

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL
ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA.**

PRESENTADO POR:

MARVIN ELISEO PINEDA CAMPOS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL
ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA
SOLAR TÉRMICA.**

Presentado por :

MARVIN ELISEO PINEDA CAMPOS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

San Salvador, marzo de 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

DEDICATORIA

A mi madre Ana María Campos de Pineda por su paciencia y apoyo moral incondicional, a mi padre Pedro Antonio Pineda Beltrán mi guía moral y espiritual el cual ha sido parte fundamental en la formación de mi carácter, a mi hermano José H. Pineda Campos por ser mi inspiración personal y apoyo económico durante toda la carrera, a mi única y querida hermana Ana Ruth Pineda Campos quien siempre me ha apoyado cuando más le he necesitado, y especialmente a mi Padre Celestial quien me ha dado la oportunidad y las fuerzas para completar lo que un día fue un sueño y que se ha hecho posible por su misericordia.

Marvín Elíseo Pineda Campos

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por darme las fuerzas, la sabiduría y la inteligencia para completar este difícil proceso de formación profesional

A mi padre Pedro A. Pineda, por su ayuda, disciplina y por ser mi principal maestro de la vida.

A mi madre Ana M. de Pineda, por ser la principal fuente de amor en mi vida, por su paciencia y dedicación.

A mi hermano José H. Pineda, por ser el principal soporte económico durante mi carrera e inspiración para finalizarla con éxito.

A mi hermana Ana Ruth Pineda y su esposo David Almendarez, por su ayuda incondicional durante todo el proceso final de mi carrera.

A mi asesor Ing. Francisco De León, por su gran ayuda y dedicación, guiándome con paciencia en las últimas materias de la carrera y más aún en el desarrollo del Trabajo de Graduación.

Marvin Elíseo Pineda Campos

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Generalidades	3
1.1.1. Constitución física del sol.....	3
1.1.2. Movimiento aparente del sol	7
1.1.3. La energía solar	10
1.2. Radiación solar.....	11
1.2.1. La constante solar (gsc) y la radiación solar global.....	12
1.2.2. Radiación solar en centroamérica	14
1.2.3. Radiación solar en El Salvador.....	14
1.2.4. Propiedades de la radiación térmica	17
1.2.4.1. Características de la radiación térmica.....	18
1.2.4.2. Longitud de onda de la radiación.....	18
1.2.4.3. Absorción, reflexión y transmisión.....	19
1.2.4.4. Índice de refracción	23
1.2.4.5. Reflectividad	25
1.3. Tecnología del aprovechamiento de la energía solar térmica.....	26
1.3.1. Colectores solares	27
1.3.1.1. Colectores solares planos	29
1.3.1.2. Colectores solares de tubos de vacío	31
1.3.1.3. Concentradores parabólicos	32
1.3.2. Descripción de componentes.....	33
1.3.2.1. Convertidor.....	34
1.3.2.2. Circuito de fluido térmico	36
1.3.2.3. Aislamiento térmico.....	38
1.3.2.4. Caja	38
1.3.2.5. Cubierta	39
1.3.2.6. Acumulador o depósito de agua caliente.....	40
1.3.2.7. Bombas o electrocirculadores.....	40
1.3.2.8. Válvulas y otros componentes	41
1.3.2.9. Concentrador parabólico.....	42
1.3.3. Aplicaciones.....	42
1.3.4. Rendimiento de un colector solar térmico y concepto de eficiencia.....	44
2. PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO COMO LABORATORIO EXPERIMENTAL	46
2.1. Uso de la planta piloto	46
2.2. Descripción de equipos de aprovechamiento de energía solar térmica que componen la planta piloto.....	47
2.2.1. Agua caliente sanitaria (acs)	48

2.2.2. Calefacción y frío solar.....	50
2.2.3. Concentrador cilíndrico parabólico	53
2.2.4. Cocinas solares.....	57
2.3. Equipo adicional	61
2.3.1. Instrumentos de medición de parámetros solares.....	61
2.3.2. Equipo de elevación.....	69
2.4. Orientación e inclinación de los captadores solares.....	71
2.5. Determinación del área a utilizar	72
2.6. Criterios para la ubicación y determinación de una planta piloto de la Escuela de Ingeniería Mecánica - Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad de El Salvador.....	79
2.7. Determinación del espacio físico donde se ubicará la planta piloto ...	80
2.8. Factores a considerar para la instalación.....	84
2.9. Propuesta de mejoramiento del espacio físico de la planta piloto	86
2.10. Distribución en planta.....	92
2.11. Proyección de sombra con ayuda de software.....	93
2.12. Herramientas didácticas, equipo y mobiliario de oficina y taller de la planta piloto.....	97
3. ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DISPOSITIVOS, HERRAMIENTAS Y MOBILIARIO PERTENECIENTE A LA PLANTA PILOTO.	102
4. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES	104
4.1. Vigilancia.....	104
4.2. Mantenimiento preventivo.....	104
4.3. Mantenimiento correctivo.....	107
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	109
REFERENCIAS	110
ANEXOS.....	113
ANEXO A-1. Ficha técnica de colectores solares sunnysol-up de placas planas para acs.....	113
ANEXO A-2. Montaje de bastidor de colector solar plano	115
ANEXO A-3. Documento técnico del proveedor de equipos de refrigeración solar	117
ANEXO A-4. Manual de instalación de la cocina solar alsol 1.2	120
ANEXO A-5. Documento técnico del instrumento de medición piranómetro	123
ANEXO A-6. Fotografías de la azotea de la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.....	126
ANEXO A-7. Fotografías de la zona verde frente al edificio de la escuela de ingeniería mecánica de la Ues.....	127
ANEXO A-8: Planos de construcción de la estructura metálica de soporte propuesta para la ampliación de la planta piloto sobre el techo de la unidad productiva.	128

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1	Constitución física del sol.....6
Fig. 1.2.	Fotografía de una protuberancia solar.7
Fig. 1.3.	Imagen representativa de los movimientos del sol durante el año vistos desde una posición al norte del ecuador8
Fig. 1.4.	Determinación de la posición aparente del sol.....9
Fig. 1.5.	Identificación de la latitud y la longitud.....10
Fig. 1.6.	Derivación de la radiación solar desde que llega a la atmosfera terrestre.....13
Fig. 1.7.	Mapa de radiación de la superficie terrestre13
Fig. 1.8.	Radicación solar en Centroamérica14
Fig. 1.9.	Gráfica de la irradiación solar en un día en El Salvador15
Fig. 1.10.	Irradiancia Solar de dos días consecutivos.....15
Fig. 1.11.	El mapa de irradiación solar en El Salvador17
Fig. 1.12.	Escala de longitud de onda de la Radiación19
Fig. 1.13.	Descomposición de la energía radiante al entrar en contacto con un material20
Fig. 1.14.	Poder emisor espectral de un cuerpo negro en función de la longitud de onda23
Fig. 1.15.	Refracción de un haz de luz.24
Fig. 1.16.	Cualquier rayo que incida con un ángulo θ_1 mayor al ángulo crítico θ_c correspondiente a esas dos sustancias, se reflejará en la frontera entre ellas en lugar de refractarse25
Fig. 1.17.	Reflexión de la luz.....26
Fig. 1.18.	Distribución tecnológica de la energía solar.....27
Fig. 1.19.	Corte de un colector solar plano y sus partes principales29
Fig. 1.20.	Funcionamiento de la cubierta de un colector solar protegido30
Fig. 1.21.	Esquema de un colector solar plano no protegido31
Fig. 1.22.	Tubo de vacío de un sistema de flujo indirecto32
Fig. 1.23.	Concentradores solares parabólicos.....33
Fig. 1.24.	Composición de un colector solar plano34
Fig. 1.25.	Colector solar con tuberías en Serie o de serpentín35

Fig. 1.26. Colector solar con tuberías en paralelo.....	35
Fig. 1.27. Curva de rendimiento de un colector solar de placas planas.....	45
Fig. 2.1. Esquema básico de ACS por efecto termosifónico	48
Fig. 2.2. Curva de rendimiento del colector sunnySol-V	50
Fig. 2.3. Esquema de un circuito para aire acondicionado con energía solar.	51
Fig. 2.4. Objetivo del sistema de seguimiento solar. El colector rota alrededor del eje de seguimiento	55
Fig. 2.5. Colector solar Tengen CS1-2.....	56
Fig. 2.6. Cocina solar de Disco Parabólico	57
Fig. 2.7. Cocina solar de caja u horno solar.....	58
Fig. 2.8. Cocina solar alSol 1.2	60
Fig. 2.9. Piranómetro y sus partes principales	62
Fig. 2.10. Piranómetro LP PYRA 03	63
Fig. 2.11. Heliógrafo y sus partes principales	65
Fig. 2.12. Bandas del heliógrafo para distintas épocas del año	65
Fig. 2.13. Bandas de papel quemadas por el sol. Se observa la continuidad y discontinuidad	66
Fig. 2.14. Pirheliómetro Kipp&Zonen.	67
Fig. 2.15. Esquema dimensional del pirheliómetro CHP 1	68
Fig. 2.16. Grúa propuesta para las necesidades de la planta piloto	70
Fig. 2.17. Conveniencia de la inclinación adecuada de los colectores solares	72
Fig. 2.18. Diagrama solar de El Salvador	74
Fig. 2.19. Esquema de cálculo de la distancia mínima entre colectores.....	76
Fig. 2.20. Separación mínima recomendada entre dispositivos.....	76
Fig. 2.21. Determinación de la distribución en planta	78
Fig. 2.22. Fotografías del aspecto del techo de la Unidad Productiva y del Taller de Motores a las 12:00 M en noviembre	82
Fig. 2.23. Área del techo de la Unidad Productiva y del taller de motores.....	83
Fig. 2.24. Modelo del edificio la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador.....	83
Fig. 2.25. Estructura de perfiles W10x54	87
Fig. 2.26. Estructura de perfiles H vista frontal	87

Fig. 2.27. Estructura de perfiles H vista de planta.....	88
Fig. 2.28. Detalle de junta de perfiles H (entre columna y viga)	88
Fig. 2.29. Estructura de Perfiles H más ángulos que sostendrán las rejillas..	89
Fig. 2.30. Detalle de junta de unión entre viga H y angulares.....	89
Fig. 2.31. Vista de las rejillas o grating instaladas sobre la estructura metálica.....	90
Fig. 2.32. Diseño de escalera propuesta para acceso de emergencia a la planta piloto y rejilla sobre estructura de entepiso con pasamanos representados.....	91
Fig. 2.33. Modelo propuesto para la instalación de una Planta Piloto.....	92
Fig. 2.34. Esquema de la distribución en planta con las áreas a utilizar	93
Fig. 2.35. Propuesta de distribución en planta de dispositivos colectores y de medición.....	93
Fig. 2.36. Modelo del edificio en la posición en la que fue diseñado	94
Fig. 2.37. Selección del lugar de ubicación de la edificación	94
Fig. 2.38. Vista desde el sur real. El modelo está desviado $\sim 90^\circ$	95
Fig. 2.39. Modelo orientado con el sur que muestra el programa SketchUp junto a Google.....	95
Fig. 2.40. Representación de la sombra proyectada por edificio a las 17:00 horas del solsticio de Inverno.....	96
Fig. 2.41. Proyección de sombras por colectores planos en software (21 de diciembre a las 2:00 PM)	96
Fig. 2.42. Área de oficina del tamaño de dos cubículos de la escuela de Ingeniería mecánica. Algunas herramientas de taller ilustrativas ..	97
Fig. 4.1. El mantenimiento preventivo es muy importante para evitar daños en las instalaciones térmicas solares.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Irradiancia solar en El Salvador de acuerdo a tres fuentes.....	16
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas del dispositivo collySun 7.5	53
Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del colector solar CS1.2	56
Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de cocina solar alSol 1.2	61
Tabla 2.4. Especificaciones técnicas del piranómetro LP PYRA 03.	64
Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del pirheliómetro CHP 1.	69
Tabla 2.6. Especificaciones técnicas de la grúa.	70
Tabla 2.7. Distancia mínima libre recomendada entre dispositivos	77
Tabla 2.8. Equipo de Oficina.....	98
Tabla 2.9. Materiales consumibles de oficina	98
Tabla 2.10. Listado de herramientas del taller de la planta piloto	99
Tabla 3.1. Precios de dispositivos, equipo de oficina y herramientas de taller mecánico.....	102
Tabla 3.2. Precios de instrumentos de medición y grúa estacionaria.....	103
Tabla 3.3. Precios aproximados de accesorios y elementos adicionales opcionales de la instalación.....	103

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han agudizado los problemas provenientes de la dependencia energética de los combustibles fósiles, se han alcanzado niveles extravagantes de contaminación ambiental provenientes de los diferentes procesos para la utilización de estos combustibles. Desde su extracción, transporte, refinación, y utilización final. Todo tiene consecuencias ambientales que, si bien es cierto se tratan de controlar, no es posible revertir el daño ya causado y parece que constantemente empeora dicho mal a niveles no sostenibles. Se debe agregar, además, la inminente escasez (o baja oferta frente a la demanda) de las formas actuales de energía de mayor utilización y por tanto su encarecimiento. Sin embargo, una gran preocupación ha llevado al ser humano a investigar para descubrir nuevas formas de suplir la demanda energética y una de las investigaciones que han arrojado resultados para la obtención de energía limpia y rentable es el aprovechamiento de la energía solar.

En El Salvador se tiene la ventaja respecto a otros países en cuando al potencial del aprovechamiento energético que proporciona el sol. Esta región es una de las más radiadas, de manera que el país está en condiciones favorables para una investigación con resultados satisfactorios. Sin embargo, no existe verdadero desarrollo en este campo. El poco interés de profesionales salvadoreños en este tema limita las ampliaciones en la investigación y aplicaciones propias de la región.

Se reconoce la importancia de desarrollar un espacio para el estudio de la energía solar térmica en terreno salvadoreño y administrado por profesionales que encausen los conocimientos adquiridos en materia de energías renovables. Este espacio debe ser adecuado para fines didácticos y, además, que permita la exhibición de esta tecnología a la población interesada.

En la Universidad de El Salvador, con iniciativa de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en este Trabajo de Graduación se propone un modelo que funcione como centro de investigaciones para el estudio del aprovechamiento

de la energía solar térmica. Por medio de este trabajo se presenta una propuesta de diseño de una planta piloto que posibilitará el monitoreo constante, estudio de eficiencia, aplicaciones, adaptación, y demás elementos de investigación para el aprovechamiento de esta forma de energía.

1. MARCO TEÓRICO

Las fuentes de energía de la tierra se pueden dividir en dos grandes grupos: las energías renovables y las no renovables. Las fuentes de energía no renovables son las que a escala humana no son capaces de crearse al mismo ritmo en que se consumen. En cambio, las fuentes de energía renovable son inagotables a escala humana y tienen, principalmente, un origen solar [2].

1.1. GENERALIDADES

La tierra recibe energía proveniente del sol a través de la radiación a la que se ve expuesta desde hace millones de años. Por el principio de conservación de la energía se sabe que la energía que llega a la tierra se debe producir en algún momento dentro del sol. Esta producción de energía es el resultado de la constante transformación física y química de los componentes del sol, y que se percibe en la tierra a través de luz solar.

1.1.1. CONSTITUCIÓN FÍSICA DEL SOL

El sol, a pesar de ser de enorme tamaño, es una estrella relativamente pequeña, pues en las galaxias del universo existen muchas estrellas como el sol y de mayor tamaño. Las dimensiones del sol han sido estimadas y comparadas con las del planeta Tierra. Su tamaño es 1.3×10^6 veces mayor que el de la Tierra y su gravedad es 30 veces superior. La distancia media entre el sol y la Tierra es de 149.6 millones de kilómetros y su luz recorre esta distancia en ~ 8.32 min. Su visibilidad en el cielo determina el día y cuando se oculta en el horizonte es de noche. Este fenómeno ocurre simultáneamente en diferentes regiones de diferentes planetas del sistema solar. La posición del sol, vista desde la tierra, y la distancia entre estos, modifica el clima terrestre, la temperatura y las estaciones del año.

La energía que irradia el sol se genera debido a las reacciones de fusión que se producen en su interior. Los átomos de hidrógeno reaccionan transformándose en helio. Se cree que el Sol se encuentra en una condición de equilibrio dinámico, y se mantendrá en ella todavía unos 5,000 millones de años más.

