se tendrá en cuenta los siguientes factores: el impuesto del banco, inflación, tasa de descuento y el período de vida útil de los calentadores solares, para así poder conocer de forma más certera el periodo de tiempo en que se recuperará la inversión y las ganancias que traerá consigo. (Becerra, 2019). Para determinar el ahorro energético anual ver ecuación 2.18, es válido aclarar que este dato puede ser proporcionado por las empresas.

$$A = E_C * T_E \quad (\text{Ec.2.19})$$

Donde:

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

T_E : Tarifa eléctrica, (CUP/kWh).

❖ Determinación del Período Simple de Recuperación (PSRI).

Para ahorros anuales constantes según la ecuación 2.20. (Monteagudo, 2021).

$$\text{PSRI} = \frac{\text{Inversión en capital}}{\text{Ahorros anuales netos}} \quad (\text{Ec.2.20})$$

Observación: Por la sencillez de esta evaluación, es aconsejable emplear el método del Periodo Simple de Recuperación de la Inversión únicamente como un primer filtro rápido de las posibles inversiones y emplear métodos más confiables y seguros para evaluar detenidamente proyectos con buenas perspectivas.

❖ Cálculo del interés simple.

Un capital colocado en el banco genera un nuevo capital, pero siempre sobre la magnitud del capital inicial depositado y nunca sobre la magnitud del interés ganado (No hay capitalización). La siguiente ecuación 2.21 plantea como se determina el interés simple. (Monteagudo, 2021).

$$F = \sum_{i=1}^n p(1 + r)^i \quad (\text{Ec.2.21})$$

Donde:

p: Cantidad presente de dinero. (\$ CUP).

i: Año para el que se desea determinar el valor futuro.

r: Tasa de interés, (%).

❖ Evaluación del valor del dinero a través del tiempo.

Para la evaluación del valor del dinero de emplea la ecuación 2.22.

$$F = p(1 + r)^i \quad (\text{Ec.2.22})$$

❖ 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). Se determina por la ecuación 2.23.(Rivas, 2019).

$$Fc_i = (I_i - G_i - \text{Dep}) * \left(1 - \frac{t}{100}\right) + \text{Dep} \quad (\text{Ec.2.23})$$

Donde:

I: Ingresos en el año i, (\$ CUP).

G: Gastos en el año, (\$ CUP).

Dep: Depreciación del equipamiento planteada según la ecuación 2.24.

t : Tasa de impuesto sobre la ganancia, (%).

$$\text{Dep} = \frac{\text{costo del equipo}}{\text{vida útil estimada(años)}} \quad (\text{Ec.2.24})$$

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

Es el interés que tiene en cuenta los efectos de la inflación. La inflación o devaluación del dinero, reflejada por un aumento de los precios en el mercado, puede incluirse en el análisis de inversiones calculando una tasa de interés real (tasa en moneda constante) mediante la relación de Fisher.(Monteagudo, 2021). Esta se determina mediante la ecuación 2.25.

$$R = \left(\frac{1+r}{1+f}\right) - 1 \quad (\text{Ec.2.25})$$

Donde:

r: Tasa de interés bancaria, (%).

f: Tasa de inflación, (%).

❖ Determinación del valor presente neto.

Se determina el Valor Presente Neto (VPN) haciendo uso de la ecuación 2.26. Se calcula el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto. (Iturralde, 2021)

$$VPN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+D)^i} \quad (\text{Ec.2.26})$$

Donde:

K_0 : Inversión inicial, (\$ CUP).

F_{ci} : Flujo de caja.

D : Taza de descuento real utilizada.

- **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 allá según la ecuación 2.27.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+TIR)^i} \quad (\text{Ec.2.27})$$

- **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 2.28. (Monteagudo, 2021), (Jiménez, 2020).

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{F_{ci}}{(1+D)^i} \quad (\text{Ec.2.28})$$

Observación: 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.

- **Relación Costo - Beneficio (RCB).**

Se determina como la relación entre el Valor Presente Neto de los Costos (VPNC) y el Valor Presente Neto de los Beneficios (VPNB) según la ecuación 2.29. (Jiménez, 2020).

$$RCB = \frac{VPNC}{VPNB} \quad (\text{Ec.2.29})$$

Observación: En la determinación del VPNC hay que sumar al valor de los costos anuales descontados, el valor de la inversión inicial sin descontar.

2.11. Análisis medioambiental.

➤ Analizar combustible dejado de quemar para obtener la misma cantidad de agua caliente sanitaria (ACS).

❖ A partir del combustible ahorrado se puede obtener la cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera, (t/año).

- **Cantidad de combustible ahorrado.**

Para analizar el combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, ver ecuación 2.30. (Becerra, 2019).

$$\text{Combustible ahorrado} = E * g \quad (\text{Ec.2.30})$$

Donde:

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

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

- **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 2.31.

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} * k}{\rho} \quad (\text{Ec.2.31})$$

Donde:

K: Coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera

ρ: Densidad del combustible, (kg/m³).

Conclusiones parciales del capítulo:

- 1- La metodología de cálculo propuesta se puede aplicar en un amplio campo de edificaciones, pues presenta un análisis abarcador, general y contempla la utilización de softwares como Sketchup Pro 2021 y Solidworks 2016 para mejorar el análisis de este tipo de instalaciones solares.
- 2- Esta metodología se realizó como un primer paso en la elaboración de un programa propio de la Universidad de Cienfuegos para el dimensionamiento y selección de este tipo de tecnología solar. Además también puede ser utilizada para la evaluación de sistemas solares ya instalados para optimizar su explotación.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE CASO.

Introducción del capítulo.

Con el objetivo de comprobar la metodología propuesta, en este capítulo se realizará un estudio de caso en el Hotel Punta Las Cuevas, perteneciente a la cadena Islazul ubicado en la provincia de Cienfuegos. Siguiendo el orden de la metodología, a continuación se expondrán los resultados que arrojó el estudio en dicha entidad.

3.1. Caracterización energética de la entidad.

➤ Análisis del consumo del agua en la instalación.

Cabe destacar que el consumo de agua analizado según la figura 3.1 es de los años 2019 – 2022, por lo que se percibe una distorsión de los valores ya que fueron años atípicos por la afectación de la covid 19, que ocasionó la pérdida de casi todo el turismo nacional e internacional y con ello la reducción brusca del consumo de agua en la instalación. El consumo de agua en (lts/año) está en los Anexos 1, 2, 3 y 4.

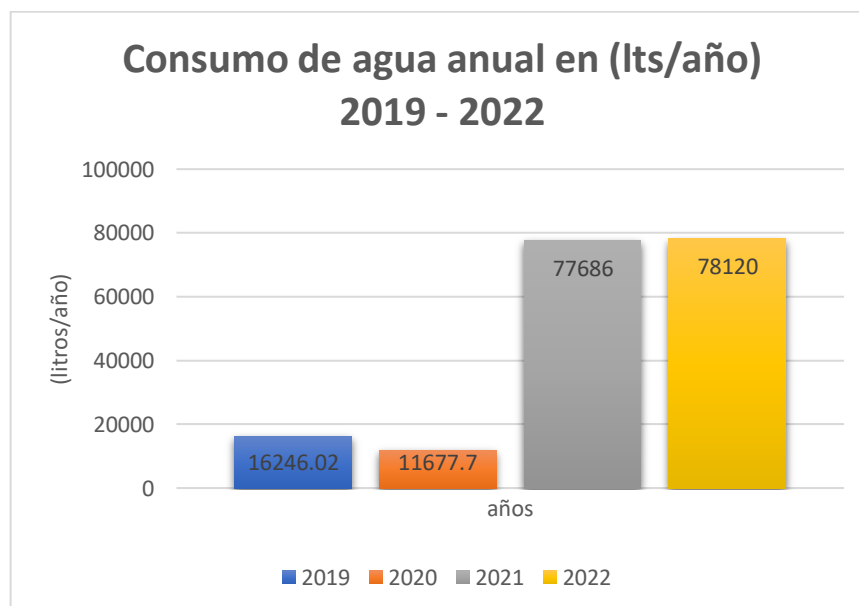


Figura 3.1: Gráfico del consumo de agua en el período comprendido entre los años 2019 - 2022. Fuente: Elaboración propia, Octubre 2022.

❖ Medidas para lograr presentar un menor consumo de agua :

- Control y monitoreo diario del consumo de agua.
- Limitar el uso del agua para el riego de áreas verdes en la instalación.
- Realizar la limpieza de las áreas sin la utilización de mangueras.