La temperatura en la superficie solar es de alrededor de 5,800 K, y de 1.5×10^7 K en su interior. El calor producido se debe a grandes explosiones atómicas de los millones de átomos de hidrógeno que chocan unos contra otros a altas velocidades. Luego, como consecuencia se reúnen (fusión nuclear) formando los átomos de helio.

El Sol está constituido por un 81 % de hidrógeno, 18 % de helio, y el 1% restante de cantidades variadas de otros elementos. En el centro se calcula que existe un 49 % de hidrógeno, 49 % de helio y un 2% que se distribuye en otros elementos que funcionan como catalizadores en las reacciones termonucleares.

Han sido identificados en el sol elementos que se encuentran en la tierra (calcio, azufre, bario, cadmio, circonio, estroncio, carbono, cobalto, cobre, cromo, estaño, aluminio, galio, germanio, helio, hidrógeno, hierro, indio, magnesio, manganeso, nitrógeno, níquel, oxígeno, oro, paladio, plata, platino, plomo, potasio, silicio, sodio, talio, titanio, tungsteno, vanadio, y zinc) y diversos compuestos (como el cianógeno, el óxido de carbono y el amoniaco). Estos descubrimientos han sido muy relevantes, como el caso del helio que fue descubierto primero en el Sol y luego se identificó en el planeta Tierra.

El sol se constituye con una estructura de capas esféricas. Es difícil establecer las fronteras físicas y diferencias químicas entre las distintas capas, sin embargo, la función física de cada capa es diferente y los fenómenos observados respaldan lo determinado: el sol posee capas esféricas donde el comportamiento químico y físico de sus componentes es uniforme en una capa, pero totalmente diferente entre cada una de las capas. Según el modelo actual de la astrofísica (ver Fig. 1.1), el Sol está formado por el núcleo, la zona radiante, zona convectiva, fotosfera, cromósfera, corona, manchas solares, granulación y viento solar.

El núcleo posee un radio que se calcula en 139,000 km, que es la quinta parte del radio total del sol. En esta zona se desarrollan las reacciones termonucleares que inician la generación de energía total del Sol.

En 1938 Hans Bethe, en los Estados Unidos, y Carl von Weizsäcker, en Alemania, cada uno, independientemente, encontraron que un grupo de reacciones de hidrógeno, donde intervienen como catalizadores el nitrógeno y el carbono, constituyen un ciclo que se repite. En estas reacciones de fusión hay una pérdida de masa, pues el hidrógeno consumido tiene un peso mayor que el del helio que se produce. La diferencia de masa es transformada en energía, que bien se describe en la ecuación de Albert Einstein: $E = mc^2$; donde E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz. Las reacciones nucleares transforman el 0.7 % de la masa en fotones muy energéticos, con una longitud de onda muy corta. La energía que se produce mantiene el núcleo en un equilibrio térmico.

La Zona convectiva se encuentra por encima de la zona donde se producen las reacciones nucleares. Aquí los gases solares ya no están ionizados y los fotones son absorbidos fácilmente. Por tanto, la energía se transporta por convección, de modo que el calor viaja en régimen turbulento por el propio fluido. Como los fluidos se dilatan al ser calentados disminuyendo su densidad, se forman corrientes de gases que ascienden desde la zona caliente hasta zonas superiores menos calientes, para luego producir movimientos descendentes desde las zonas exteriores relativamente frías. El material desciende por efecto del enfriamiento que se produce cuando el gas caliente y ligero, que subido hasta la fotosfera, cede su energía en forma de luz visible.

La fotosfera es la zona donde se emite la luz visible del Sol. Se considera como la "superficie" solar. Vista desde un telescopio, se presenta formada por gránulos brillantes sobre un fondo más oscuro. A causa de la agitación de la atmósfera terrestre, estos gránulos parecen estar en agitación. Se considera que la fotosfera solar tiene unos 100 o 200 km de profundidad.

Un fotón tarda 10 días, en promedio, en atravesar la zona radiante, desde que surge de la fusión de dos átomos de hidrógeno. Tarda alrededor de

un mes en el desplazamiento dentro de la zona convectiva, esto es $\sim 200,000$ km. Luego, toma 8.32 min en recorrer la distancia que separa la Tierra del sol. No es que los fotones sean impulsados con más energía, sino que en el vacío no tienen obstáculos ni transformaciones químicas ni físicas que los afecten.

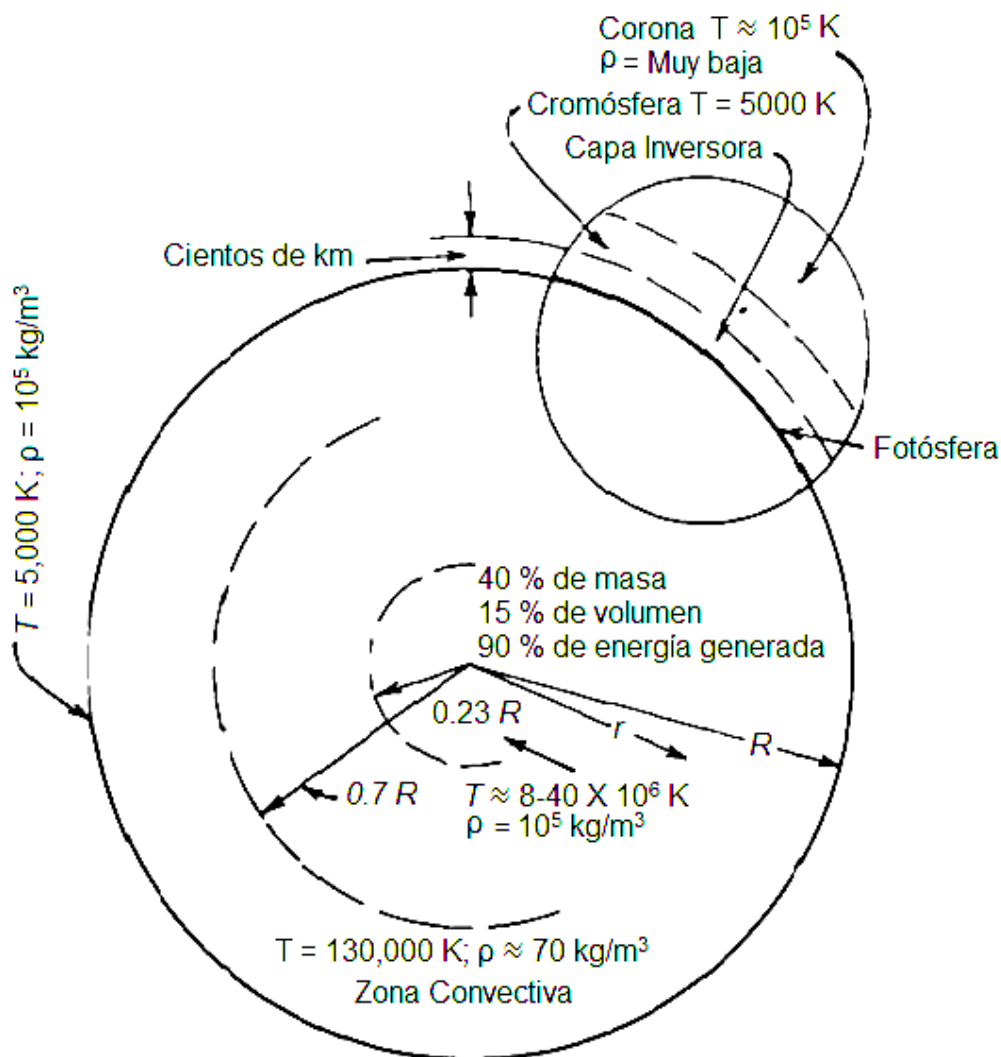


Fig. 1.1. Constitución física del sol [1].

La cromósfera es una capa más transparente que la fotósfera. La primera se encuentra envolviendo a la segunda. Tiene $\sim 10,000$ km de espesor, y es observada, solamente con filtros especiales, ya que es eclipsada por el brillo de la fotósfera. La cromósfera puede ser vista durante un eclipse solar en

un color rojizo. En la cromósfera pueden ser vistas unas prominencias solares que ascienden desde la fotosfera produciendo erupciones solares y alcanzando alturas de hasta 150,000 km.

La corona solar está formada por capas tenues, que son parte de la atmósfera superior del sol. Alcanza temperaturas del orden de 10^6K , una cifra muy superior a la de la capa que le precede. Estas temperaturas son un indicador de la alta velocidad con la que se desplazan las partículas que se encuentran en la atmósfera solar. Tales velocidades son debidas a las ondas de choque que rompen en la cromósfera producto de las turbulencias convectivas, a la baja densidad de los gases de la corona solar y a la intensidad en las líneas de los campos magnéticos (ver Fig.1.2). Un dato que no puede pasar desapercibido es que la energía emitida en rayos X es el resultado de la elevada temperatura de la corona solar.

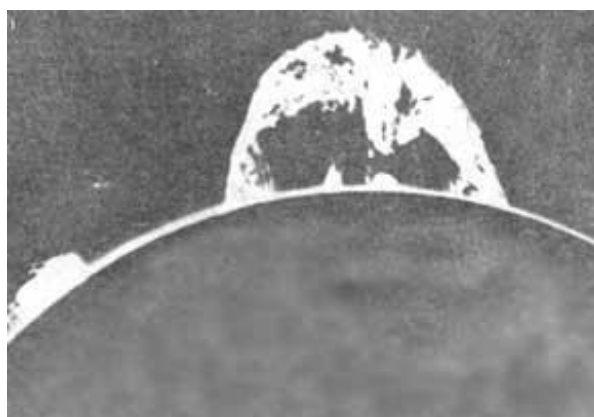


Fig. 1.2. Fotografía de una protuberancia solar, tomada por el satélite Skylab [17].

1.1.2. MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

El Sol tiene dos movimientos principales:

- De rotación sobre su eje solar en un periodo que oscila entre 25.4 días terrestres en su ecuador y poco más de 36 días terrestres en los polos. Este fenómeno se denomina Rotación Diferencial Solar y es consecuencia de la

constitución gaseosa del sol, pues no se trata de un sólido rígido como la Tierra.

- De traslación alrededor del centro de la Vía Láctea, acompañado de los astros que forman el Sistema Solar. En este movimiento tarda 225 millones de años a unos 2,150km/s.

También, la tierra tiene movimientos de rotación sobre su propio eje y de traslación en una trayectoria alrededor del sol. El primero determina el movimiento aparente del sol durante el día, lo cual determina la hora. El movimiento de traslación hace que desde la superficie de la tierra pueda apreciarse una posición aparente a lo largo del año, y por estaciones el sol dibuja trayectorias distintas. En estación la invernal sube menos que en la estación de verano (ver Fig.1.3).

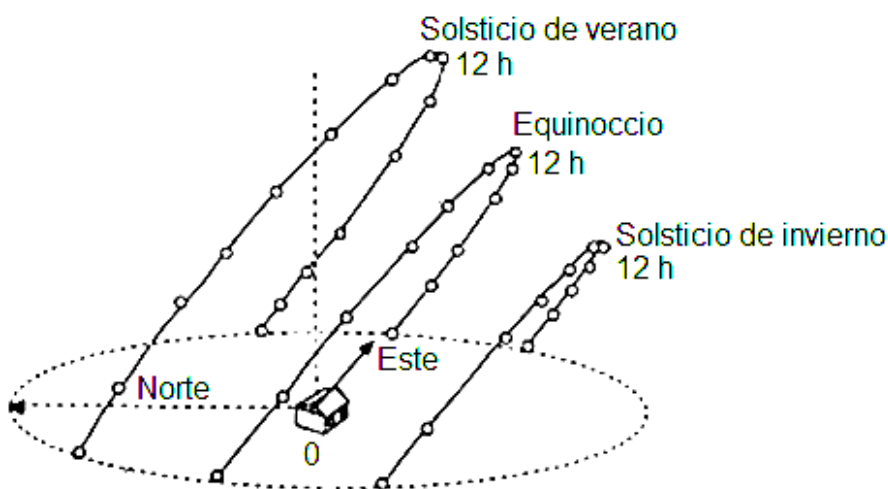


Fig. 1.3. Imagen representativa de los movimientos del sol durante el año vistos desde una posición al norte del ecuador [17].

Para definir la posición del sol vista desde la tierra se utiliza el sistema de coordenadas con dos ángulos que indica la ubicación más precisa (ver Fig.1.4). Estos son ángulo acimutal y ángulo de altura del sol, ambos medidos en grados:

- Ángulo de altura solar: es el ángulo formado por el sol, en una posición aparente durante el día, con la horizontal del lugar donde se está observando.
- Ángulo acimutal: El azimut es el ángulo de giro del Sol con respecto al sur geográfico medido sobre el plano horizontal. Un valor de 0° del azimut se dará cuando el Sol esté exactamente sobre el Sur geográfico y coincidirá con el mediodía solar. Se mide en el sentido de las agujas del reloj.

Los ángulos de azimut y altura solar, así como las horas diarias de sol y la intensidad de su radiación, varían en las distintas regiones de la Tierra.

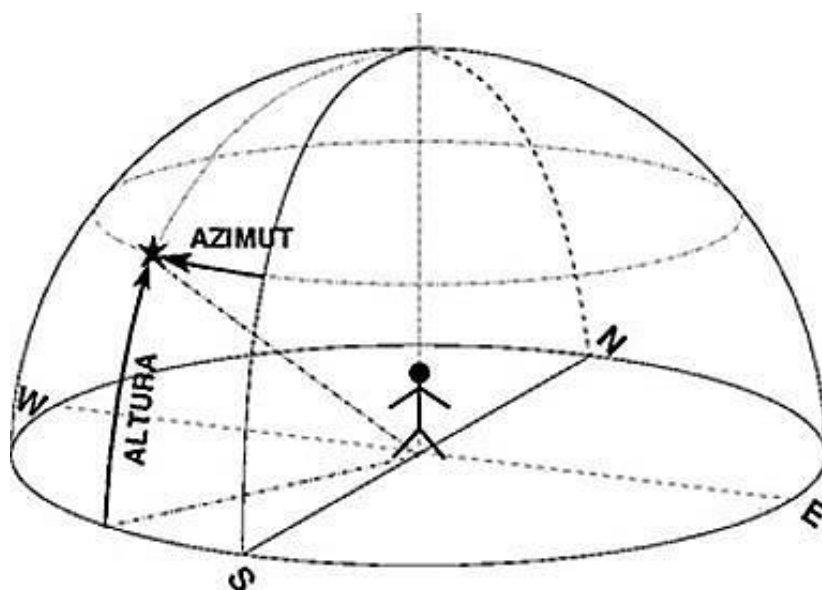


Fig. 1.4. Determinación de la posición aparente del sol.

Para determinar la posición de un punto en la Tierra se utilizan los siguientes parámetros:

- Latitud (β). Ángulo que forma la vertical de un punto de la superficie de la tierra y el plano del ecuador. Se considera positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur.
- Longitud (l). Arco del ecuador comprendido entre el meridiano de un lugar y un meridiano de referencia, el meridiano de Greenwich (ver Fig.1.5).

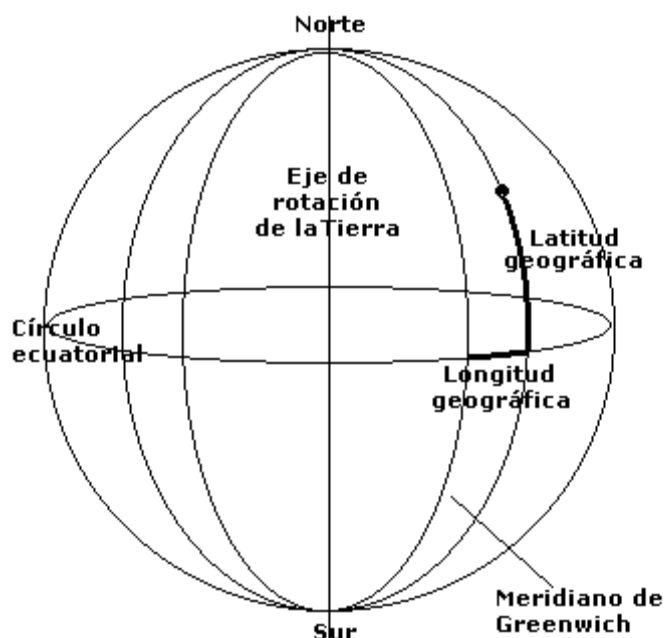


Fig.1.1.5. Identificación de la latitud y la longitud.

1.1.3. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar, como bien dice su nombre, proviene del Sol, estrella que ha iluminado la Tierra durante millones de años y que, además, es la principal fuente natural de energía que ha utilizado el hombre desde los tiempos más remotos. Su luz y calor pueden ser transformados en otros tipos de energía. La flora la absorbe directamente al realizar la fotosíntesis, los herbívoros absorben una cantidad de esta energía comiendo las plantas, y los carnívoros absorben una cantidad más pequeña alimentándose de los herbívoros y otros carnívoros.

La mayor parte de las fuentes de energía de las que el hombre hace uso son derivadas indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles han preservado la energía solar capturada hace millones de años, la energía hidroeléctrica se genera al convertir la energía potencial de agua que se condensa en altura luego de haberse evaporado por el calor del sol, etc. Sin

embargo, el uso directo de la radiación solar para la obtención de energía está limitado por la poca eficiencia de la tecnología y su elevado costo.

La idea de utilizar el Sol como fuente energética directa es muy antigua pero el hombre siempre estuvo limitado debido al bajo nivel térmico. La historia de su uso se remonta a la antigua Grecia, cuando Sófocles propuso la construcción de las viviendas en relación a la posición del sol, y Arquímedes configuró espejos que concentraban los rayos solares para incendiar una flota que les atacaba; esta idea permitió desarrollar aplicaciones posteriores como la quema de árboles, fundición de metales, entre otras; técnica que perfeccionó Lavoisier, quien hizo el primer "horno solar", cuyo fin era fundir metales.

En el siglo XIX, en el desierto de Sal de Chile, fue aplicada la conversión de energía solar para obtener agua potable a través de la destilación. También, tuvo aplicaciones en la alimentación de las máquinas de vapor y luego, el francés Pifre, hizo la primera máquina usada en la industria de la imprenta, estaba basada en la conversión de energía solar.

Las aplicaciones de energía solar han venido ganando terreno en el campo de la industria y más ahora con el visible desgaste de las energías fósiles (no renovables). El hombre está en constante búsqueda de nuevas opciones energéticas y el sol se perfila a ser una fuente principal con un nuevo enfoque: tecnología para el aprovechamiento de energía limpia e inagotable.

1.2. RADIACIÓN SOLAR

El conocimiento del recurso disponible que se considera existente en un punto geográfico es el inicio para cualquier análisis en donde se tenga planeado construir un centro de transformación de algún tipo de energía a otra [3]. Dicho recurso disponible es la radiación solar que llega a la tierra y que se pretende transformarla en energía solar térmica.

1.2.1. LA CONSTANTE SOLAR (GSC) Y LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

La Radiación Solar es emitida hacia el universo, en todas las direcciones vistas desde el sol, y una pequeña parte de esta radiación la recibe la Tierra. Antes de que la radiación solar haga su ingreso a la atmósfera terrestre se tiene una cantidad de energía con flujo constante, en dirección perpendicular a la superficie terrestre. A dicha medida se le llama constante solar y, por convención, se acepta el valor de $G_{sc} = 1,370 \text{ W/m}^2$ ($1,940 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$) [3].

La radiación constante del sol es reducida por efecto de la atmósfera que sirve como un filtro. En la trayectoria hacia la superficie terrestre, cierta parte de la radiación es absorbida por las nubes y otra parte es absorbida por la atmósfera. También, parte de la radiación solar directa es dispersada debido a la densidad de la atmósfera y de las nubes: se crea la radiación difusa, de la cual también el suelo refleja cierta parte y otra parte la absorbe. Todo esto, además de la radiación directa que incide sobre la superficie terrestre que es absorbida, transformada y reflejada en diferentes proporciones.

Al significado físico antes explicado se le llama Irradiancia Solar, que se interpreta como la potencia que se recibe de la radiación del sol sobre cualquier punto en la Tierra por unidad de superficie. Sus unidades en el Sistema Internacional son W/m^2 .

La suma de la radiación solar difusa y la directa que alcanza la superficie terrestre es llamada Radiación Solar Global (ver Fig.1.6).

En el mapa de la Fig. 1.7 se observa la variación de la radiación solar global dependiendo de la zona que la recibe. La zona más cerca del ecuador es la que recibe más radiación que las zonas que están cerca de los polos. El polo norte es radiado en menor medida debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra, contrario a lo que ocurre con el polo sur.



Fig. 1.6. Derivación de la radiación solar desde que llega a la atmósfera terrestre [3].

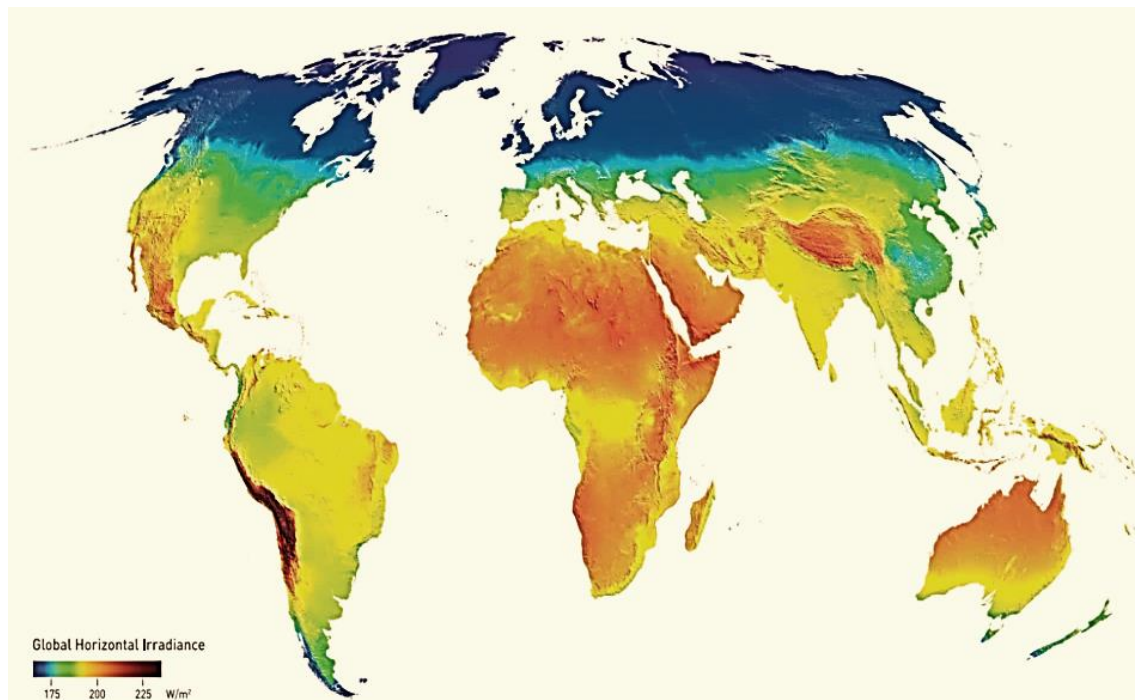


Fig. 1.7. Mapa de radiación de la superficie terrestre realizado por Vaisala.

1.2.2. RADIACIÓN SOLAR EN CENTROAMÉRICA

En Centroamérica se tiene que la región costera del océano pacífico recibe una gran cantidad de radiación solar desde el Golfo de Fonseca hasta la frontera entre Guatemala y México. Por lo que en El Salvador se podría aprovechar de mejor manera pues es el País centroamericano con mayor índice de radiación solar (ver Fig. 1.8).



Fig. 1.8. Radiación solar en Centroamérica [18].

1.2.3. RADIACIÓN SOLAR EN EL SALVADOR

Para expresar el significado de la Irradiancia Solar en El Salvador se hace referencia a la energía promedio en un período de tiempo. Para el caso de la gráfica de la Fig. 1.9, el promedio resulta de la sumatoria o el área bajo la curva de la potencia en cada hora del mismo período de tiempo, representándose con las unidades kWh·día/m² en el SI [3].



Fig. 1.9. Gráfica de la irradiación solar en un día en El Salvador [19].

En la gráfica de la Fig. 1.10 el promedio de dos días de Irradiancia solar es $5.51 \text{ kWh}\cdot\text{día}/m^2$. Generalmente, estos promedios se calculan para los días que dure un mes, por lo que en un año se tendrán 12 promedios diarios mensuales. En El Salvador los valores promedios mensuales se pueden obtener de diferentes fuentes, como se presenta en la Tabla 1.1.

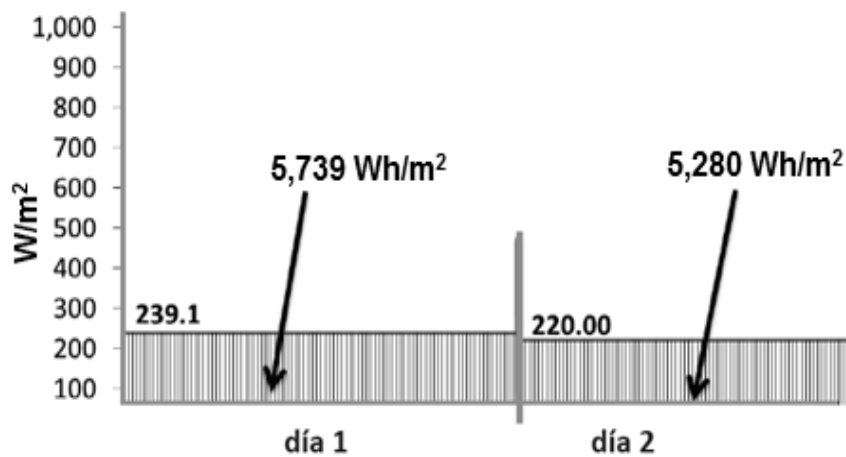


Fig. 1.10. Irradiancia Solar de dos días consecutivos [3].

Tabla 1.1. Irradiancia solar en El Salvador de acuerdo a tres fuentes.

Meses	SWERA [7]	CEL (2012) [19]	NASA [20]
	13.7°, -89.2 Oeste	Medición en techo	Promedio
	Observatorio en San Salvador		1983-2005
	kWh·día/m ²	kWh·día/m ²	kWh·día/m ²
Enero	4.9	4.6	5.6
Febrero	5.4	4.7	6.2
Marzo	5.7	5.1	6.5
Abril	5.4	4.3	6.4
Mayo	4.9	3.5	5.8
Junio	5.1	3.4	5.8
Julio	5.5	4.6	6.3
Agosto	5.2	4.2	6.2
Septiembre	4.6	4.5	5.3
Octubre	4.8	4.2	5.3
Noviembre	4.8	5.3	5.5
Diciembre	4.8	4.9	5.4
Promedio Anual	5.1	4.4	5.8

Aunque en la Tabla 1.1 se presentan mediciones para tres coordenadas específicas (lugar donde se han hecho las mediciones) es posible obtener mapas indicativos mediante métodos matemáticos que representen los demás puntos de un área específica. No en todos los puntos geográficos los valores de Irradiancia son iguales, por tanto, los mapas se elaboran a fin de tener una aproximación al valor que se obtendría a partir de una medición en sitio.

En la región central del área metropolitana de El Salvador la irradiación solar es alta (5.3 kWh·día/m²), comparada con la de ciudades como Berlín o Tokio (3.3 kWh·día/m²). El mapa de irradiación solar en El Salvador fue creado bajo el proyecto SWERA, el cual presenta el potencial de irradiación solar en promedio anual en diferentes puntos de medición en El Salvador (ver Fig. 1.11).

Luego de varios estudios y pruebas piloto, se considera que el potencial de este tipo de energía es alto en El Salvador y aunque el costo de inversión inicial sigue siendo elevado, LaGeo e Inversiones Energéticas tienen planes de desarrollo respecto a la energía solar térmica concentrada [3].

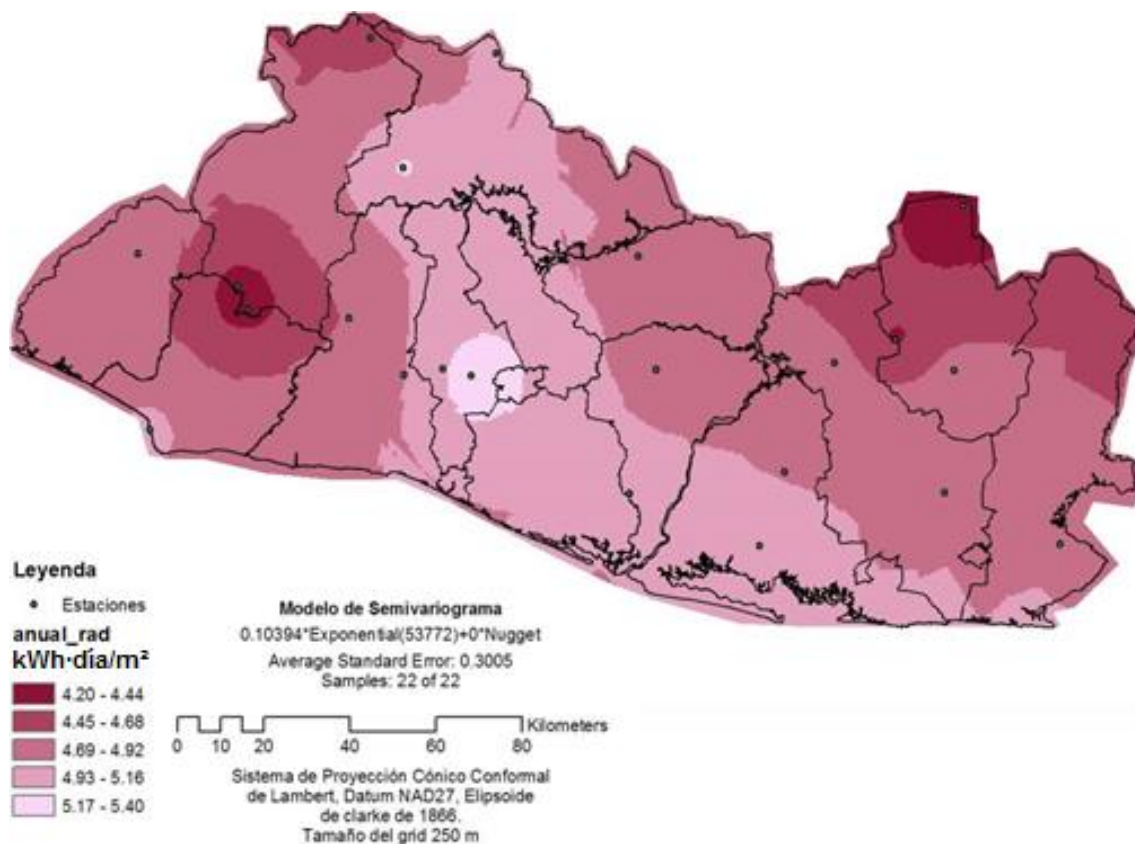


Fig. 1.11. El mapa de irradiación solar en El Salvador [7].

1.2.4. PROPIEDADES DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética por efecto de su energía interna que, en condiciones de equilibrio, es proporcional a la temperatura del cuerpo en cualquier estado en que se encuentre [4].

La energía radiada se convierte en calor mediante la absorción de las ondas electromagnéticas por la materia y deja, entonces, de ser radiación para fluir hacia el interior del cuerpo receptor por conducción o convección.

La radiación se mueve a través del espacio siguiendo trayectorias rectilíneas o rayos y solamente los cuerpos que están a la vista del que radia pueden interceptar la radiación directa procedente de él.

1.2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

El fenómeno del transporte de la energía se puede dar de dos formas:

- Con transporte de materia.
- Sin transporte de materia (ondas electromagnéticas).

En el caso de la conducción y la convección la energía es transportada por la diferencia de temperatura (de la más alta a la más baja). En cambio, la radiación no necesita diferencia de temperatura entre dos cuerpos, o entre dos secciones de un mismo cuerpo, la emisión de energía radiante se produce siempre. Basta que la temperatura sea mayor que 0 K para que emitan radiación tanto los cuerpos llamados calientes como los fríos, por lo que se cumple la siguiente condición:

Cuerpo "caliente" ↔ cuerpo "frío".

La radiación depende de la temperatura termodinámica del cuerpo emisor (en cualquier estado térmico) y es independiente de la temperatura del cuerpo receptor o del ambiente.