- Prohibir el fregado de vehículos en la instalación.
- Realizar el mantenimiento a equipos o sistemas con el equipamiento adecuado y no mediante manqueras a presión.
- Revisión diaria de los descargues hidrosanitarios en las habitaciones y áreas públicas.
- Efectuar el mantenimiento preventivo establecido a los sistemas hidráulico sanitario.
- Supervisar diariamente los sistemas hidráulicos y suprimir de inmediato cualquier salidero imprevisto.
- Priorizar procesos inversionistas en los sistemas hidráulicos y sanitarios donde existan presencia de salideros.

➤ **Análisis del uso y consumo de energía en la instalación.**

Esta entidad turística cubre sus necesidades energéticas con el uso de cuatro portadores energéticos: electricidad, diésel, gasolina y gas licuado obteniéndose la estructura de consumo de los portadores energéticos para los años 2018 y 2019 como muestran las figuras 3.2 y 3.3. Como resultado el mayor consumo en ambos años dentro del hotel es la electricidad representando el 95.46% y el 96.30% con respecto a los demás portadores.

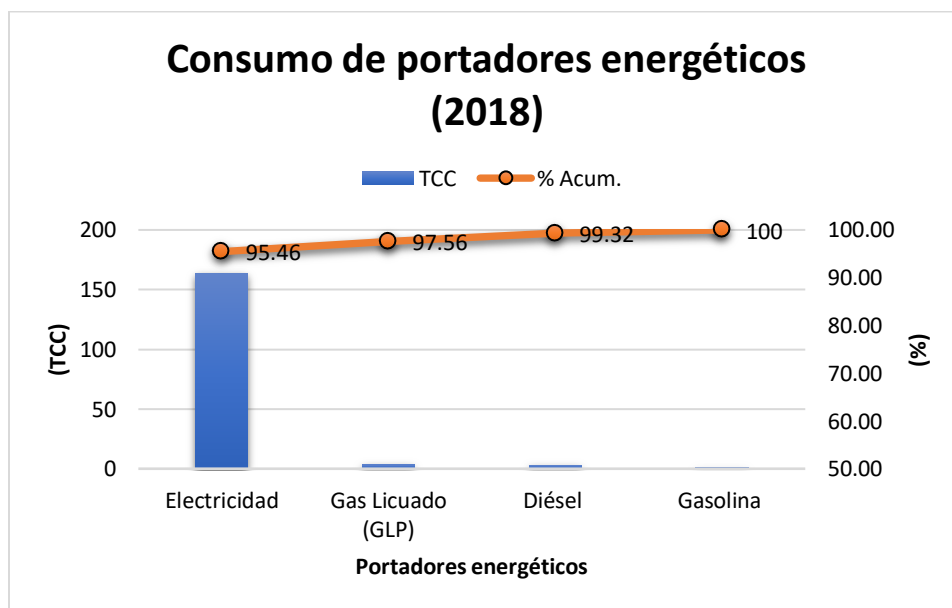


Figura 3.2: Estructura de consumo de los portadores energéticos para el año 2018.
Fuente: Elaboración propia, Julio 2022.

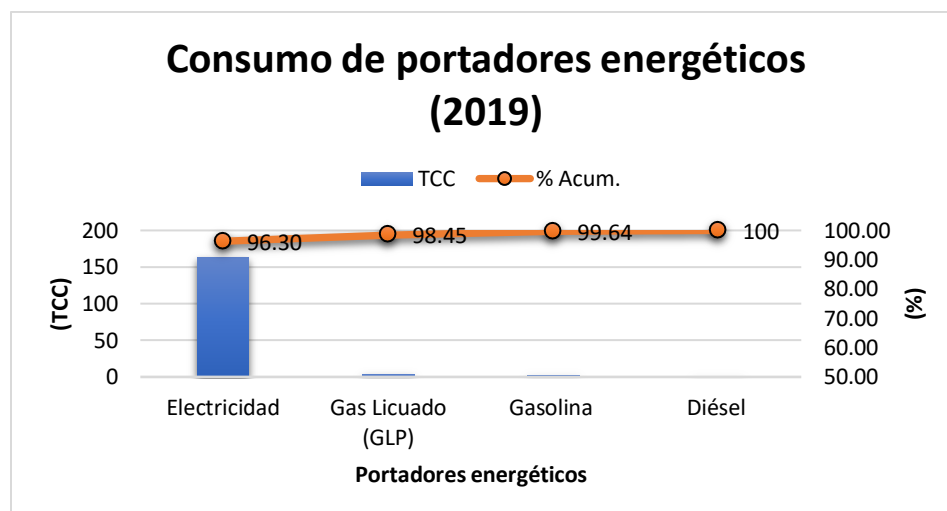


Figura 3.3: Estructura de consumo de los portadores energéticos para el año 2019. Fuente: Elaboración propia, Julio 2022.

La energía eléctrica en la instalación está distribuida en siete áreas: habitaciones, servicios, cocina, complejo, administrativa, exteriores y almacenes. La figura 3.4 muestra la estratificación de los consumos y porcentajes acumulativos del uso de la energía eléctrica, en el que se puede apreciar que el mayor consumo de electricidad del hotel se encuentra en las habitaciones representando este el 71.26% con respecto a las demás áreas de la instalación. Para completar el análisis de la ley 80/20 de Pareto, es decir qué áreas representan el 80% del consumo de energía eléctrica dentro del hotel se pueden incluir las áreas de servicios y cocina, entre estas representan más del 84% del consumo de electricidad del hotel.

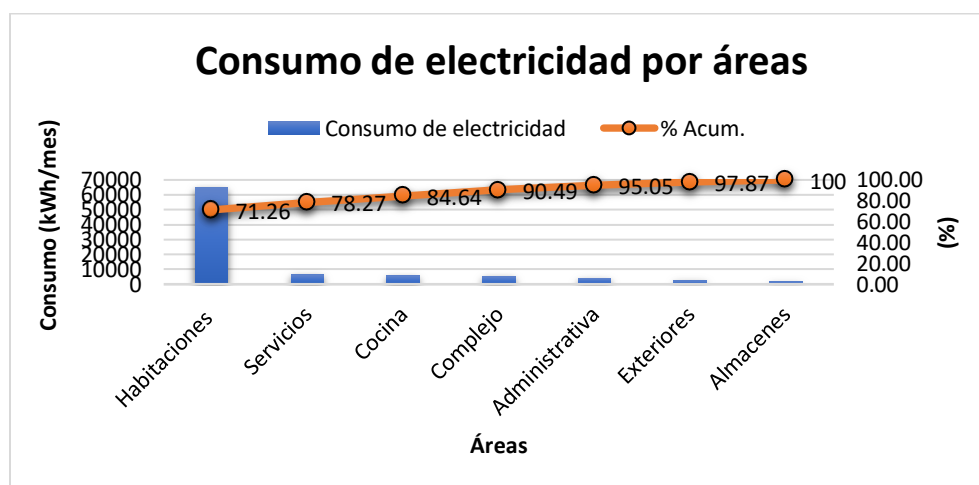


Figura 3.4: Estructura del consumo eléctrico por áreas. Fuente: Elaboración propia, Julio 2022.

Se realizó la estratificación en el área de habitaciones a partir de la capacidad energética instalada en equipos, capacidad de procesamiento en las máquinas y horas de encendidos de los equipos, que permitió determinar que los equipos mayores consumidores de energía eléctrica son los Split de 1 ton con un 92,64% con respecto a los demás consumidores. Esto se debe a su cantidad y a la alta potencia que poseen los mismos, otros factores que pueden incidir son su atraso tecnológico, la falta de mantenimiento, el mal uso de estos y las altas temperaturas durante la mayoría del año en Cuba.

❖ **Oportunidades para la mejora del desempeño energético.**

Las oportunidades de ahorro están encaminadas a brindarle a la dirección del hotel y a la cadena hotelera Islazul soluciones para disminuir el consumo de sus principales portadores energéticos. En este caso se orienta a la energía eléctrica que es el mayor portador consumido por la instalación. De esta manera el hotel aumentara su eficiencia y a la vez sus ganancias.

• **Climatización:**

- Limpiar los evaporadores periódicamente. Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de descarche.
- Reducir las entradas de aire exterior mediante adecuada hermeticidad de las puertas, empleo de brazos hidráulicos y reducir el tiempo de apertura de las puertas mediante medidas organizativas.
- Ajustar los termostatos en locales climatizados a 24 °C.
- La selección de las habitaciones, sin afectar la calidad del cliente, se debe priorizar en aquellas habitaciones que tenga menor carga térmica en función de la temporada, incluyendo una programación de las condiciones del hotel que prioricen aquellas que tienen menor consumo, evitando de manera óptima el derroche de energía eléctrica ya que esta es el área más consumidora del hotel.
- Sustituir los Split comunes por los de tecnología inverter que estos son mucho más eficientes.