1.2.4.2. LONGITUD DE ONDA DE LA RADIACIÓN

La longitud de onda que corresponde a la radiación térmica donde se produce la emisión de energía en función de su temperatura se ubica en el intervalo que va desde 0.1 hasta 100 μm , e incluye totalmente en su interior la parte visible del espectro electromagnético. La longitud de onda de la radiación solar, después de atravesar la atmósfera, está comprendida entre 0.25 y 3 μm (ver gráfica de la Fig. 1.12).

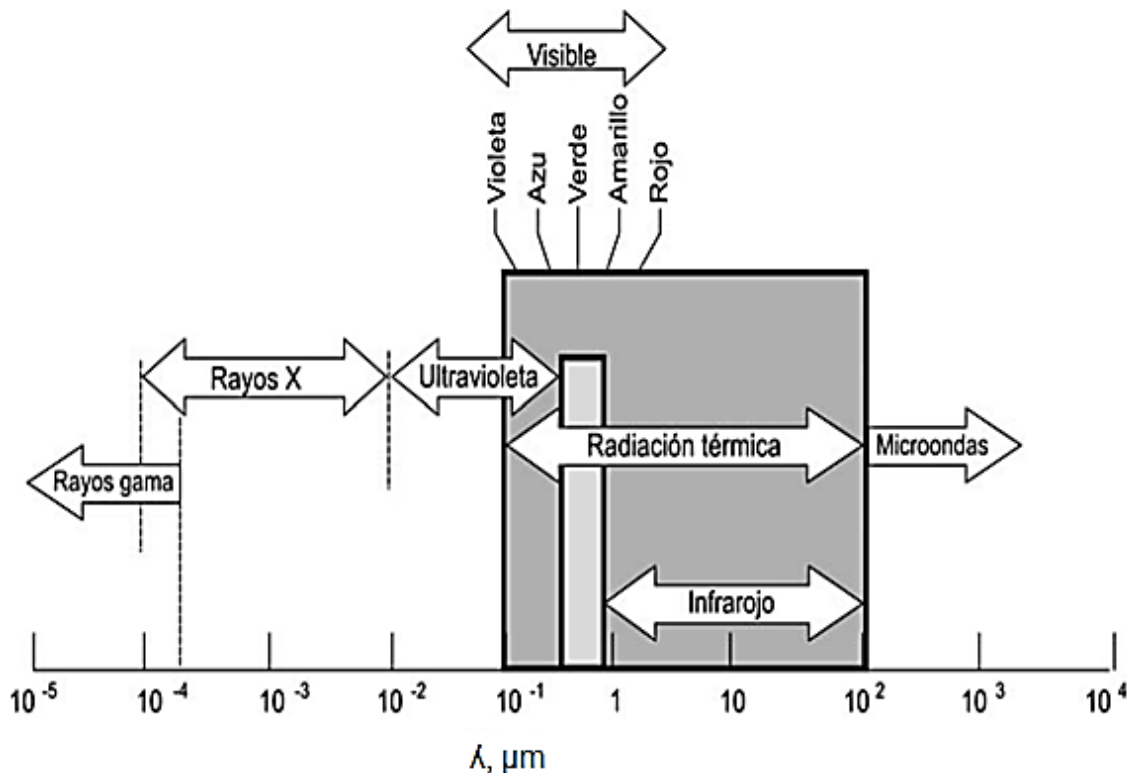


Fig. 1.12. Escala de longitud de onda de la Radiación [4].

1.2.4.3. ABSORCIÓN, REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN

En la Fig. 1.13 se representa de forma esquemática los fenómenos de emisión (E), absorción (A), reflexión (R) y transmisión (T) de la radiación. Entonces, se interpreta lo siguiente:

- Emisión: todos los cuerpos emiten un espectro continuo de longitudes de onda en función de su temperatura.
- Transmisión: con o sin presencia de materia.
- Recepción: la energía radiante, al ser interceptada por un cuerpo, es absorbida, reflejada y transmitida en diferentes proporciones según la naturaleza del cuerpo.

Al absorber parte de la energía radiante incidente, aumenta la energía interna ($+\Delta U$) del cuerpo radiado y, por tanto, aumenta su temperatura ($+\Delta T$).

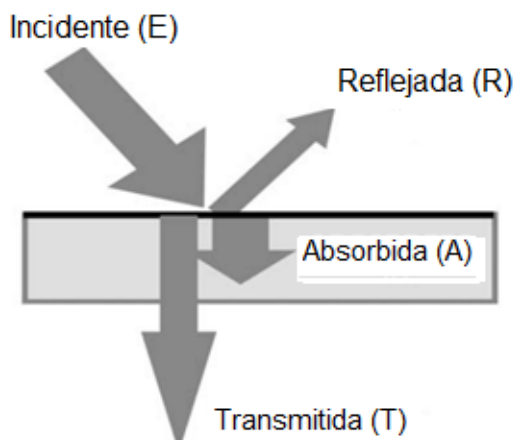


Fig. 1.23. Descomposición de la energía radiante al entrar en contacto con un material [4].

La absorción de radiación es un fenómeno de superficie y no de volumen, de modo que en el interior de un cuerpo radiado, el fenómeno que toma importancia en la transmisión de energía es la conducción y/o la convección, según sea el caso.

De acuerdo al principio de conservación de la energía:

$$E = A + R + T \quad (1.1)$$

dividiendo esta expresión por la energía incidente (E):

$$1 = \frac{A}{E} + \frac{R}{E} + \frac{T}{E} \quad (1.2)$$

o bien:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (1.3)$$

siendo:

$\alpha = A/E$, llamada fracción de la radiación que es absorbida, poder absorbente o absorptividad.

$\rho = R/E$, fracción de la radiación que se refleja, poder reflexivo o reflectividad.

$\tau = T/E$, fracción de la radiación que se transmite, poder transmisivo o transmisividad.

La mayor parte de los sólidos que tienen aplicación en ingeniería son cuerpos opacos a la radiación; es decir, poseen una transmisividad tan baja que puede considerarse nula comparada a la absorptividad y reflectividad que poseen. Para éstos se verifica:

$$\tau \approx 0 \Rightarrow \alpha + \rho \approx 1 \quad (1.4)$$

Sin embargo, el vidrio, ciertos polímeros, así como los gases, tienen una transmisividad muy alta y baja absorptividad y reflectividad. En el caso del aire (seco y limpio) las radiaciones térmicas lo atraviesan sin que presente tanta resistencia, verificándose:

$$\tau \approx 1 \Rightarrow \alpha \approx \rho \approx 0 \quad (1.5)$$

A continuación se mencionan algunos casos característicos:

a) Reflexión de los cuerpos opacos

El coeficiente de reflexión o reflectividad de un cuerpo opaco es dependiente de la temperatura y de la superficie del material, de la longitud de onda incidente y del ángulo de incidencia.

Existen dos tipos principales de reflexión:

- Reflexión especular. Se produce en superficies casi lisas y pulimentadas en las que el rayo reflejado forma el mismo ángulo que el rayo incidente. En estas superficies: $\rho \approx 1$ y $\alpha \approx 0$.
- Reflexión difusa. Se produce sobre superficies rugosas o sin brillo que reflejan, de forma difusa, en muchas direcciones y no existe un ángulo de reflexión definido. En éstas: $\alpha \approx 1$ y $\rho \approx 0$.

La mayor parte de las superficies utilizadas en la industria producen reflexión difusa y se puede aceptar que α y ρ no dependen del ángulo de

incidencia. También, se acepta para las superficies llamadas de cuerpo gris, que α es la misma para todas las longitudes de onda.

b) Casos límite

Para propiedades físicas límites y que también se consideran condiciones ideales, se tiene:

- Cuerpo transparente: transmite toda la radiación incidente. $\tau = 1$.
- Cuerpo blanco: refleja toda la radiación incidente. $\rho = 1$.
- Cuerpo negro: absorbe toda la radiación incidente. $\alpha = 1$.

c) Emitancia o poder emisivo

También llamada potencia emisiva, es el total de energía radiante de todas las longitudes de onda que es emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se simboliza W y sus unidades en el SI: W/m^2 .

Poder emisivo monocromático es la emitancia con una energía radiante a una determinada longitud de onda λ . Se simboliza por W_λ . Si se refiere a un cuerpo negro se simboliza: $W_{n\lambda}$.

La emitancia total de una superficie, es la sumatoria de todas las radiaciones monocromáticas que salen de dicha superficie. La emitancia total se puede describir físicamente como la radiación de todas las longitudes de onda emitida por unidad de superficie, en la unidad de tiempo y en todas las direcciones, que es captada por una semiesfera centrada frente a la superficie:

$$W = \int_0^{\infty} W_\lambda \cdot d\lambda \quad (1.6)$$

Emisividad ε , es la relación entre la emitancia total de un cuerpo y la del cuerpo negro a la misma temperatura (T):

$$\varepsilon = \frac{W}{W_n} \quad (1.7)$$

d) Cuerpo negro

La distribución de la energía radiada por el cuerpo negro se presenta en la Fig. 1.14 con la gráfica de W_λ - λ . Poder monocromático: es el área encerrada bajo la curva a diferentes longitudes de onda.

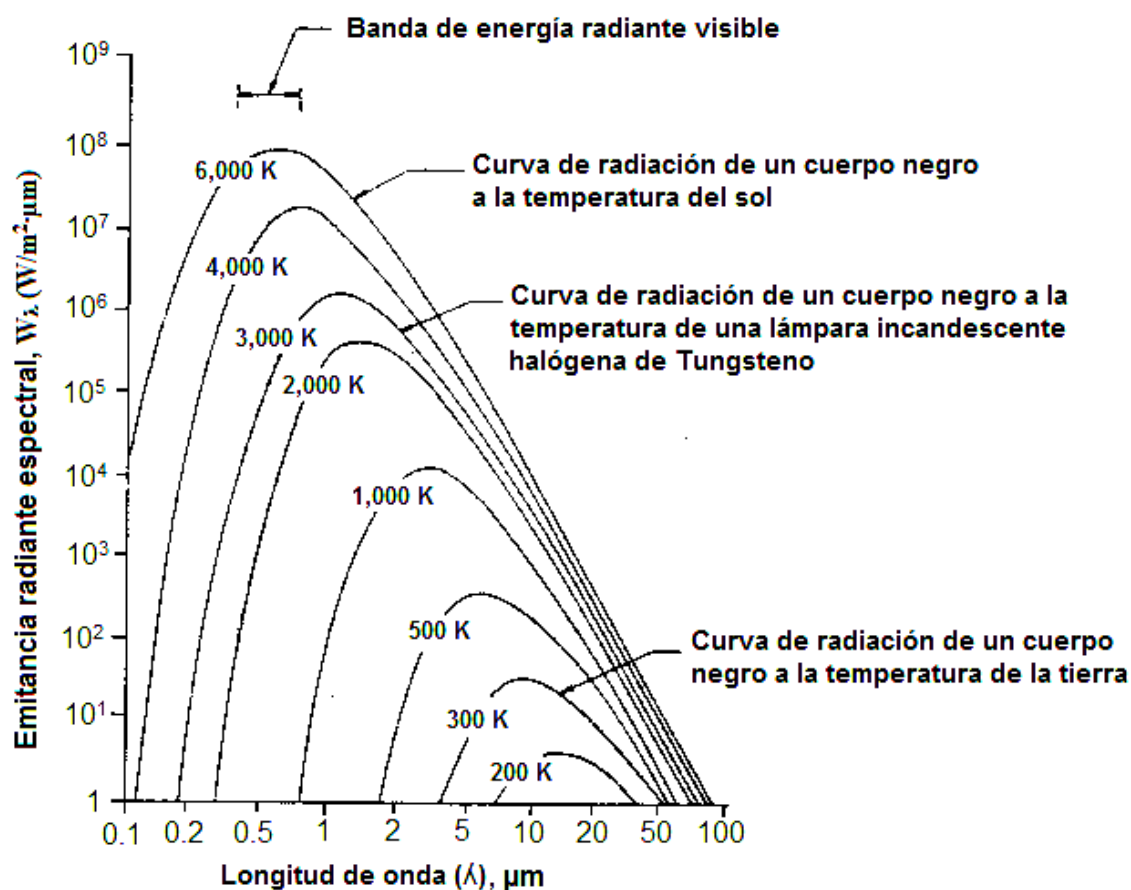


Fig. 1.14. Poder emisor espectral de un cuerpo negro en función de la longitud de onda [4].

1.2.4.4. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Cuando un haz de luz pasa de un medio a otro (atravesando un segundo medio) pierde parte de su energía y, por tanto, cambia su velocidad y en consecuencia, cambia de dirección (ver Fig. 1.15).

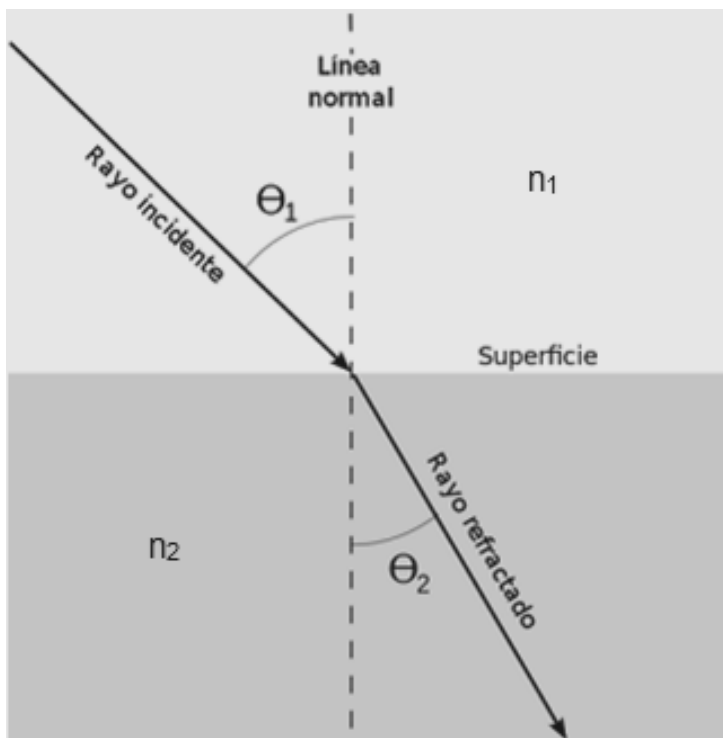


Fig. 1.15. Refracción de un haz de luz.

La velocidad relativa del haz de luz que pasa a través de un medio se expresa en una propiedad óptica llamada Índice de Refracción (n). El valor del índice de refracción se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío (C), y la velocidad de la luz en el medio considerado, v .

$$n = \frac{C}{v} \quad (1.8)$$

Los índices de refracción para la luz que pasa de un medio con índice n_1 a otro con índice n_2 están relacionados con los ángulos de incidencia y refracción según la ley de Snell:

$$n_i \text{Sen} \theta_i = n_r \text{Sen} \theta_r \quad (1.9)$$

Debe notarse que si la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro con índice de refracción más bajo, el ángulo de refracción se hace más pequeño. Existe el caso que si aumenta el ángulo crítico de

incidencia θ_c , habrá una reflexión interna total. Este ángulo crítico θ_c , es correspondiente a un ángulo de refracción $\theta_r = 90^\circ$ (ver Fig. 1.16).

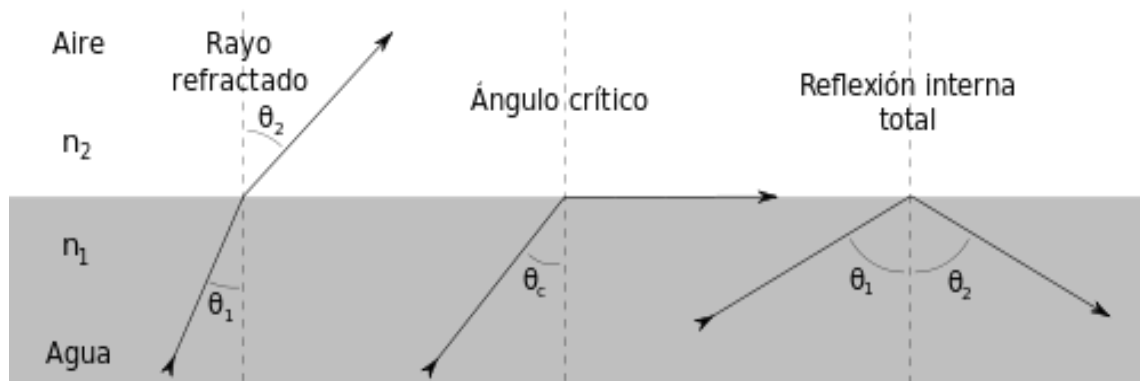


Fig. 1.16. Cualquier rayo que incida con un ángulo θ_1 mayor al ángulo crítico θ_c correspondiente a esas dos sustancias, se reflejará en la frontera entre ellas en lugar de refractarse.

La magnitud del índice de refracción determina la apariencia de un material. El "centelleo" asociado a los diamantes y a ciertas piezas de vidrio es consecuencia de un alto índice de refracción, lo que permite que se produzcan múltiples reflexiones internas de luz. La adición de óxido de plomo con $n=2.60$ a los vidrios de silicato eleva el índice de refracción, proporcionándoles la apariencia característica de "cristal fino" [24].

1.2.4.5. REFLECTIVIDAD

Cuando un haz de luz incide sobre una superficie, una parte de esta luz es reflejada con un ángulo de reflexión igual al ángulo de incidencia (ver Fig. 1.17).

La reflectividad define a la fracción de luz reflejada en una superficie y se describe a través del índice de refracción con la fórmula de Fresnel:

$$R = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 \quad (1.10)$$

La ecuación 1.10 es válida en casos de incidencia normal ($\theta_i = 0$), pero es una buena aproximación en un amplio intervalo de θ_i .

Los materiales con un alto índice de refracción son, también, altamente reflectantes [24].

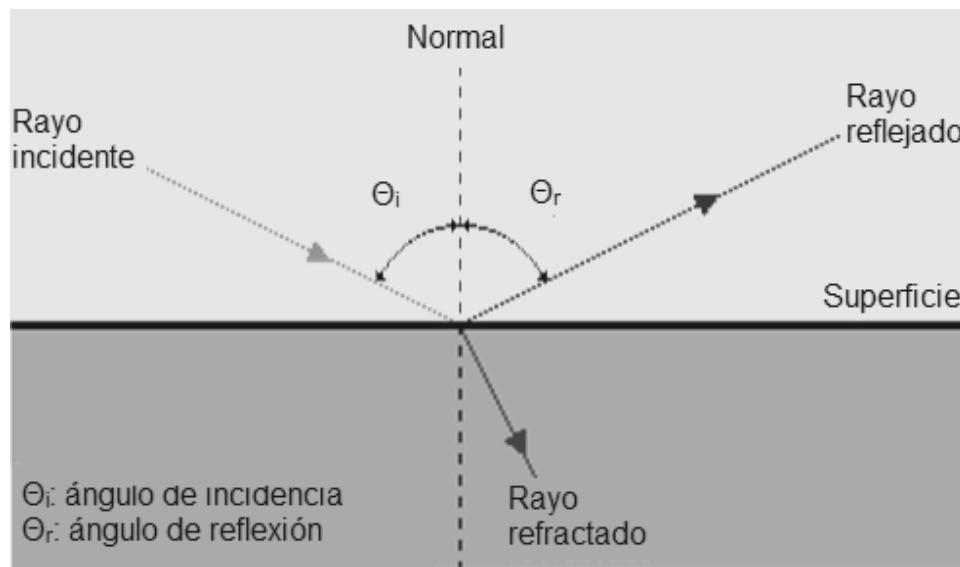


Fig. 1.17. Reflexión de la luz.

1.3. TECNOLOGÍA DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Durante la historia, como se ha mencionado anteriormente, el hombre ha utilizado la energía solar en diferentes áreas y aplicaciones bajo diferentes métodos. Actualmente el aprovechamiento de la energía solar se ha vuelto objeto de múltiples investigaciones para su mejoramiento en cuanto a eficiencia de las aplicaciones descubiertas, nuevos métodos de captación y nuevas aplicaciones.

Básicamente la energía solar es captada para su transformación en dos clases de energía utilizable, las cuales son: energía eléctrica y energía térmica (ver esquema de la Fig. 1.18). Aunque las dos clases de energía utilizan la radiación solar, la térmica aprovecha el calor de la luz del Sol mientras que la fotovoltaica convierte la luz en electricidad.

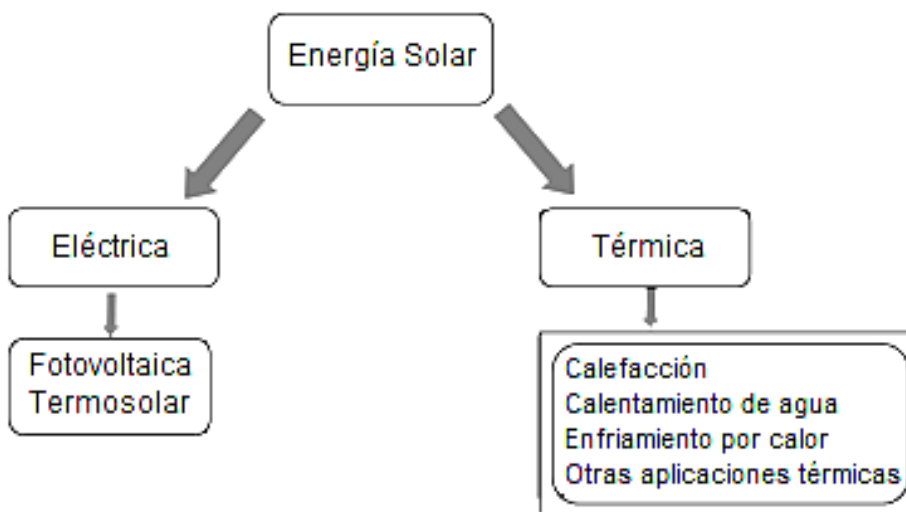


Fig. 1.18. Distribución tecnológica de la energía solar

La energía solar térmica se emplea fundamentalmente para calentar un fluido que sirve para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción de piscinas, climatización de edificios y para otras aplicaciones domésticas e industriales.

La energía eléctrica de origen fotovoltaico tiene, también, aplicaciones domésticas, industriales e incluso puede ser vertida a la red eléctrica. Una diferencia importante entre ambas es que la energía térmica puede almacenarse en depósitos con fluidos, mientras que la fotovoltaica en baterías menos eficientes y con un costo mayor.

El enfoque de este estudio está orientado a la transformación de energía solar en energía térmica a través de aplicaciones y uso del calor generado, enmarcado en el esquema de la Fig. 1.18.

1.3.1. COLECTORES SOLARES

Un captador solar, es cualquier dispositivo diseñado para interceptar la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. Existen de baja, media y alta temperatura; los de baja temperatura son utilizados básicamente en sistemas domésticos de calefacción y agua caliente sanitaria, en adelante

ACS; y los colectores de alta temperatura, son utilizados generalmente para producir vapor e inyectarlo para usos industriales o de generación de energía.

Los colectores se pueden clasificar en función del fluido térmico que utilizan (pueden ser líquido o gas). El líquido más frecuente es el agua y los de gas suelen funcionar con aire.

También, se clasifican por el intervalo de temperatura de trabajo, que define el tipo de componentes y su configuración en el colector. Así, se tienen las siguientes categorías:

- Temperatura baja (30 – 100 °C).

Las aplicaciones más comunes en este rango de temperatura son de calentamiento de piscinas, ACS, calefacción, secado, desalinización y destilación. Los dispositivos usados son colectores solares planos y el sistema está conformado por éstos, por el circuito de fluido térmico, el aislamiento térmico y por la caja que contiene todos los componentes. Los colectores usados, también, reciben el nombre de captadores solares planos no protegidos.

- Temperatura media (100 – 400 °C).

Se usan en procesos industriales, refrigeración y en procesos químicos como la producción de acetona, entre otras. Los dispositivos utilizados son concentradores solares y colectores planos con cubiertas para alcanzar mayores temperaturas en el fluido.

- Temperatura alta (400 – 3,000 °C).

Se utilizan concentradores como los discos parabólicos y los campos de heliostatos o centrales de torre. Estas temperaturas tienen aplicación en centrales solares fototérmicas, fotovoltaicas y fotoquímicas, también, en hornos solares para investigación de materiales.

Este proyecto solo aborda lo concerniente a sistemas de baja y media temperatura.

1.3.1.1. COLECTORES SOLARES PLANOS

El colector solar plano consiste en una caja plana metálica por la que circula un fluido que se calienta al circular al interior de la caja.

Colectores planos protegidos: tienen una cubierta transparente sobre la placa colectora expuesta al sol (ver Fig. 1.19). La cubierta puede ser de vidrio y las cinco caras restantes deben ser opacas y estar aisladas térmicamente. La placa colectora está unida a los conductos por los que circula el fluido caloportador (generalmente agua). A ésta se le aplica un tratamiento superficial selectivo o se pinta de negro para que aumente la absorción de calor.

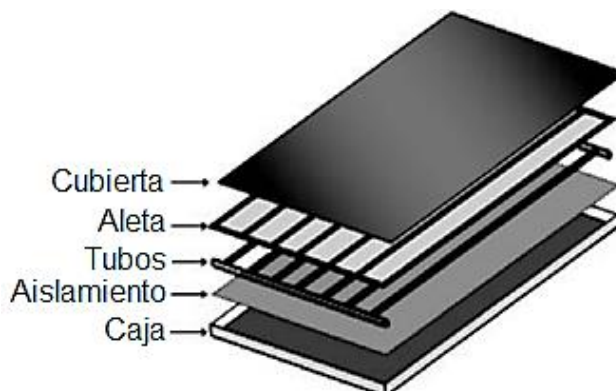


Fig. 1.19. Corte de un colector solar plano y sus partes principales [4].

Los colectores solares planos protegidos funcionan aprovechando el fenómeno del efecto invernadero. La cubierta actúa como una especie de filtro para ciertas longitudes de onda, deja pasar la luz solar visible, y es menos transparente a las ondas infrarrojas con menos energía (ver Fig. 1.20).

La luz del sol incide sobre la cubierta del colector, que es transparente a su longitud de onda y deja pasar la mayor parte de la energía que calienta la placa colectora. Ésta, cuando es calentada, emite radiación con longitud de onda mayor, mas el vidrio se vuelve opaco para longitudes de onda larga y el recinto de la caja aumenta su temperatura por encima de la del exterior. Al pasar por los conductos en contacto con la placa caliente, el fluido caloportador

también se calienta y al ser llevado por la trayectoria de las tuberías, lleva consigo la energía térmica a donde será utilizada.

El rendimiento de los colectores aumenta mientras menor sea la temperatura de trabajo, debido a que, mientras mayor sea temperatura del recinto, mayores serán las pérdidas por transmisión a través de la cubierta y mientras más caliente esté la placa captadora, la radiación emitida tendrá longitud de onda más corta. También, bajará su rendimiento cuanto menor sea la temperatura exterior, pues las pérdidas por trasmisión serán mayores.

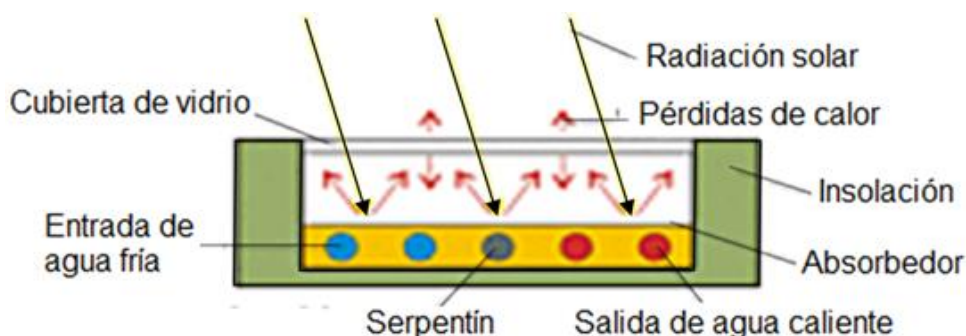


Fig. 1.20. Funcionamiento de la cubierta de un colector solar protegido [21].

Colectores planos no protegidos: tienen menor costo que los colectores planos protegidos por tener menor costo en su fabricación y en los materiales utilizados. Llamados no protegidos debido a que se elimina la cubierta, dejando la placa captadora expuesta al exterior (ver Fig. 1.21).

Conceptualmente, una simple manguera en espiral o en “zig-zag” y pintada de negro es, en esencia, un colector solar plano no protegido. Debido a su bajo rendimiento, los sistemas sin cubierta transparente, necesitan una superficie más grande o más de un colector para obtener una temperatura aceptable en el fluido caloportador. Este inconveniente es compensado por su bajo costo.

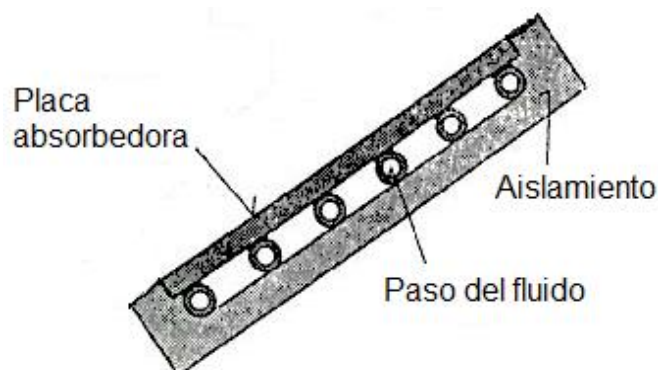


Fig. 1.21. Esquema de un colector solar plano no protegido.

1.3.1.2. COLECTORES SOLARES DE TUBOS DE VACÍO

Los colectores por tubos de vacío reducen las pérdidas de energía térmica y la superficie captadora. El tubo captador está instalado al interior de los tubos al vacío, por lo que se tiene poca pérdida calorífica por convección. Los paneles se forman con varios tubos configurados en una estructura tipo “peine”.

Los sistemas de captación por tubos de vacío permiten una variación de unos 20° sobre la inclinación ideal sin pérdida significativa de rendimiento. Esto permite que se adapten mejor a aquellos casos en los que no es posible una instalación con inclinación o dirección óptima, y donde los colectores solares planos tendrían muy poco rendimiento. Esta propiedad hace que los colectores de tubos de vacío puedan integrarse aún mejor en la arquitectura [23].

Un panel de tubos de vacío puede ser hasta 196% más eficiente que los captadores planos tradicionales, debido a que, por su forma cilíndrica, reciben los rayos solares perpendicularmente.

Existen tres sistemas de tubos de vacío:

- a) Flujo directo: conformado por tubos concéntricos con un espacio al vacío (presión de 0.003 atm). A la superficie exterior del tubo interno se le aplica recubrimiento selectivo, y el fluido está en contacto con la superficie interior.

- b) Flujo indirecto o Heat-Pipe: la energía radiante evapora un líquido en el tubo de cobre, que transmite su energía al condensarse en el extremo (ver Fig. 1.22).
- c) Flujo indirecto sin Heat-Pipe: funciona igual que el anterior con la diferencia que es construido con cristal de borosilicato sin la utilización de cobre, disminuyendo su costo y, además, se aumenta el rendimiento un 30% con respecto a los Heat-Pipe.

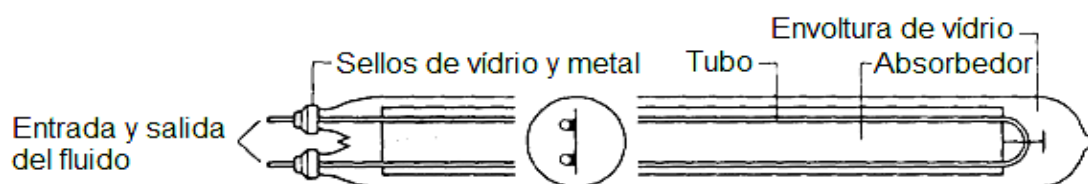


Fig. 1.22. Tubo de vacío de un sistema de flujo indirecto [1].

1.3.1.3. CONCENTRADORES PARABÓLICOS

Un concentrador solar proyecta los rayos solares un área reducida aumentando la intensidad de la energía térmica. Los concentradores enfocan la luz solar por medio de un arreglo de espejos orientados hacia un punto o serie de puntos, en el cual se coloca un elemento que capta la energía para su aprovechamiento (ver Fig. 1.23).

En el foco de un concentrador parabólico tipo cilíndrico se coloca un conducto por donde pasa el fluido caloportador. La temperatura que alcanza el fluido depende de la longitud de exposición, el área de captación solar y la irradiancia. Dicho fluido puede alcanzar temperaturas de hasta 300 °C. La energía transportada a través de conductos puede utilizarse para calentar una caldera y producir vapor para diferentes procesos.