• **Iluminación:**

- Aprovechar el máximo la luz natural, colocando papel traslucidos en ventanas y puertas de vidrio, dejando pasar la luz y rechazando el calor.

- Seccionalizar circuitos de iluminación para compartimentar su uso.
- Pintar paredes, techos, y columnas de colores claros.
- Cambiar señales de salida de incandescentes a diodos emisores de luz (LED).
- **Motores eléctricos:**
 - Selección apropiada de los motores eléctricos en las bombas de suministro de agua del hotel principalmente en la piscina.
 - Lograr los mayores períodos de operación del motor y su carga a la máxima eficiencia (75 - 95 % de su potencia nominal).
 - Valorar la sustitución de motores antiguos o de uso intensivo por normalizados de alta eficiencia.
 - Mantener en buen estado los medios de transmisión motor - carga, así como los cojinetes del motor.

3.2. Análisis estructural del sitio.

Esta instalación hotelera está conformada por paneles de prefabricado aporticado, con una construcción tipo nave de estructura portante de columnas, cerchas, cubiertas y muros divisorios de hormigón armado, carpintería de madera y pisos de granito. Además presenta una arquitectura de los años 70 del pasado siglo con una altura promedio de sus cubiertas de 3 m y un área disponible de cubierta de aproximadamente 1320 m². A finales del año pasado se culminó en esta instalación un proyecto de expansión ver anexo 5.

❖ Dimensiones de las cubiertas a analizar:

- Para el restaurante:
 - Largo x ancho: (5 x 12) m
- Para el bloque habitacional A, B y C.
 - Largo x ancho: (35 x 12) m

3.3. Orientación y coordenadas del sitio.

Esta instalación está ubicada al suroeste de la bahía de Cienfuegos en la propia ciudad del mismo nombre. Los valores de la radiación solar incidentes en esta región califican entre los más elevados del país, con un promedio diario anual de 6,004 kWh/m²d, un valor de la radiación máxima absoluta de 6,829 kWh/m²d, que suele producirse en el mes de abril y una mínima absoluta de tiene lugar

generalmente en el mes de diciembre con valores de 5,150 kWh/m²d. Esta localidad presenta poca nubosidad con valores promedio de 47 mm de precipitaciones y vientos a razón de 18 (km/h) con excelentes condiciones de explotación del recurso solar.(Lovell, 2022).

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

Para realizar la selección de las áreas se utilizó el software Sketchup Pro 2021. El cual determinó que más del 90% de las áreas techadas destinadas para la instalación de la tecnología solar térmica eran aprovechables, con más de 3184 horas de exposición anuales. Dicho esto la mayoría del área techada disponible presenta las condiciones óptimas para la instalación de la tecnología. En las figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 se muestran los resultados del análisis en el software y para las perdidas por sombra ver el anexo 6.

Resultados del análisis en el Sketchup Pro 21 por secciones:

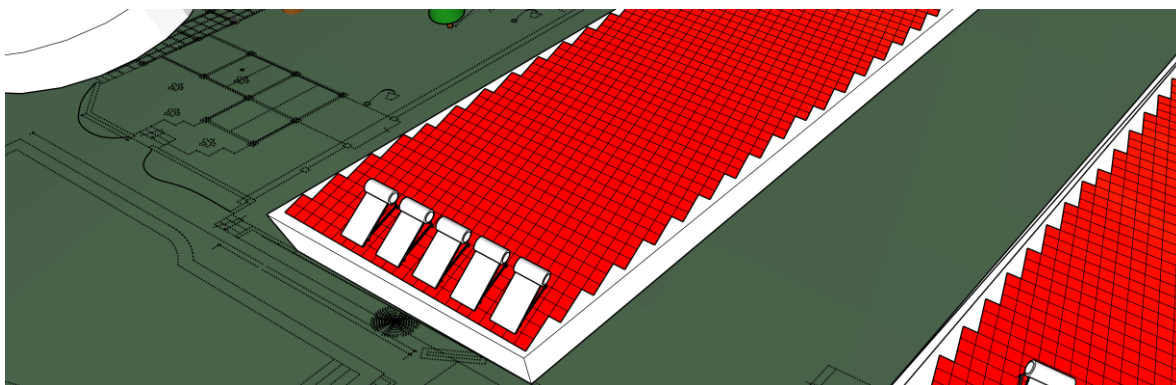


Figura 3.5 : Representación de la radiación en el bloque A. Fuente elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

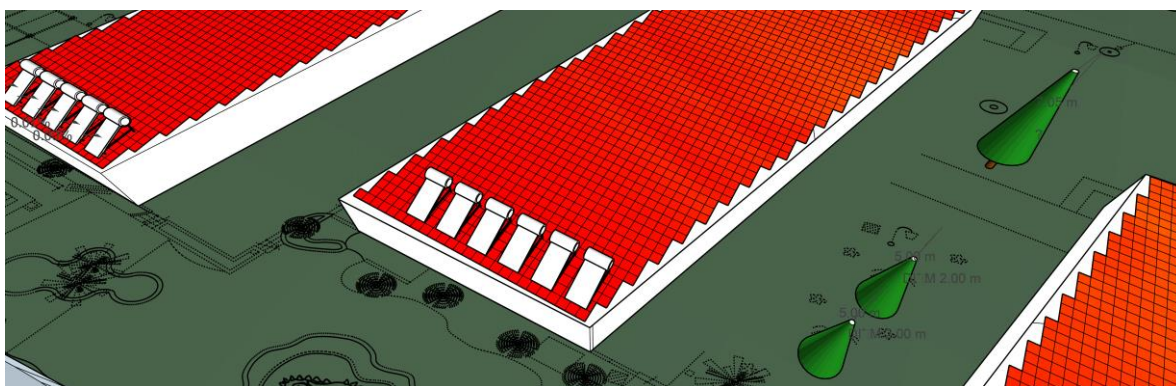


Figura 3.6 : Representación de la radiación en el bloque B. Fuente elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

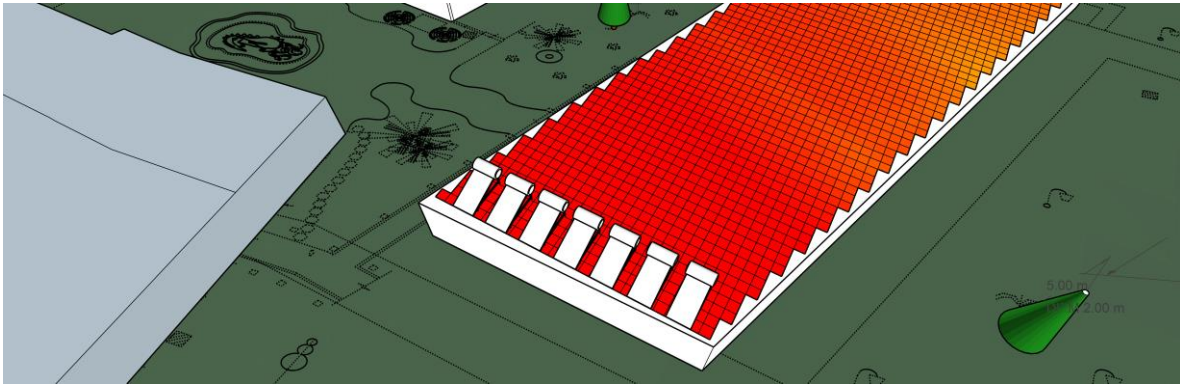


Figura 3.7 : Representación de la radiación en el bloque C. Fuente elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

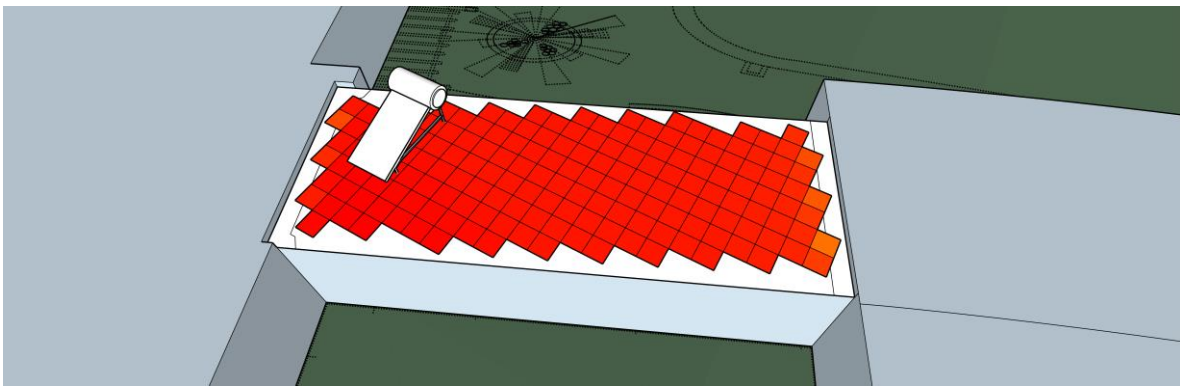


Figura 3.8: Representación de la radiación en el restaurante. Fuente elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

2.5. Cantidad de agua caliente demandada.

➤ Para determinar estos valores se utilizaron las tablas 2.2, 2.3, 2.4 y de las ecuaciones 2.1 y 2.2 respectivamente.