Un cono parabólico sirve para concentrar los rayos solares en área muy reducida, que es el principio básico de las cocinas solares (ver Fig. 1.22). Este arreglo permite generar temperaturas alrededor de los 650 °C.

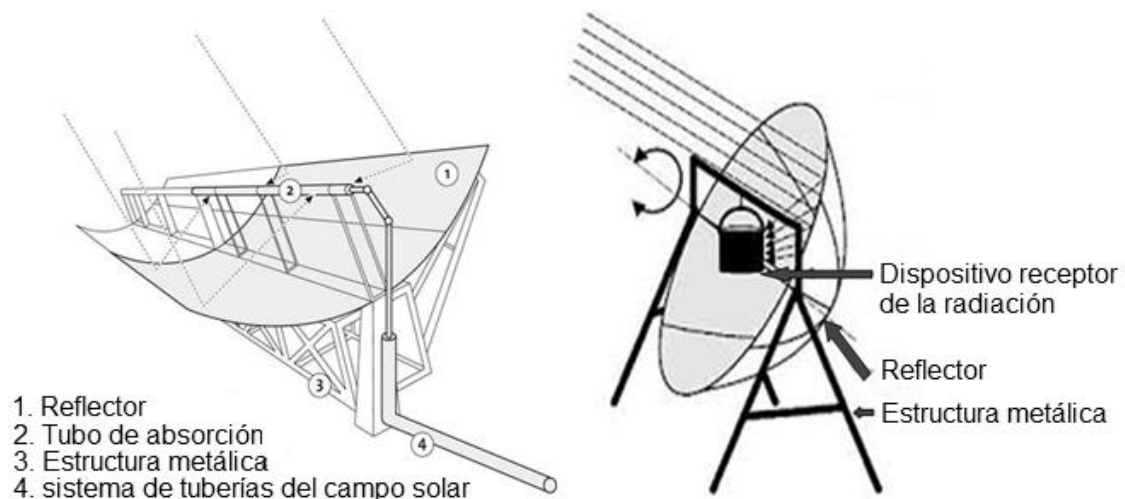


Fig. 1.23. Concentradores solares parabólicos. Izq.: Tipo cilíndrico, Der.: Tipo cónico.

1.3.2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Las instalaciones solares térmicas están compuestas por diferentes dispositivos que se encargan, en conjunto, de transmitir el calor para la aplicación final. En las instalaciones solares térmicas se identifican los siguientes subsistemas [2]:

- Subsistema de captación de calor, encargado de recibir la energía del sol y transmitirla al fluido caloportador.
- Subsistema de acumulación e intercambio de calor, donde se transmite y almacena el calor proporcionado por el sistema de captación. El intercambiador de calor puede estar integrado al acumulador o por separado.
- Subsistema de apoyo, encargado de mantener el aporte de calor durante los periodos donde no se produce suficiente calor por energía solar térmica, generalmente, una instalación a gas o electricidad.
- Elementos auxiliares, para el correcto funcionamiento del circuito de captación y distribución térmica.

1.3.2.1. CONVERTIDOR

En los colectores la radiación alcanza a la placa absorbente y a un conducto a través del cual fluye aire o líquido (se dimensionan diferente dependiendo del fluido a utilizar).

En los colectores que utilizan líquido como fluido caloportador, el convertidor se constituye por una placa plana en la que se insertan una serie de tubos por los que circula el líquido (ver Fig. 1.24). Cuando la placa se calienta, el calor se transmite al fluido que circula por los conductos. La trayectoria que sigue el calor hasta llegar al fluido caloportador debe ser lo más corta posible y tener la menor resistencia posible. El fluido caloportador debe estar en contacto con la placa colectora para que el calor se transfiera sin mayor resistencia. El calor se transfiere por conducción debido al gradiente de temperaturas, siguiendo la trayectoria a través de la placa colectora hasta alcanzar el punto de unión de la placa con los tubos; dicha unión debe tener continuidad metálica, normalmente por soldadura, para disminuir la resistencia al paso del calor.

Generalmente, los materiales utilizados para construir la placa y sus conductos son el cobre y el acero inoxidable. En los colectores con fluido caloportador aire puede no ser necesario insertar conductos porque el fluido térmico circula por el espacio comprendido entre la placa plana y la cubierta.

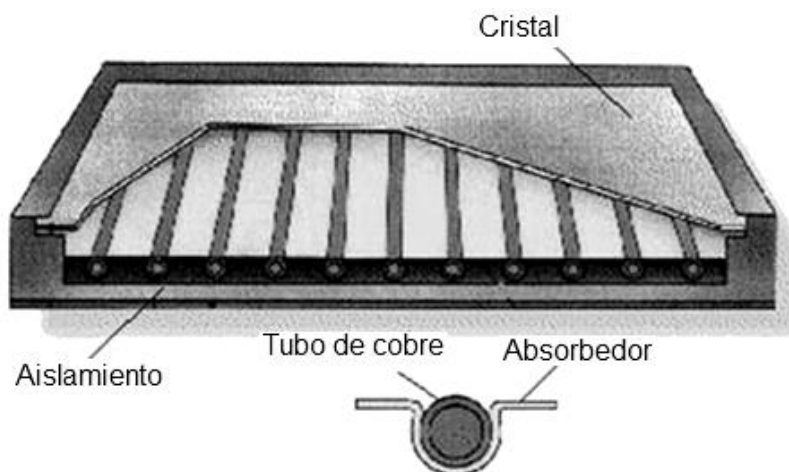


Fig. 1.24. Composición de un colector solar plano [22].

Si el fluido circula por una trayectoria única se le denomina en serie (ver Fig. 1.25). Los conductos están en paralelo si existe uno de entrada y otro de salida que se conectan con otra serie de conductos que circulan por la placa (ver Fig. 1.26).

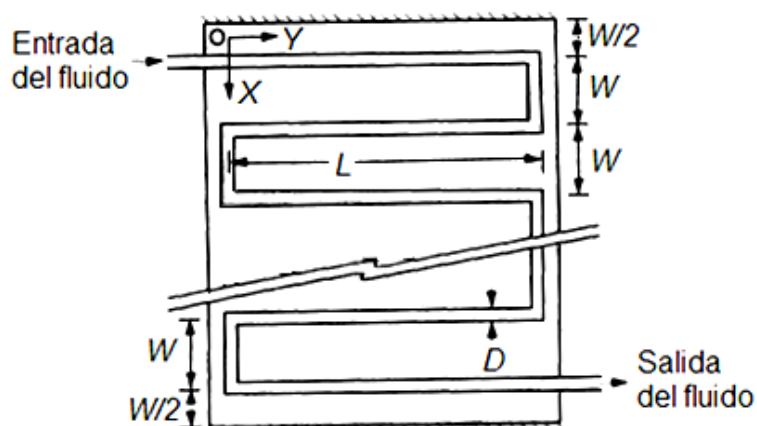


Fig. 1.25. Colector solar con tuberías en Serie o de serpiente [1].

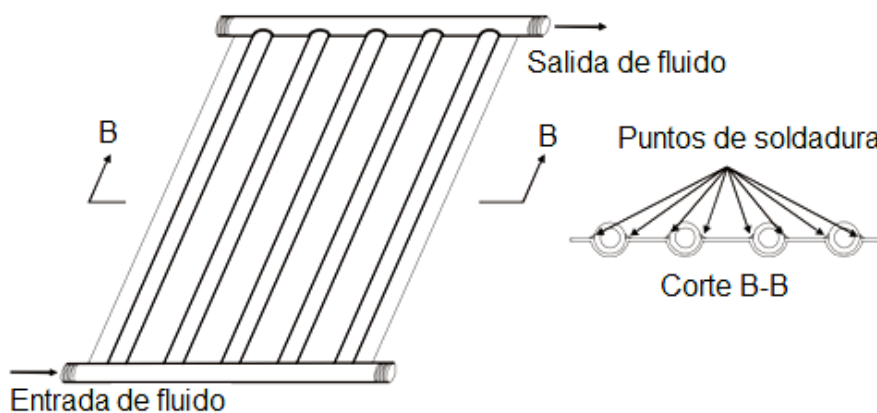


Fig. 1.26. Colector solar con tuberías en paralelo [7].

El cuerpo que, idealmente, absorbe más radiación es el cuerpo negro, por lo tanto, es conveniente que la placa colectora se comporte como tal. Esto se logra un recubrimiento selectivo aplicado al convertidor. Los recubrimientos selectivos suelen estar formados por una capa delgada de óxido metálico de color negro, con baja emisividad de radiación térmica y alto coeficiente de

absorción. La superficie selectiva con mejores resultados se ha desarrollado depositando una capa de níquel sobre el absorbedor y sobre ésta una capa muy fina de óxido de cromo. El coeficiente de absorción de las superficies selectivas ronda el 0.95 y el de emisividad 0.1.

1.3.2.2. CIRCUITO DE FLUIDO TÉRMICO

El circuito de fluido térmico es la trayectoria que sigue el fluido a través de la tubería que lo conduce. En cuanto a la generación de agua caliente sanitaria, hay dos tipos de instalaciones [23]:

- De circuito abierto

El agua de consumo pasa directamente por los colectores solares. Este sistema reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando), pero presenta problemas en regiones con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas donde el agua de la red tiene alta concentración de sales que obstruyen los paneles. También, se tienen inconvenientes para emplear materiales que no contaminen el agua, el riesgo de vaporización y congelación, el funcionamiento a la presión de la red con peligro en los colectores, no poder emplear anticongelante (para regiones extremadamente frías), mayor riesgo de corrosión (oxígeno en el agua), posibles incrustaciones calcáreas, entre otras.

- De circuito cerrado

El agua de consumo no pasa directamente por los colectores solares. Se utiliza un líquido caloportador que recorre los tubos dentro de los colectores donde se calienta, luego recorre el circuito hidráulico primario hasta llegar al acumulador, en el interior del cual se produce un intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, es decir, entre el líquido caloportador y el agua de consumo. En caso de que el agua contenida en el acumulador no alcance la temperatura requerida, automáticamente entra en funcionamiento el subsistema

auxiliar (caldera de gas o resistencia eléctrica), que se encarga de generar el calor complementario.

Los sistemas también pueden clasificarse por el tipo de circulación del fluido. Así, la circulación del fluido se consigue por [23]:

- Circulación natural o sistema termosifónico

En este sistema el depósito debe colocarse a una altura superior a los colectores (mayor que 30 cm) para permitir la convección por diferencia de temperatura entre el colector y el acumulador. Para evitar el riesgo de temperaturas elevadas en el depósito este se diseña con volúmenes mayores de 70 litros por metro cuadrado de colector. La conveniencia de este sistema radica en el aspecto económico y de simplicidad de instalación, porque los equipos termosifónicos funcionan sin bomba, por ende, no consumen energía eléctrica. Esta característica ayuda a disminuir el consumo energético y convierte a los equipos en autónomos, encontrando aplicación en lugares remotos donde no llega la red eléctrica. Las inconveniencias son de carácter estético y de resistencia del techo, porque el acumulador, obligadamente debe instalarse por encima del nivel de los colectores. También, la circulación natural reduce el rendimiento del sistema.

- Circulación forzada o sistema con electrocirculador

Esta instalación necesita una bomba para hacer circular el fluido caloportador por la trayectoria del circuito. Los factores positivos de este sistema son de carácter estético y de rendimiento del sistema. Es posible colocar el acumulador en el interior de la vivienda, por lo que el tejado no tiene que soportar el peso del acumulador (entre 300 y 500 kg). La circulación forzada posee un rendimiento superior al de un sistema de circulación natural, porque el fluido caloportador con aditivos circula de manera más rápida que el agua. Las inconveniencias radican en las necesidades de energía eléctrica y de regulación y control de la circulación. Cuando el intercambiador está a una altura inferior a los colectores, el electrocirculador es necesario. Además, se debe incluir una válvula antirretorno para evitar el efecto termosifónico nocturno.

Además, la inversión inicial es más alta y también el sistema gasta energía para el funcionamiento de la bomba. Sin embargo, este uso de energía es compensado por una mayor producción de agua caliente comparada con el sistema termosifón [23].

1.3.2.3. AISLAMIENTO TÉRMICO

Debido a la diferencia de temperatura entre el recinto del colector y el ambiente, existe una transferencia de calor a la atmósfera. La emisión de la radiación por parte de la placa colectora reducida por la cubierta. Para reducir la pérdida de calor por la parte posterior se usa capa de aislamiento térmico, de 4 o 5 cm de espesor. Las propiedades físicas que debe tener un buen aislante son: baja conductividad térmica, alta densidad aparente, buen comportamiento ante la humedad, estabilidad térmica, entre otras. Los conductos suelen calentarse mucho cuando el sistema está parado, por lo que se necesita un aislante que soporte temperaturas de hasta 150°C. El aislante más utilizado es la fibra de vidrio, que resiste altas temperaturas y tiene bajo costo, pero no es eficiente con la humedad.

1.3.2.4. CAJA

La caja es la carcasa del colector solar. Entre sus funciones están las de asegurar la hermeticidad del colector, tanto para evitar fugas de calor como para evitar infiltraciones de humedad en exceso y el contacto con materiales o sustancias contaminantes que puedan corroer los materiales del colector. Cuando hay infiltraciones de humedad la cubierta se empaña (por la condensación de la humedad) disminuyendo la capacidad de transmitir los rayos solares, y con ello afecta el rendimiento del colector.

La caja soporta las condiciones ambientales, tanto por la región de la instalación como por el clima a los que está expuesta, por tanto debe ser duradera y no deteriorarse fácilmente. Los materiales más utilizados para la construcción de las cajas de los colectores son el acero galvanizado con tratamiento de anodizado o madera.

1.3.2.5. CUBIERTA

Los colectores de media y alta temperatura poseen una cubierta transparente que atenúa las pérdidas de calor del convertidor impidiendo el paso de la radiación de longitud de onda larga que emite la placa colectora. Con la instalación de la cubierta, también, se reducen las pérdidas de calor por convección evitando que el aire del exterior esté en contacto con el recinto de la caja.

La disminución de las pérdidas por radiación de la placa colectora se logra aprovechando el fenómeno del efecto invernadero. Este comportamiento consigue crear un ambiente interior, confinado por la caja y la cubierta, que está a mayor temperatura que el ambiente exterior. Cuando la placa colectora se calienta por la exposición a la radiación solar, emite radiación en una longitud de onda mayor, con menor energía, que no deja pasar la cubierta (por característica de este tipo de ondas) y queda atrapada en el espacio confinado. Esta propiedad facilita la transmisión de la radiación solar hacia el interior, mas no así transmisión de la radiación de la placa colectora hacia el exterior. La distancia recomendada entre la placa colectora y la cubierta es de 25 a 40 mm.

Las cubiertas se pueden fabricar de vidrio o de polímeros con características de transparencia, aunque este último material tiene el riesgo de ser dañado por ralladuras y de perder fácilmente sus propiedades ante los rayos ultravioleta. Las ventajas de usar polímeros como cubiertas son su bajo costo y peso ligero.

La absorbencia de los cristales es muy baja. Un cristal de 6mm de espesor puede absorber energía de la radiación solar alrededor del 2%. La transmisión de una cubierta se da en ~88% de la radiación incidente.

Existen colectores de alta temperatura con varias cubiertas instaladas con vacío entre ellas. Con ello se consigue buen rendimiento en regiones con climas extremadamente fríos y vientos intensos.

1.3.2.6. ACUMULADOR O DEPÓSITO DE AGUA CALIENTE

La función del depósito es conservar caliente el agua producida por los colectores solares durante un tiempo limitado, entre 1 y 4 días.

Un depósito debe tener una alta capacidad calorífica, un volumen adecuado, responder de manera rápida a la demanda, integrarse bien en el edificio, ser accesible económicamente y estar fabricado con materiales adecuados para que tenga larga duración.

Los acumuladores suelen tener forma cilíndrica lo cual facilita el fenómeno de estratificación. Se construyen en acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio reforzado y plásticos. El tamaño del depósito deberá ser de 30 a 60 litros por cada metro cuadrado de panel solar en sistemas pequeños [23].

1.3.2.7. BOMBAS O ELECTROCIRCULADORES

Estos elementos facilitan el transporte del fluido caloportador desde los colectores hasta el acumulador y luego, a los puntos de consumo. Son accionados por un motor eléctrico que suministra al fluido la energía necesaria para transportarlo por el circuito hidráulico a una determinada presión.

Hay tres tipos de electrocirculadores centrífugos:

- Rotor sumergido: son silenciosos, requieren un bajo mantenimiento y se montan en línea con la tubería y el eje horizontal.
- Monobloc: con el eje en cualquier posición.

- Acoplamiento motor: electrocirculador de ejes distintos, son más ruidosos.

La pérdida de carga puede aumentar con el paso del tiempo debido a que en las tuberías se producen precipitaciones y corrosión. Por esta razón la bomba que se elige debe estar sobredimensionada adecuadamente.

Las bombas suelen tener varias velocidades y el fabricante lo indica en sus gráficas. Lo recomendable es que se trabaje en una velocidad intermedia para así poder aumentar o disminuir la velocidad, dependiendo de los requerimientos de potencia.

El circuito debe estar precedido de un filtro para evitar la introducción de impurezas procedentes de las soldaduras y del resto de la instalación hasta la llegada a la bomba [23].

1.3.2.8. VÁLVULAS Y OTROS COMPONENTES

Para evitar que el fluido caloportador circule en la dirección opuesta cuando el sistema está apagado, se instala una válvula de paso de sentido único o una electro-válvula. Esta válvula antirretorno evita retrocesos del fluido desde el colector a la bomba causados por la convección natural. Si se escoge una válvula de paso único, es recomendable instalarla en un tramo horizontal de la tubería y nunca en el fondo, ya que partículas de suciedad podrían interferir en el funcionamiento de la válvula. La solución con una válvula electromotriz que se abre en paralelo con el arranque de la bomba, es más segura que una válvula antirretorno.

Otro elemento importante del sistema es el vaso de expansión que absorbe las dilataciones del agua en las instalaciones de ACS. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador (aumento de temperatura), el exceso de volumen entra en el vaso y empuja la membrana. El gas utilizado (nitrógeno, que no oxida ni daña la membrana) se comprime, evitando así variaciones de presión en el circuito.

Las instalaciones, también, disponen de un purgador que extrae el aire que se pueda formar dentro de la tubería, así como de un grifo mezclador a la salida del acumulador para permitir la mezcla de agua fría con la procedente del colector, para evitar el riesgo de quemaduras en momentos en que el colector alcance temperaturas muy elevadas [23].

1.3.2.9. CONCENTRADOR PARABÓLICO

En los Concentradores Cilíndricos Parabólicos (CCP) la construcción de la superficie parabólica es normalmente una lámina de metal pulido o segmentos de espejos configurados en sección parabólica. En la línea focal del colector se instala un conducto que recibe la radiación concentrada y que luego, transmite el calor absorbido al fluido caloportador que circula dentro de él. El fluido se hace circular por medio de electrocircuitadores hacia alguna máquina térmica para utilizarse en un proceso posterior.

Comúnmente los CCP incluyen un sistema de seguimiento solar motorizado. Por característica de este tipo de colectores, deben estar armonizados con el movimiento aparente del sol, cuando su orientación es de norte a sur. Cuando tienen una orientación de este a oeste el ajuste de la orientación puede ser a diario, mas si el concentrador tiene un gran tamaño puede ajustarse dos veces al mes.

1.3.3. APLICACIONES

Los dispositivos de captación de energía solar térmica son parte de sistemas que tienen aplicaciones de interés general. Muchos de estos sistemas están en constante investigación y existen estudios para desarrollar nuevos y más eficientes. Entre algunas de las aplicaciones que son de uso más frecuente se tienen las siguientes:

- a) Preparación de agua caliente para usos sanitarios;
- b) Climatización de piscinas;
- c) Calefacción y frío solar;
- d) Esterilización;
- e) Pasteurización;
- f) Desalinización;
- g) Lavado y secado;
- h) Tintado, entre otras.

Tanto a nivel doméstico como industrial, las instalaciones de energía solar térmica pueden proporcionar entre el 30 y 100% del agua caliente demandada, por lo que aportan mucha energía a los sistemas convencionales de producción de agua caliente. Las instalaciones más populares son las compuestas por equipos domésticos compactos, que incluyen normalmente un depósito de 150 litros de capacidad y dos colectores de $\sim 1 \text{ m}^2$ cada uno. Estos equipos, disponibles tanto con circuito abierto como cerrado, pueden suministrar el 90% de las necesidades de agua caliente anual para una familia de 4 personas, dependiendo de la radiación y el uso de agua que se realice. Cualquiera de estos sistemas de energía solar térmica doméstica evita la emisión de hasta 4.5 toneladas de emisiones de gases nocivos para la atmósfera. El tiempo aproximado de retorno energético (tiempo necesario para ahorrar la energía empleada en fabricar el aparato) es de un año y medio aproximadamente [23].

Para aplicaciones de calefacción de recintos son recomendados los sistemas de baja temperatura, como el suelo radiante. La reducción del consumo obtenida se estima entre un 25-45%, aunque no es viable económicamente dimensionar instalaciones para reducciones de consumo mayores a un 30%. Este problema radica en que la captación y rendimiento de los colectores son menores cuando más se requiere de calefacción. Lo contrario sucede cuando el requerimiento de calefacción es menor. Para la calefacción se puede, también, hacer circular aire a través de colectores diseñados para fluido caloportador gaseoso, proporcionando calefacción directa

aunque con menos eficiencia, debido a la menor capacidad del aire para transportar energía térmica.

El uso de colectores solares térmicos es adecuado para el calentamiento de piscinas. La baja temperatura de trabajo requerida permite el uso de colectores sin cubierta, lo que disminuye el costo inicial así como el impacto ambiental de la instalación. Además, la función de acumulador la cumple la propia agua de la piscina, lo cual disminuye aún más el costo de la instalación.

Están en constante desarrollo las instalaciones de colectores para refrigeración con sistemas de absorción, pues al contrario que en calefacción, los mayores requerimientos de refrigeración coinciden con la mayor captación y mejor rendimiento de los colectores.

1.3.4. RENDIMIENTO DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO Y CONCEPTO DE EFICIENCIA

Un colector solar térmico, como cualquier dispositivo de transformación de energía, recibe o capta una energía y la devuelve solo una parte de esta como energía útil, lo que se conoce como rendimiento del colector solar. Cada dispositivo posee una curva de rendimiento que debe ser suministrada por el fabricante, a modo de ejemplo es la que se presenta en la gráfica de la Fig. 1.27. La curva de rendimiento está definida por la diferencia (ΔT) entre la temperatura ambiente en el que se encuentra instalado el colector T_a y la temperatura del fluido que se calienta dentro del colector T_m y la irradiancia o intensidad I con la que es calentando por el sol en un lugar y tiempo determinado (W/m^2). La construcción de un colector también se vuelve determinante para la mayor o menor captación de energía térmica y junto con los parámetros mencionados define el rendimiento de un colector η , dada por la siguiente ecuación:

$$\eta = b - m(T_m - T_a)/I \quad (1.11)$$

donde:

- b: factor que define la capacidad de ser calentado por el sol
- m: factor que define la capacidad de perder el calor captado.

En una curva de rendimiento, a medida que se desplaza hacia la derecha, se empeoran las condiciones de trabajo y por tanto, existe menor rendimiento del colector. Los valores b y m ya están dados para un colector y son fijos, asimismo para la irradiancia que corresponde al lugar de instalación y la temperatura requerida del fluido; pero el factor temperatura ambiente puede variar de acuerdo al lugar de instalación y al clima, y mientras menor sea menos rendimiento tendrá el colector. Lo mismo ocurre cuando se tiene menos irradiancia solar.

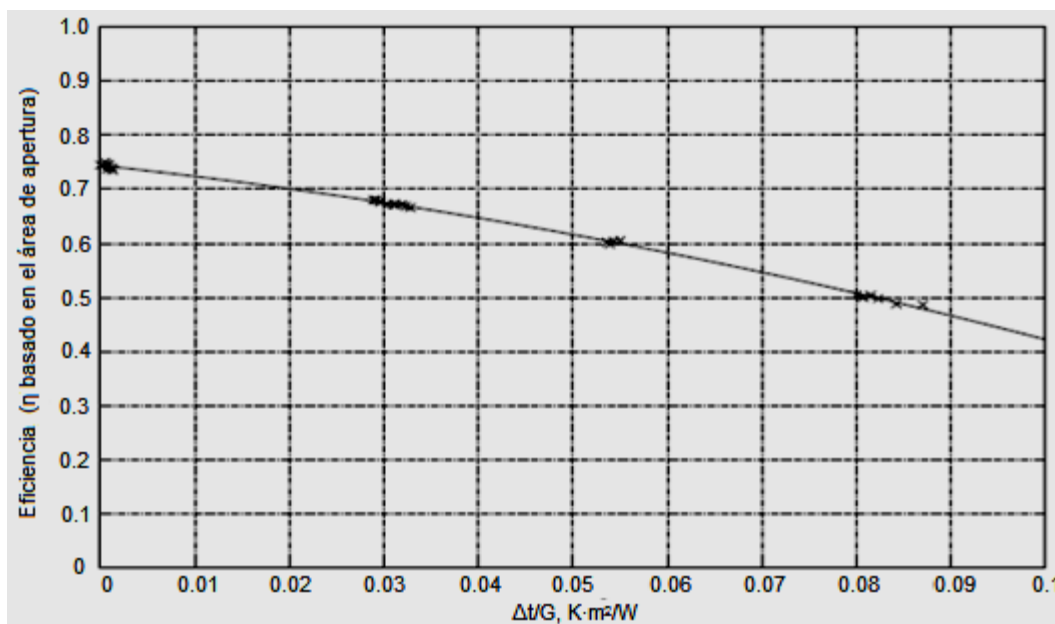


Fig. 1.27. Curva de rendimiento de un colector solar de placas planas.

2. PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO COMO LABORATORIO EXPERIMENTAL

El siguiente capítulo estará dedicado a la descripción de las características físicas y técnicas de equipo solar de medición y aprovechamiento de la energía solar térmica, espacio y ubicación de una propuesta de planta piloto; además, la descripción las herramientas de uso general de la planta piloto para integrar un laboratorio de estudio e investigación de la energía solar térmica.

2.1. USO DE LA PLANTA PILOTO

La propuesta de diseño de la planta piloto está adecuada para usos académicos y de investigación y fortalecimiento de conocimientos. La planta piloto puede tener acceso de estudiantes y visitantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Los usos a los cuales la Planta piloto puede ser sometida son:

- Instrucción de estudiantes, visitantes y demás interesados, en aspectos relacionados al aprovechamiento de energía solar térmica desde un enfoque teórico-práctico a través de visitas técnicas.
- Medición de la radiación solar en la región y utilizar la información para fortalecer investigaciones encaminadas al aprovechamiento de energía solar térmica. Hacer comparaciones o colaborar con mediciones hechas por otras entidades en El Salvador.
- Desarrollo de prácticas de laboratorio y proyectos estudiantiles que incluyen, como parte del estudio, el aprovechamiento térmico de la radiación solar.
- Desarrollo de seminarios o cursos concernientes al aprovechamiento de energía solar térmica, auxiliándose de la planta piloto como recurso demostrativo y analítico de resultados.

- Fortalecer o respaldar la teoría de asignaturas que incluyen contenidos relacionados con el calor y comportamiento térmico, y que pueda ser demostrado a través de las herramientas dispuestas en la planta piloto.
- Realizar demostraciones propias de la temática de los efectos térmicos de la radiación solar, sus aplicaciones, características y ventajas a personal proveniente de organizaciones interesadas en la investigación y desarrollo de esta tecnología.
- Desarrollar un modelo para la educación de la sociedad salvadoreña en cuanto a las aplicaciones y manejo de equipos de aprovechamiento térmico de la energía solar, especialmente a población ubicada en zonas rurales y/o marginales.

2.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA QUE COMPONEN LA PLANTA PILOTO

Los dispositivos que se proponen para incluir en la Planta Piloto tienen como característica general la aplicabilidad en El Salvador. Un colector solar es una clase especial de intercambiador térmico que transforma la energía radiante del sol en energía térmica, que en la mayoría de ocasiones se utiliza para calefacción y agua caliente sanitaria, lo cual puede hacer creer que no tiene aplicación en un país tropical. No obstante, se sigue gastando energía eléctrica para calentar agua de consumo sanitario y para climatización de piscinas. Además, una tecnología que se puede aprovechar al máximo en regiones tropicales es el frío o refrigeración con energía solar térmica. Estas aplicaciones, así como los dispositivos de medición de parámetros solares se describen en los apartados siguientes con el fin de constituir una instalación completa para el estudio de este tipo de aprovechamiento energético.

2.2.1. AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

La producción de agua caliente es actualmente la forma más usual de aprovechamiento de la energía solar térmica. La temperatura de la aplicación (40 - 60 °C) es coincidente con la del sistema solar térmico de captadores planos, por lo que el rendimiento es favorable. La demanda de ACS es prácticamente constante a lo largo del año, asegurando el funcionamiento continuo de la instalación y, en consecuencia, una amortización bastante rápida. Su instalación no es complicada, al igual que su funcionamiento, basado en el efecto termosifón, prescindiendo de elementos que pueden averiarse, por lo que el mantenimiento es casi nulo y la vida útil de estos sistemas es superior a los 20 años, siendo muy pocas las averías que se registran.

La transmisión de energía solar al agua del acumulador se lleva a cabo mediante la circulación del fluido contenido en el circuito primario; el mismo se calienta cuando el agua pasa a través de este.

Para que haya un eficiente funcionamiento, los colectores deben orientarse al Sur, inclinados $\sim 45^\circ$ respecto de la horizontal y fijados mediante una estructura de acero protegida con recubrimiento contrala corrosión.

Una instalación básica de ACS se compone del conjunto de captación, el conjunto de intercambio, acumulación y elementos auxiliares como válvula antirretorno, vaso de expansión, de llenado, de seguridad, entre otros (Fig. 2.1).

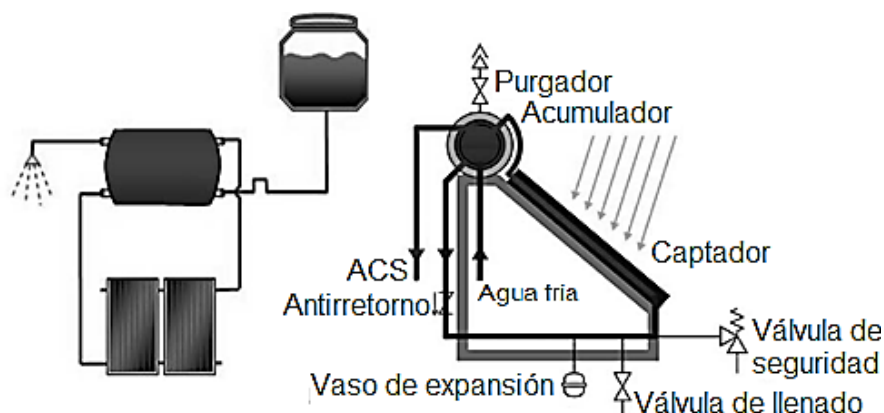


Fig. 2.1. Esquema básico de ACS por efecto termosifónico [4].

- Justificación del dispositivo de ACS como parte del estudio de la energía solar térmica

Actualmente la captación de energía solar para el calentamiento de agua sanitaria es la aplicación más popular del aprovechamiento de la energía térmica del sol, por tanto es necesario que en la planta piloto se incluya un sistema ACS para la investigación de su funcionamiento en la región, su aplicación práctica, sus ventajas particulares, la relación beneficio-costos energético, impacto visual o arquitectónico, estudio de aceptación y/o necesidad de ACS en la población universitaria, estudio del régimen de producción vs demanda para un sistema de ACS, entre otros. Este tipo de sistemas no requieren conexión eléctrica y su mantenimiento es mínimo con respecto a otros sistemas de calefacción de agua y por tanto puede ser instalado en zonas donde no se posee servicio de energía eléctrica de la red. También, se puede mencionar que el agua caliente se almacena en un depósito que reduce las pérdidas de calor durante la noche, desde allí que se tiene la ventaja de estar frente a un sistema que funciona constantemente, siempre y cuando la demanda de agua caliente esté dentro del rango de producción del sistema.

- Dispositivo de agua caliente sanitaria a utilizar.