❖ Para el área del restaurante

$$m = \theta * \vartheta$$

$$m = 4 \text{ (litros/día x persona)} * 36 \text{ (personas)}$$

$$m = 144 \text{ (litros/día)}$$

❖ Para las habitaciones se divide en tres, bloque A, B y C.

• Bloque A:

$$m = \theta * \vartheta * F_c$$

$$m = 41 \text{ (litros/día x persona)} * 21 \text{ (personas)} * 0.85$$

$$m = 731 \text{ (litros/día)}$$

• Bloque B:

$$m = \theta * \vartheta * F_C$$

$$m = 41 \text{ (litros/día x persona)} * 24 \text{ (personas)} * 0.85$$

$$m = 836 \text{ (litros/día)}$$

• **Bloque C:**

$$m = \theta * \vartheta * F_C$$

$$m = 41 \text{ (litros/día x persona)} * 26 \text{ (personas)} * 0.85$$

$$m = 906 \text{ (litros/día)}$$

El consumo total de la instalación (m_{TI}) es de 2761.1(litros/día).

3.6. Selección del SST a utilizar.

Teniendo en cuenta los criterios de selección expuestos en la metodología se seleccionó el calentador de tubos al vacío Rensol de origen cubano el cual tiene un precio de 3500 pesos nacionales y una capacidad de 150(litros/día). Para mayor información acerca de este modelo ver tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características técnicas del modelo Rensol.

Cantidad de tubos	24
Soldadura empleada	Auto de Argón-Continua de contactos
Aislamiento térmico	Espuma de poliuretano 50 mm
Material de la cubierta del tanque	Aluminio anodizado 1.2 mm
Unión tubo colector	Anillo de silicona Ø 47 mm
Ancho	1.26 m
Alto	0.74 m
Largo del colector	1.90 m
Área de captación	2.39 m ²
Temperatura de trabajo	55 °C
Capacidad del termotanque	150 (litros/día)
Tiempo de conservación de la temperatura en el termotanque	12 horas

Fuente citada de:(Barreda, 2021).

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

❖ Para el restaurante:

$$C_{Módulos} = m / T$$

$$C_{Módulos} = 144 \text{ (litros/día)}/150 \text{ (litros)}$$

$$C_{Módulos} = 0.96 \approx 1 \text{ (modelo solar)}$$

❖ Para el bloque habitacional A.

$$C_{Módulos} = m / T$$

$$C_{Módulos} = 731 \text{ (litros/día)}/150 \text{ (litros)}$$

$$C_{Módulos} = 4.87 \approx 5 \text{ (modolos solares)}$$

❖ Para el bloque habitacional B.

$$C_{Módulos} = m / T$$

$$C_{Módulos} = 836 \text{ (litros/día)}/150 \text{ (litros)}$$

$$C_{Módulos} = 5.57 \approx 6 \text{ (modelos solares)}$$

❖ Para el bloque habitacional C.

$$C_{Módulos} = m / T$$

$$C_{Módulos} = 906 \text{ (litros/día)}/150 \text{ (litros)}$$

$$C_{Módulos} = 6.7 \approx 7 \text{ (modelos solares)}$$

3.8. Disposición y ángulo de inclinación óptimo.

De acuerdo a lo planteado en la metodología la figuras 3.9 muestra los valores del ángulo óptimo de inclinación del colector solar (azimuth: 165° con respecto al norte o 15° con respecto al sur con una inclinación sobre la horizontal de 23.83°). Como muestra la figura 3.10 la disposición fue la siguiente:

$$d_{\text{mín}} = 2.05 \text{ m}$$

$$J = 0.15 \text{ m}$$

$$Z = 8 \text{ (calentadores solares térmicos permisibles por fila)}$$

$$X = 17 \text{ (filas de calentadores solares)}$$

$$\mu \geq C_{Módulos}$$

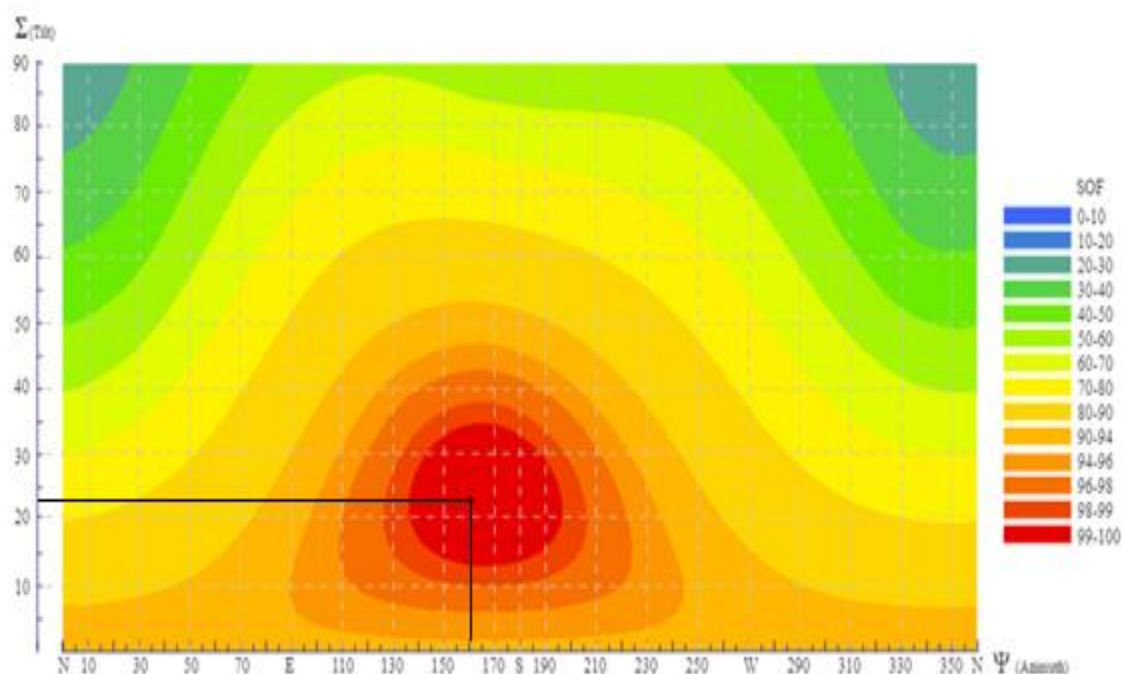


Figura 3.9 : Orientación óptima. Elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

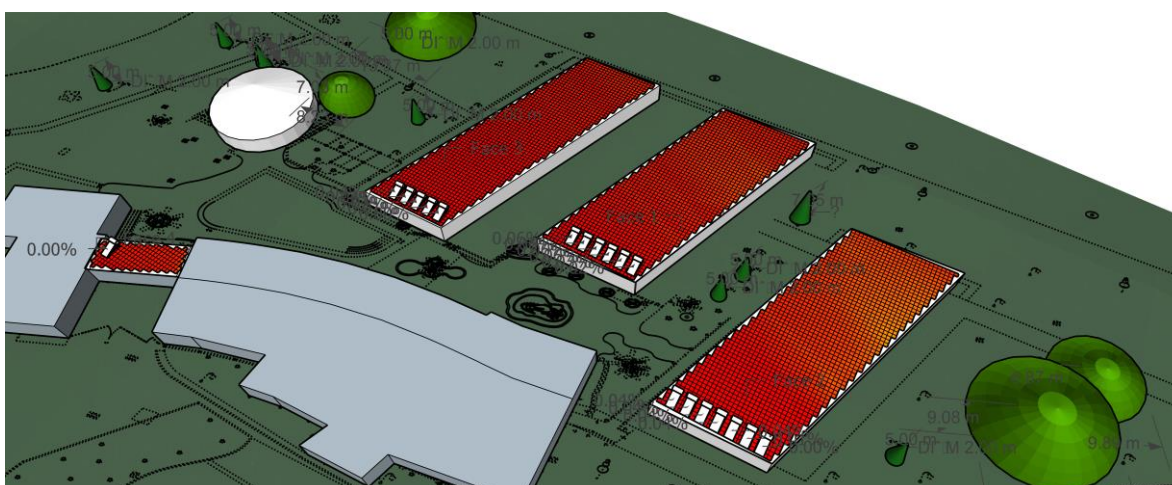


Figura 3.10: Disposición de los sistemas solares térmicos. Elaboración propia Sketchup Pro 21, octubre 2022.

3.9. Evaluación de la estructura del Sistema Solar Térmico seleccionado.

Para este caso en particular por déficit en la entrega del material que conforman las estructuras de los calentadores de agua Rensol se determinó diseñar una y realizarle los estudios pertinentes en el Solidworks. La estructura fue sometida a las diferentes acciones del viento de la localidad donde se va a montar la tecnología,

además de las fuerzas naturales como la gravedad y la acción que realiza el peso propio del calentador ver figura 3.2. Para lograr un buen anclaje a la cubierta de la instalación optamos por tornillos M12 como se muestra en la figura 3.22 y para unir la estructura, soldaduras por arco eléctrico en cada una de sus uniones . Por otro lado el material utilizado para la fabricación fue CT3 el cual es un material abundante en la industria cubana además que el mismo presenta buena soldabilidad y excelentes prestaciones para la fabricación de estructuras de este tipo.

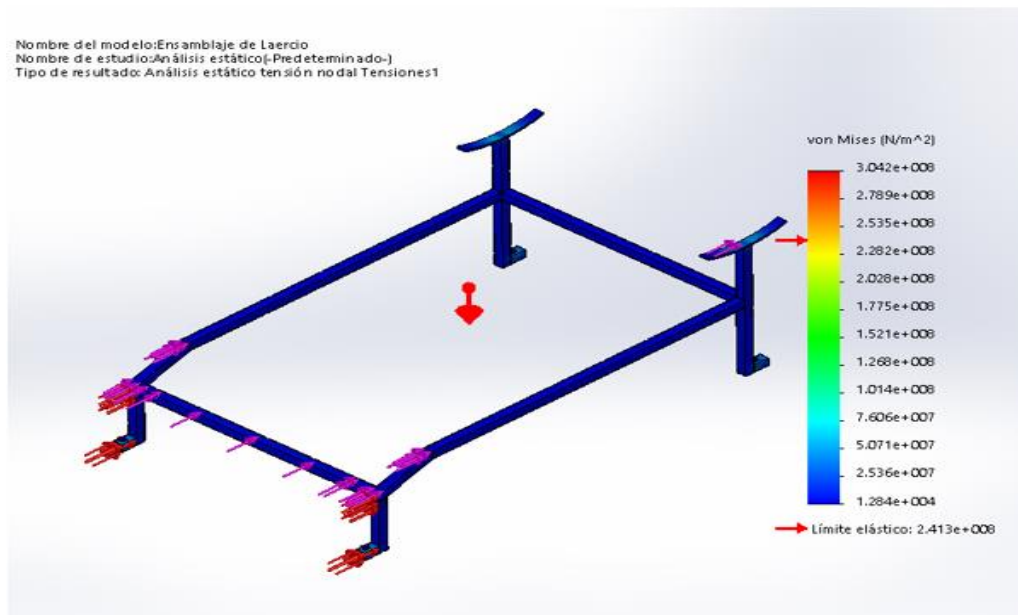


Figura 3.21. Análisis de la estructura en Solidworks. Elaboración propia.

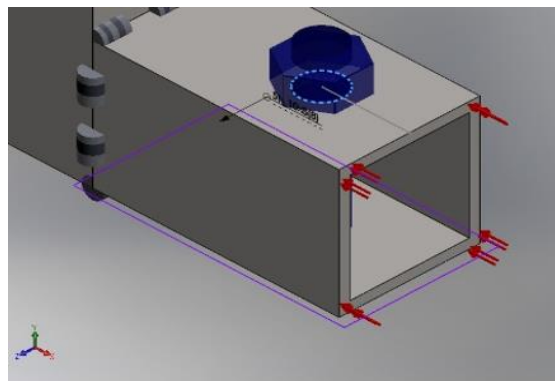


Figura 3.22. Anclaje de la estructura a la cubierta. Elaboración propia (Solidworks).

3.10. Análisis económico.

La evaluación económica se realiza con el fin de demostrar que tan factible resultaría llevar a cabo una inversión para la implementación de este tipo de fuente

renovable de energía. Según (Hernández, 2022) para ello se necesita considerar los siguientes aspectos:

- ❖ Todos los costos iniciales y posteriores.
- ❖ Prestamos, créditos y otros financiamientos.
- ❖ Vida útil
- ❖ Costos imprevistos.
- ❖ Impuestos por ganancias, permisos y arrendamientos

Para esta evaluación, no fue posible obtener todos los datos de forma precisa, por lo que se utilizaron porcentajes estimados en algunos datos.

3.10.1. Costo de la inversión.

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 tecnologías, se comprobó que la entidad tiene definido un costo de instalación de 6738.12 \$ CUP y un costo por sistema solar térmico de 3500 \$ CUP. El valor de la inversión inicial obtenido es de 73238.12 \$ CUP.

3.10.2. Datos de las tasas a utilizar en la evaluación económica.

Los valores de las tasas están dados en la tabla 3.2 según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012. 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.

Tabla 3.2. Valores de las tasas de interés anual.

Período tiempo	Tasa de interés anual (%)	Tasa mínima (%)	Tasa máxima (%)
Hasta 36 meses	7.5	6.5	8.5
Hasta 60 meses	8	7	9

Fuente. Elaboración propia (2022).

La tasa de inflación ha sido tomada de Trading Economic (Economic Indicators by Country., 2022) y su magnitud se encuentra alrededor del 37%. Se considera la tasa de descuento de 8% y el margen de riesgo de 3%.

3.10.3. Consumo y costo de la energía para producir (ACS) en la instalación.

El hotel Punta las Cuevas para satisfacer la demanda de (ACS) de 1 007 765 litros/año utiliza un calentador eléctrico marca Ariston el cual consume aproximadamente 8468 kWh/año, representando un costo monetario de 20716.11 CUP/año en correspondencia a la tarifa aplicada de 2.4464 CUP/kWh.

Como se muestra en la figura 2.23, la inversión inicial para la implementación de esta tecnología solar es de 73 238.12 CUP el cual presenta un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3.5 años a una Tasa de Recuperación de la Inversión (TIR) del 75 %. El Valor Presente Neto (VPN) de 1 333 621.322 CUP es superior en más de 1 260 383.20 CUP a la inversión inicial al cabo de los 12 años de vida útil del calentador solar. Por tanto sin lugar a dudas esta inversión resulta de gran factibilidad para la instalación. En el anexo 7 se muestran los resultados de la evaluación económica en su totalidad.

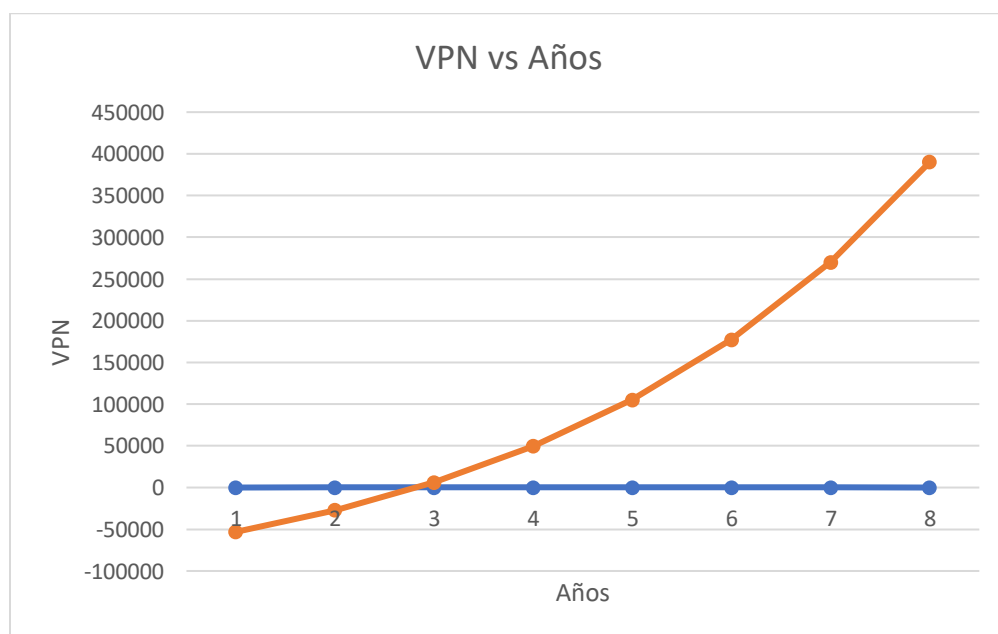


Figura 3.23. Valor Presente Neto. Elaboración propia.

3.11. Análisis medioambiental.

Para la realización del análisis medio ambiental se consideró la energía consumida por el calentador eléctrico, (kWh/año), el consumo específico de combustible, la densidad del combustible, (kg/m³). Dicho esto en la tabla 3.3 se muestran los resultados del estudio. En el anexo 8 se muestran los resultados del análisis medioambiental en su totalidad.

Tabla 3.3. Resultados del estudio.

Energía consumida por el calentador eléctrico, (kWh/año).	8468 (kWh/año)
Consumo específico de combustible, (kg/kWh).	0.25 (kg/kWh)
Densidad del combustible, (kg/m ³).	850 (kg/m ³)
Combustible ahorrado, (kg).	2117 (kg)
Cantidad de CO ₂ dejado de emitir a la atmosfera, (T/año).	7.79 (T/año)

Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones parciales del capítulo:

- 1- El análisis del consumo de agua en la instalación de los años (2019 – 2022) arroja resultados que oscilaron desde los 11677.7(lts/año) hasta los 78120 (lts/año), el consumo de agua caliente sanitaria estimado fue de 1 007 801 (lts/año), vale destacar que este consumo es para un óptimo funcionamiento del hotel a su máxima capacidad.
- 2- En el análisis energético de los años 2018 – 2019 se comprobó que el portador energético de mayor consumo fue la electricidad con un 95.46% y un 96.30% sobre los demás portadores, las áreas de mayor consumo de este portador fueron las habitaciones con un 71.26% con respecto al resto y los equipos de mayor consumo de esta área fueron los Split de 1 ton con un 92,64%.
- 3- En el estudio estructural del sitio se determinó la existencia de un área disponible de 1356 m² sobre las cubiertas de los tres bloques habitacionales y el restaurante.

- 4- El estudio determinó la instalación 19 calentadores de tubos al vacío de la marca Rensol distribuidos en cuatro áreas con un ángulo de inclinación de 23.83° con respecto a la horizontal y una inclinación de 165° con respecto al norte.
- 5- El análisis económico y medioambiental comprobó que la inversión de esta entidad para la implementación de la tecnología solar es totalmente factible pues esta presenta un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3.5 años con una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 75 %, además impide la emisión de 7.79 (T/año) de CO_2 .

Conclusiones Generales:

1. La búsqueda bibliográfica realizada permite reconocer las diversas tecnologías utilizadas en el mundo para la explotación de la energía solar térmica, ya sea para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) o la generación de electricidad, estas proponen una alternativa prometedora para lograr una independencia sobre el uso de los combustibles fósiles y de esta manera disminuir la contaminación ambiental.
2. El análisis de las diferentes herramientas informáticas (softwares) utilizadas a nivel internacional para la selección, dimensionamiento, evaluación y diseño de estos sistemas solares, deben ser complementados con la aplicación de criterios económicos integrados en procedimientos más generales y completos.
3. En este estudio se elaboró una metodología para el dimensionamiento y selección de sistemas solares térmicos, donde se toman en cuenta las características climáticas y estructurales del sitio; y a su vez se realiza un análisis económico y medioambiental del proyecto.
4. En el estudio de caso realizado en el hotel Punta las Cuevas se validó la metodología propuesta en dicho trabajo, arrojando resultados satisfactorios con más de un 90% de aprovechamiento de las áreas disponibles (1356 m²) y un total de 19 calentadores solares que cubrirán la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) sin tener que utilizar un equipo de respaldo.
5. El análisis económico realizado en el hotel Punta las Cuevas demostró que existe una gran factibilidad en la inversión de los sistemas solares térmicos, pues esta presenta un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 3.5 años con una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 75 % para 12 años de vida del calentador solar, además impide la emisión de 7.79 (T/año) de CO₂.

Bibliografía:

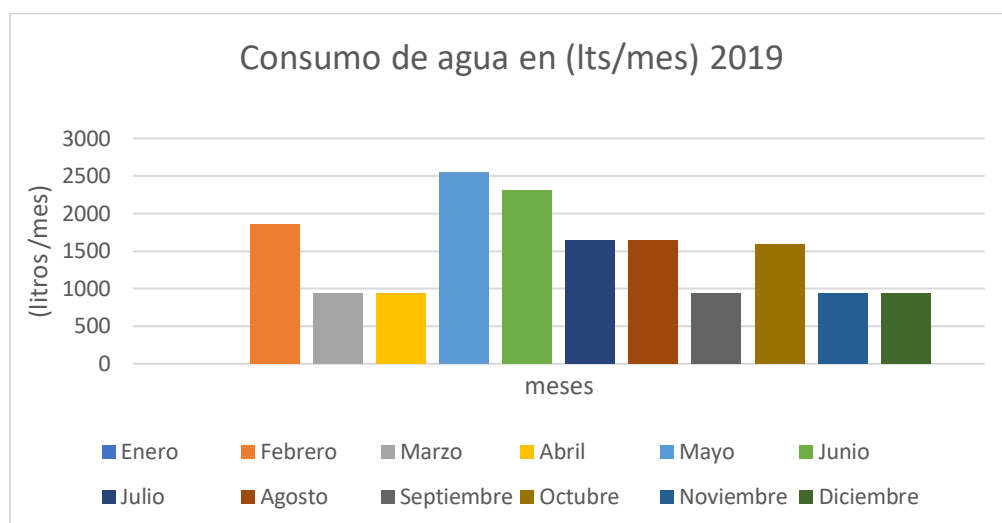
- Albertus, B. (2022). *The energy solar future in the wold*. <http://www.elesevier.com>
- Barreda, L. (2021). *Asesoría científico técnica*. <http://diarium.usal.es>
- Barrietos, C. (2021). *Solar Thermal Energy for Utilities and Industry*.
<https://www.scielo.com>
- Becerra, R. (2019). *Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en la Delegación Provincial de Materiales de la Construcción*. <http://scielo.sld.cu>
- Belling, D. (2022). *Climate change. Impacts, adaptation and vulnerability*.
<http://www.researchgate.com>
- Documento Básico HE. (2022). <https://www.codigotecnico.org>
- Economic indicators. (2022). <https://www.imf.org>
- Filgueiras, M. (2022). *A look to the transition of the cuban energy matriz*.
<https://rie.cujae.edu.cu>
- García, D. (2021). *Captación de energía solar térmica para procesos industriales*.
<https://www.giz.de/mexico>
- Garrido, I. (2022). *El cambio climático y la sostenibilidad del crecimiento: Iniciativas internacionales y políticas europeas*. <https://www.bde.es>.
- Golant, R. (2022). *The Electromagnetic Spectrum in Astronomy*.
<http://www.astrobites.com>
- Gómez, S. (2021). *Asociación de empresas de energías renovables*.
<https://www.appa.es>
- Gracia, C. (2021). *Softwares para Energía Solar Térmica*. Campusseas.
<http://www.blogseas.com>
- Grossi, H. (2022). *Notas sobre radiación solar*.
<https://www.researchgate.net/profile.com>
- Guerrero, A. (2021). *Geopolítica de la transformación energética global y dinámicas territoriales de la transición energética en Sudamérica*.
<https://www.scielo.br/j/asoc/a/6HTZWdf3h7dg3QgpknNCQbm/?lang=es>
- Hernáez, V. (2022). *Diseño de instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel*. <http://www.hdl.handle.net/10902/24743>

- Iturralde, L. (2021). *Anteproyecto de biodigestor de bolsa para la cocina comedor de una empresa porcina*. <https://revistas.uaautonoma.cl>
- Jimenez, R. (2020). *Economic analysis of projects of investment*. <https://www.adb.org>
- Kamal, M. (2022). *Environmental impacts of solar energy systems*. <https://doi.org/101016/j.scitotenv.2020.141989>
- León, J. (2021). *Sizing of a Photovoltaic Solar Park for the Center for Agricultural Mechanization (CEMA)*. Vol. 30(No.4), 101-113. <https://orcid.org/0000-0002-1606-0193>
- López, C. (2019). *Selección de Calentadores Solares*. <https://www.ensusmexico.com>
- Lovell, M. (2022). *Solar Irradiance*. <https://solargis.com>
- Magoja, E. E. (2022). *El camino de la justicia energética en Argentina: Desafíos y riesgos de las energías renovables en el desarrollo de la sustentabilidad ambiental, económica y social*. *Revista de la Facultad de Derecho*, (53). <https://doi.org/10.22187/rfd2022n53a4>
- Martínez, M. (2018). *Radiación solar. Conceptos y aplicaciones*. <https://biblioteca.inia.cl/handle>
- Mohammad, O. (2022). *Renewable energy and climate change*. 158. <http://www.sciencedirect.com>
- Monteagudo, J. (2021). *Evaluación Económica de Proyectos de Ahorro de Energía*. <https://www.studocu.com>
- Moratón, L. (2021). *Preferred tilt angle for solar heaters operating in natural circulation regime in Cuba*. vol.24(no.3). <http://orcid.org/0000-0001-6606-0207>
- Moreno, E. (2022). *Colectores Solares Selectivos*. <https://www.monsolar.com>
- Padrón, L. (2022). *Estudio del comportamiento de la radiación solar y su aprovechamiento*. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 20(2), Article 2. <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/ACUNAH/article/view/1571>
- Prath, J. (2020). *La radiación solar y su paso por la atmósfera*. <http://www.ideam.gov.co/web>

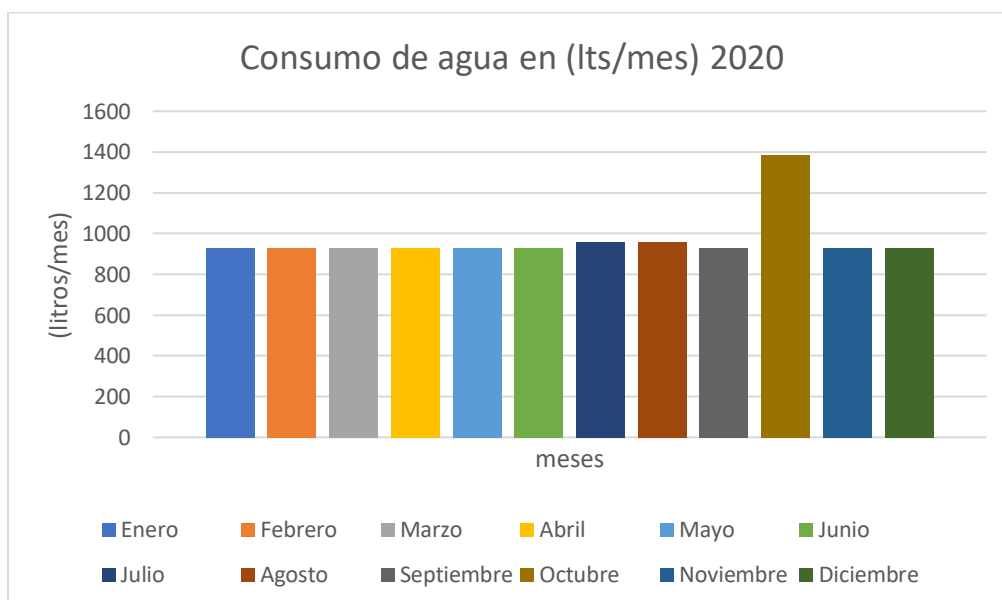
- Ravi, K. (2020). *Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125296>
- Rivas, S. (2019). *Políticas de inversión extranjera en Cuba*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S166553462016000200051&script=sci_abstract&tlng=pt
- Salcedo, I. (2021). *Uso de energía solar térmica para el suministro energético como calor de proceso en industria cervecera*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle>
- Sánchez, N. (2022). *Simulación de un colector solar térmico de tubos de vacío*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35506>
- Schnyder, E. (2020). *Rise of renewables in cities*. International Renewable Energy Agency. <http://www.Irena.com>
- Sousa, V. (2020). *Estudio de factibilidad de un sistema energético termo solar en la Región Caribe Colombiana*. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6946>
- Sun, S. (2022). *Modeling daily global solar radiation using only temperature data: past, development and future*. <https://ideas.repec.org/rensus>
- Valencia, C. (2022). *Análisis de la eficiencia de un colector solar de disco con motor Stirling en la ciudad de Armenia, Colombia* | Revista Boletín Redipe. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1724>
- Padrón, L. (2022). *El seguimiento retrasado como solución para aumentar la generación por unidad de superficie*. Ingeniería Energética, 43(1). <http://scielo.sld.cu>
- Vargas, L. (2022). *“¡Es nuestra última oportunidad!, entre todos salvemos nuestro hogar”* (p. 11). <http://hdl.handle.net/11634/42956>
- Zhou, Y. (2021). *A review on global solar radiation prediction with machine learning models in a comprehensive perspective*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113960>
- Zieliński, M. (2022). *Global electricity review*. (p. 47). EmberClimate. <https://ember-climate.org/research>

Anexos:

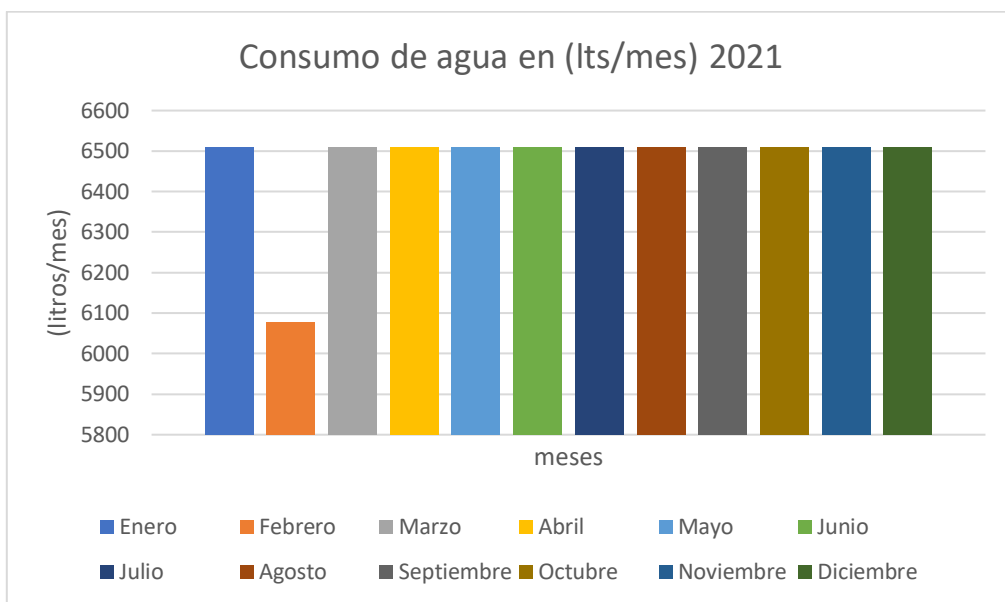
Anexo 1: Gráfico del consumo de agua durante el año 2019. Fuente: Elaboración propia, Agosto 2022.



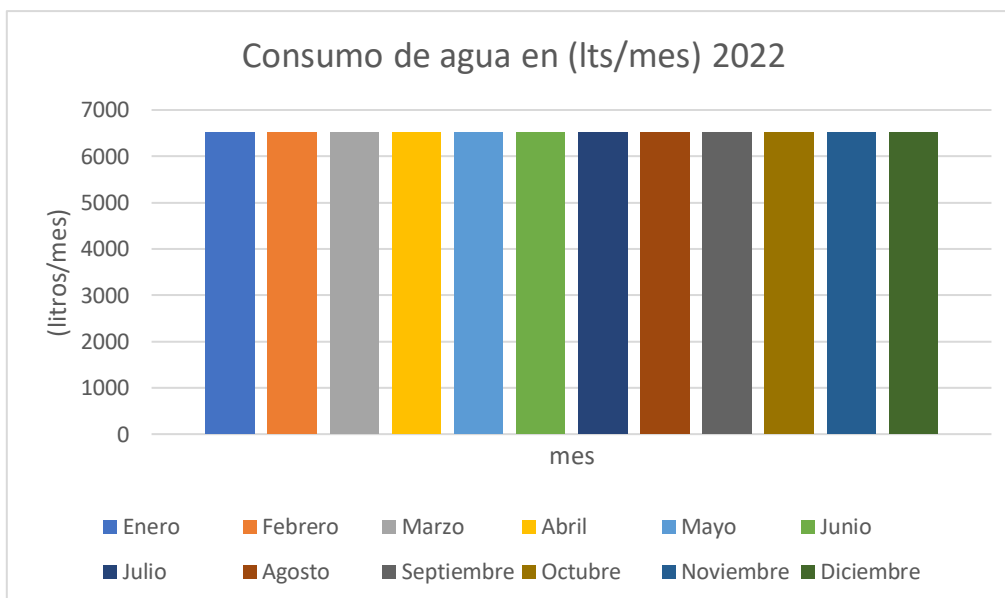
Anexo 2: Gráfico del consumo de agua durante el año 2020. Fuente: Elaboración propia, Agosto 2022.



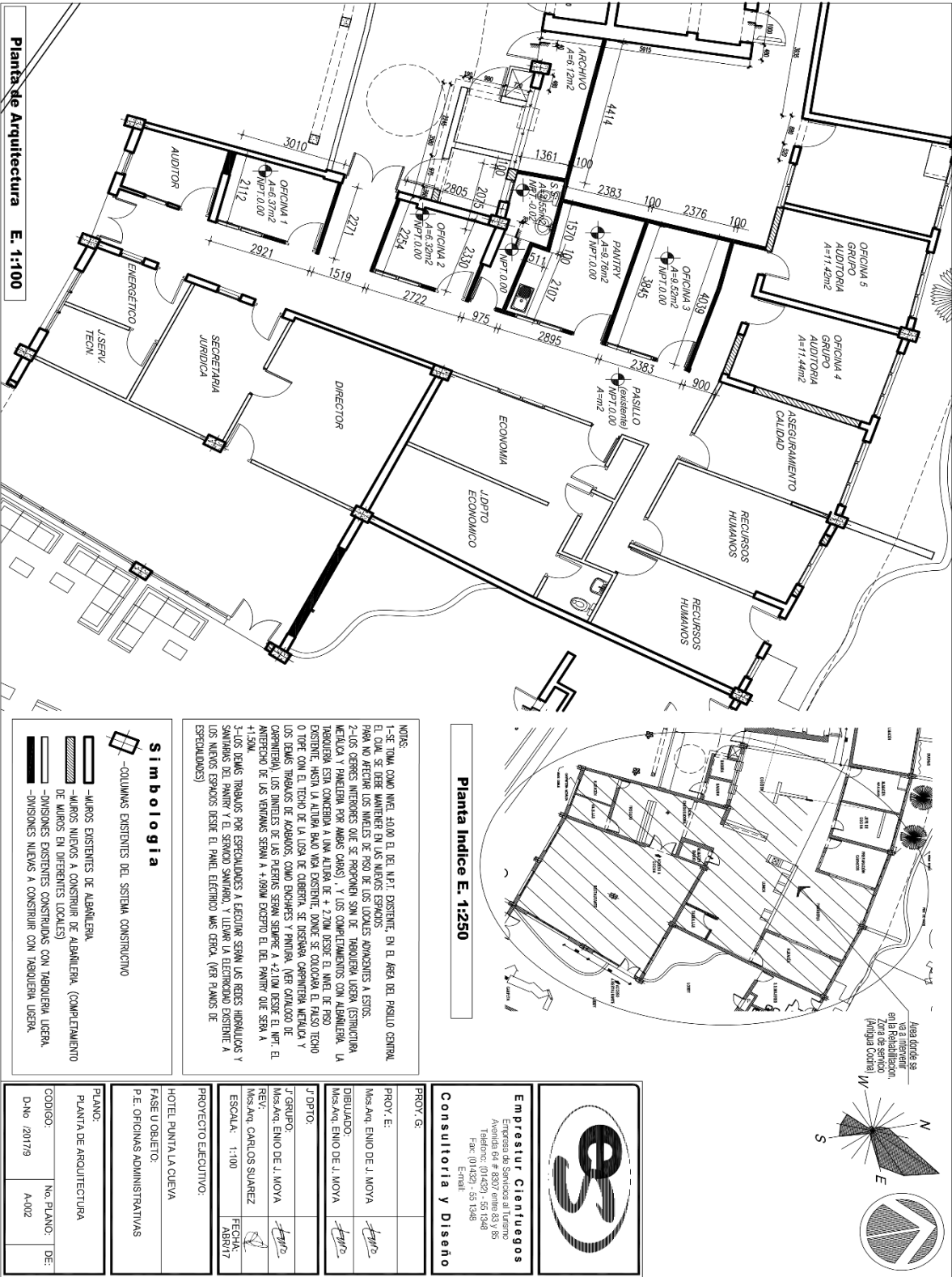
Anexo 3: Gráfico del consumo de agua durante el año 2021. Fuente: Elaboración propia, Agosto 2022.



Anexo 4: Gráfico del consumo de agua durante el año 2022. Fuente: Elaboración propia, Agosto 2022.



Anexo 5: Planos del proyecto de expansión (Punta Las Cuevas).



Anexo 6: Pérdidas de radiación por meses para el SST. Elaboración propia mediante Sketchup Pro 2021.

Pérdidas por sombreado mensuales (%)												
Cara	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.18	0.07	0.03	0.13	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.19	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.16	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mean	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.13	0.05	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00

Fuente. Realizado mediante Sketchup Pro 21.

Anexo 7: Resultados económicos. Fuente: Elaboración propia

Análisis de costos				
Ingreso				
Electricidad generada				0 Kwh
Tarifa eléctrica				2.4464 Cup/Kwh
Ingreso				0 Cup
Ingreso por ahorro				
Electricidad generada en el año para el autoconsumo				8468 Kwh/año
Tarifa eléctrica				2.4464 Cup/Kwh
Ingreso por ahorro				20716.1152 CUP/año
Ingreso por exportación				
Electricidad generada para la exportación				0 Kwh/año
Tarifa eléctrica				3.7808 Cup/Kwh
Ingreso por exportación				0 CUP/año
Ingreso total				
Ingreso por ahorro				20716.1152 CUP/año
Ingreso por exportación				0 CUP/año
Ingreso total				20716.1152 CUP/año
Determinación del período simple de recuperación				
Inversión en capital				73238.12 CUP
Ahorros anuales netos				20716.1152 CUP/año
Determinación del período simple de recuperación PSRI				3.53532114

Cálculo del interés simple				
Cantidad presente de dinero p			73238.12	CUP
Año para el que se desea determinar el valor futuro i			12	Año
Tasa de interés r			2.25	%
Interés simple F			238023.89	CUP
Usar esta ecuación para el interés simple		$\sum_{i=1}^n p(1+r)_i$		
Cálculo del interés compuesto				
Cantidad presente de dinero P			73238.12	
Tasa de interés r			2.25	
Interés compuesto F			2514127.338	
Evaluación del valor del dinero a través del tiempo				
Cantidad presente de dinero P			73238.12	
Tasa de interés r			2.25	
Año para el que se desea determinar el valor futuro i			12	
Evaluación del valor del dinero a través del tiempo F			1.01704E+11	
Determinación del flujo de caja				
Ingresos en el año I			20716.1152	CUP/año
Gastos en el año G			0	CUP/año
Tasa de impuesto sobre la ganancia t			35	%
Costo del equipo			73238.12	CUP
Vida útil estimada (años)			12	años
Depreciación del equipamiento Dep			6103.176667	CUP/año
Flujo de caja Fci			15601.58671	CUP/año
Determinación de la tasa de interés real				
Tasa de interés r			2.25	%
Tasa de inflación f			37.24	%
Determinación de la tasa de interés real R			-0.25495482	%
Determinación del valor presente neto				
Flujo de caja Fci			15601.58671	
Inversión inicial Ko			73238.12	
Margen de riesgo %			3	
Tasa de descuento real utilizada D			-0.22495482	
Determinación del valor presente neto VPN			1333621.322	
Usar esta ecuación para el valor presente neto		$VPN = -Ko + \sum_{i=1}^n \frac{Fci}{(1+D)^i}$		
Determinación de la Tasa Interna de Retorno				
Flujo de caja Fci			15601.58671	

Inversión inicial Ko				73238.12
Determinación de la Tasa interna de retorno TIR				75%
Usar esta ecuación para el TIR			$0 = -K_o + \sum_{i=1}^n \frac{F_{ci}}{(1+TIR)^i}$	
Determinación del Período Real de Recuperación de la Inversión				
Flujo de caja Fci				15601.58671
Inversión inicial Ko				73238.12
Tasa de descuento real utilizada D				-0.22495482
Determinación del Período Real de Recuperación de la Inversión PRI				1.5 Años
Usar esta ecuación para el PRI			$0 = -K_o + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{F_{ci}}{(1+D)^i}$	
Determinación del Valor Presente Neto de los Costos VPNC				
Valor Presente Neto de los Costos VPNC				1459967.656
Valor Presente Neto de los Beneficios VPNB				6879436630
Relación Costo-Beneficio (RCB)				0.000212222

Anexo 8: Resultados del análisis medioambiental. Fuente: Elaboración propia.

Impacto medioambiental		
Combustible ahorrado		
Energía generada KWh/año, se denomina E		8468 kWh
Consumo específico de combustible de los grupos electrógenos g		0.25 Kg/kWh
Combustible ahorrado		2117 Kg
Cantidad de CO2 dejado de emitir a la atmósfera		
Combustible ahorrado		2117 KG
Coefficiente que permite relacionar el combustible no quemado		3.13
Densidad del combustible p		850 kg/m3
Cantidad de CO2 dejado de emitir a la atmósfera		7.79554118 (T/año)