El captador solar para ACS que se propone incluir en la planta piloto se describe a continuación:

- Marca: Gasokol
- Modelo: sunnySol-V
- Dimensiones: 2,100x1,070x85 mm, superficie total: 2.25 m²
- Superficie de entrada de luz: 2.02 m²
- Superficie absorbente: 2.02 m²
- Precio: \$717.22

La gráfica de rendimiento del colector se muestra en la Fig. 2.2, la ficha técnica se presenta en el AnexoA-1, y el bastidor sobre el cual estará montado el colector solar térmico se presenta en el AnexoA-2.

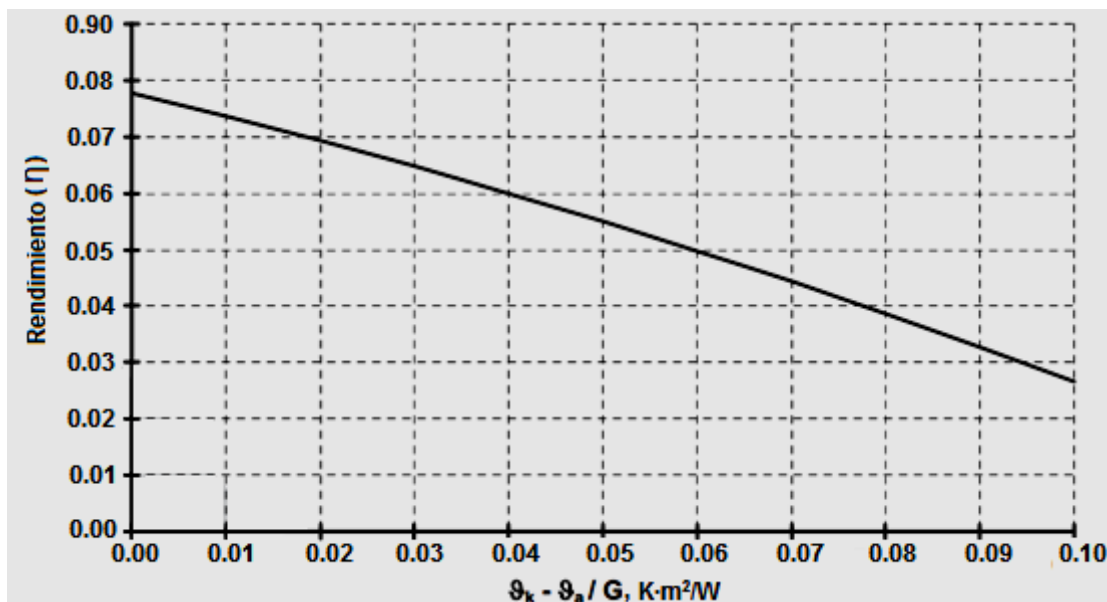


Fig. 2.2. Curva de rendimiento del colector sunnySol-V.

2.2.2. CALEFACCIÓN Y FRÍO SOLAR

La propuesta de planta piloto como laboratorio experimental incluye un sistema de calefacción y frío solar. El frío solar es una aplicación que se proyecta a ser desarrollada y utilizada con gran aceptación en zonas consideradas calientes y que deben ser climatizadas, como es el caso de El Salvador; sin embargo, para el completo estudio del sistema se describe, también, el sistema de calefacción solar.

- Calefacción por energía térmica solar

Mediante colectores, se aprovecha el calor del sol para utilizarse directamente en el circuito de calefacción o para servir de apoyo y disminuir el consumo energético. Los sistemas de calefacción solar incluyen un acumulador de agua caliente con doble serpentín para intercambio de calor. Por un serpentín fluye el fluido caloportador y por el otro el agua caliente para uso de la caldera. Si la energía térmica de los colectores es suficiente, la caldera (de gas o electricidad) deja de funcionar; de otro modo cubre la necesidad activándose.

- Enfriamiento con energía térmica solar

El aire acondicionado y refrigeración solar se realizan por compresión térmica, proceso que consume básicamente agua caliente (ver Fig. 2.3).

Según su funcionamiento los sistemas de calefacción y frío solar pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Ciclo Abierto: deshumidifican el aire y le proporcionan la temperatura adecuada. La deshumidificación se logra mediante un rotor con material desecante como gel de silicio o con desecantes líquidos. La regeneración de la unidad de absorción/adsorción es conseguida mediante el calor solar.
- Ciclo Cerrado: utiliza desecante evaporativo, según el proceso de adsorción o absorción.
 - Adsorción: precisa desecantes sólidos, como gel de silicio o zeolita. Utiliza agua como refrigerante. La temperatura de la fuente caliente puede ser inferior a la de las máquinas de absorción (a partir de 55 °C). Esto permite el uso de captadores planos.
 - Absorción: precisa desecantes líquidos, como bromuro de litio. Utiliza agua como refrigerante. También agua como desecante y amoníaco como refrigerante, en cuyo caso se pueden alcanzar temperaturas incluso bajo cero, si bien tiene el gran inconveniente de la toxicidad del componente. Pueden funcionar con agua caliente a partir de 80 °C.

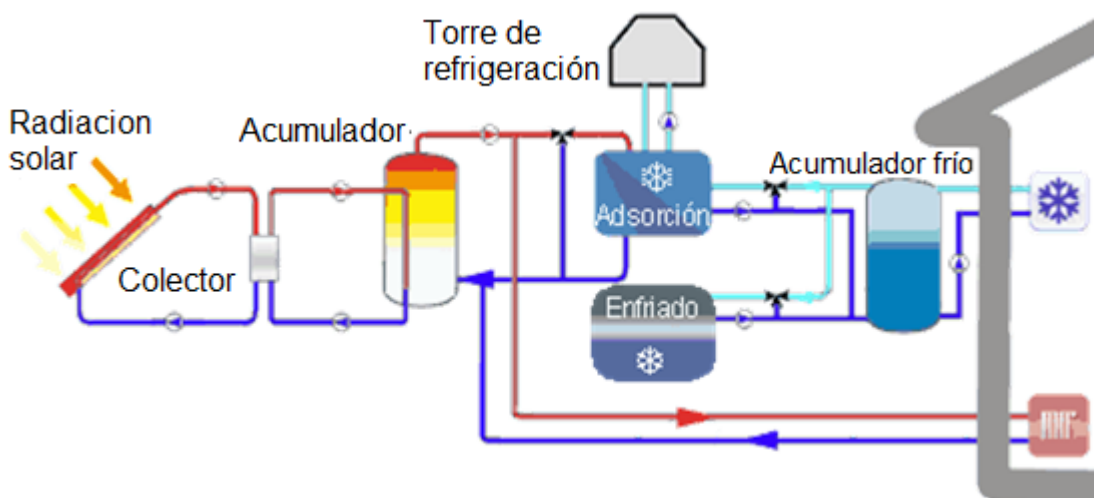


Fig. 2.3. Esquema de un circuito para aire acondicionado con energía solar.

- Justificación del sistema de calefacción y enfriamiento solar como parte del estudio de la energía solar térmica

El Salvador es relativamente caliente durante casi todo el año, por tanto un sistema de aire acondicionado y/o refrigeración para una región como ésta es, más que un lujo, una necesidad de confort y salubridad de un ambiente o espacio donde se encuentren concentradas muchas personas, o pocas personas en espacios confinados donde se tengan que realizar actividades prolongadas o permanentes, o incluso en el hogar donde se busca tener el ambiente más propicio para descansar o realizar actividades cotidianas confortables. Para el caso de la refrigeración es sabido que existen ciertos alimentos que necesitan ser refrigerados para su consumo posterior. Sin embargo, las condiciones energéticas y económicas en El Salvador impiden que la mayoría de la población posea un sistema de aire acondicionado y que el sistema de refrigeración asigne un costo adicional en la factura de energía eléctrica. Por tanto, el estudio del rendimiento de un sistema de acondicionamiento de aire y refrigeración con alimentación energética solar debe ser exhaustivo. La planta piloto tendrá, entonces, a través de un dispositivo para frío solar, una ventaja en cuanto al análisis energético de un sistema que se alimenta con energía gratuita, se podrá estudiar su rendimiento, su capacidad de enfriamiento en ésta región y su mejoramiento o innovación. Además se podrá promover su utilización en la industria de El Salvador para motivación de inversores nacionales a fin de comenzar un desarrollo de esta aplicación del aprovechamiento de energía solar térmica, así como la promoción de su uso dentro de la Universidad de El Salvador.

- Dispositivo de frío solar a utilizar

El equipo de frío solar que se pretende incluir en la planta piloto se describe a continuación:

- Marca: Gasokol
- Modelo: coolySun-7.5
- Dimensiones: 2,000x1,145x950 mm

- Precio: \$ 20,665.01

En la Tabla 2.1 se describen las características de los elementos que componen el sistema de acondicionamiento por energía solar térmica. El Anexo A-3 muestra las especificaciones técnicas de dicho sistema.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas del dispositivo collySun 7.5

Kit de refrigeración coolySun 7.5	
Elemento	Descripción
Captadores	12 uds. sunnySol UP con bastidor de montaje
Área útil de captador, m ²	24.12
Máquina de adsorción	coolySun AD 8-1
Torre de refrigeración	coolyBack CC 8-1.
Acumulador inercial	Un acumulador inercial accuHeat PSM1500 litros.
Accesorios:	Grupo de estratificación para acumulador inercial, vaso de expansión, regulación para tres circuitos y bombas para circuito de agua de refrigeración.

2.2.3. CONCENTRADOR CILÍNDRICO PARABÓLICO

Los CCP son captadores concentradores solares de foco lineal que transforman la radiación solar directa en energía térmica, gracias al calentamiento de un fluido de trabajo que puede llegar hasta los 400 °C en casos muy favorables. Por tanto, están englobados dentro de los colectores solares de media temperatura.

Un concentrador solar cilíndrico parabólico se compone de los siguientes partes:

- a) El Reflector Cilíndrico Parabólico: su misión es la de reflejar y concentrar sobre el Receptor la radiación solar directa incidente sobre la superficie. A grandes rasgos es un espejo curvo que forma en una de sus dimensiones una parábola, de forma que concentra sobre su línea focal toda la radiación reflejada. Entre los materiales usados para la reflexión, encontramos plásticos recubiertos con películas de plata o aluminio, chapas metálicas, o el

más usado: vidrios sobre los que se depositan una capa de plata junto con un protector de base de cobre y pintura epoxi.

- b) El tubo de absorción o Receptor: es un elemento fundamental en un CCP, pues el rendimiento global del colector depende en gran parte de la calidad termodinámica del absorbente. Puede constar de un solo tubo o de dos tubos concéntricos. En este último caso, el tubo interior es metálico de elevada absorptividad ($>90\%$) y de baja emisividad ($<30\%$) en el espectro infrarrojo, lo que se traduce en un elevado rendimiento térmico. Por otro lado, el tubo exterior es de cristal y tiene el objetivo de reducir las pérdidas térmicas por convección del tubo metálico, así como de protegerlo frente a las condiciones meteorológicas adversas. Ambos tubos suelen llevar un tratamiento para aumentar la transmisividad de la radiación solar, lo que causa un aumento del rendimiento óptico del colector.
- c) El Sistema de Seguimiento Solar: El seguimiento del Sol se hace con el objetivo de aprovechar la mayor parte de horas posibles de luz, de forma que la radiación solar llegue lo más perpendicularmente posible al colector y se mantengan en el foco lineal continuamente (ver Fig. 2.4). Los CCP's pueden tener seguimiento a dos ejes o a un único eje. Normalmente el seguimiento se realiza a un eje pues mecánicamente es más sencillo, esto implica menos costos y menores pérdidas térmicas por no haber tuberías pasivas. La orientación puede ser Norte-Sur o Este-Oeste. Los mecanismos de accionamiento que mueven al colector pueden ser eléctricos (apropiado para equipos pequeños), hidráulicos (para lazos de colectores) y mecánicos (reloj de pesas).

Este tipo de colectores tienen una eficiencia termodinámica muy buena en comparación con otros, y es por ello por lo que se usan en algunos procesos industriales como en la producción de acetona, el procesado de residuos, en la industria láctea, así como en la producción de electricidad, donde existe gran madurez en investigación. Aun así, una de las mayores desventajas de este diseño de colector es que sólo hace uso de la radiación directa, siendo incapaz de captar la radiación difusa. Por culpa de ello, los costos se incrementan, pues

es necesario instalar un sistema de seguimiento solar que necesita un aporte secundario de energía.

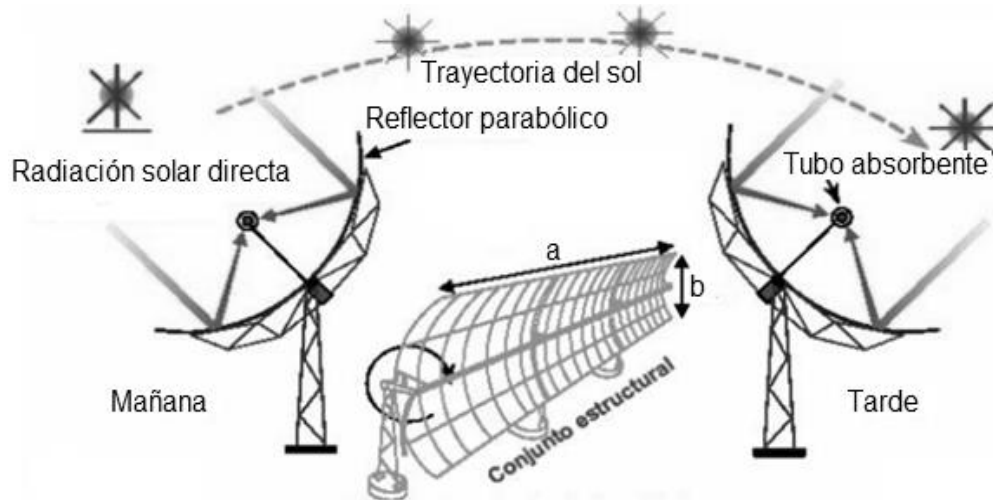


Fig. 2.4. Objetivo del sistema de seguimiento solar. El colector rota alrededor del eje de seguimiento.

- Justificación del concentrador cilíndrico parabólico como parte del estudio de la energía solar térmica

Un equipo de colector solar cilindro parabólico permitiría ensayos de orientación de los dispositivos, conocimientos técnicos acerca de los sistemas de seguimiento, investigaciones para la aplicación del calor generado en el concentrador, incluso innovaciones en los sistemas de seguimiento. También se tendría el potencial de ensayos de balances energéticos en un sistema de generación de vapor con energía solar térmica.

- Dispositivo de concentración parabólico solar a utilizar

El equipo concentrador cilíndrico parabólico que se pretende incluir en la planta piloto se describe a continuación:

- Marca: Tengen
- Modelo: Colector múltiple CS1-2
- Precio: \$1,475.00

En la Fig. 2.5 se muestra una imagen de construcción real del concentrador solar TenGen, y sus características técnicas se describen en la Tabla 2.2.



Fig. 2.5. Colector solar Tengen CS1-2.

Tabla 2.2. Especificaciones técnicas del colector solar CS1.2

Características técnicas del concentrador solar parabólico Tengen CS1-2	
Descripción	Magnitud
Estructura	Concentrador Cilindro parabólico.
Cubierta de reflexión	Vidrio en espejo.
Reflexión, %	95
Sistema de seguimiento	Sensores de luz.
Área de exposición a la radiación, m ²	1.9
Tubo de absorción (OD), mm	58
Relación de la concentración	17
Precisión de seguimiento, Grados	±1
Temperatura máxima de trabajo, °C	200
Temperatura normal de trabajo, °C	110 – 160
Eficiencia, %	45 - 65
Peso neto, kg	25
Dimensiones del Módulo LxAxH, mm	2,000x1,000x300
Tubo de absorción DIM Lxφ, mm	2,000x70

Características:

- La cubierta reflectora del colector cilindro-parabólicos está hecha de vidrio de borosilicato que tiene alta reflectividad de más de 95%.
- Es apto para ser utilizado a alta temperatura en un sistema solar térmico.

El precio de \$1,475 incluye 3 colectores, tubería, bastidores, rastreador del sol y controlador.

2.2.4. COCINAS SOLARES

Las cocinas solares son artefactos que permiten cocinar alimentos usando el Sol como fuente de energía (ver Fig. 2.6). Se dividen en dos familias:

- De concentración: se basan en concentración de la radiación solar en un punto, típicamente a través de un reflector parabólico. En dicho punto se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Al funcionar de manera semejante a una cocina de gas alcanzando altas temperaturas, es necesario que el usuario tenga los debidos cuidados y usar el tipo de protección necesarios.

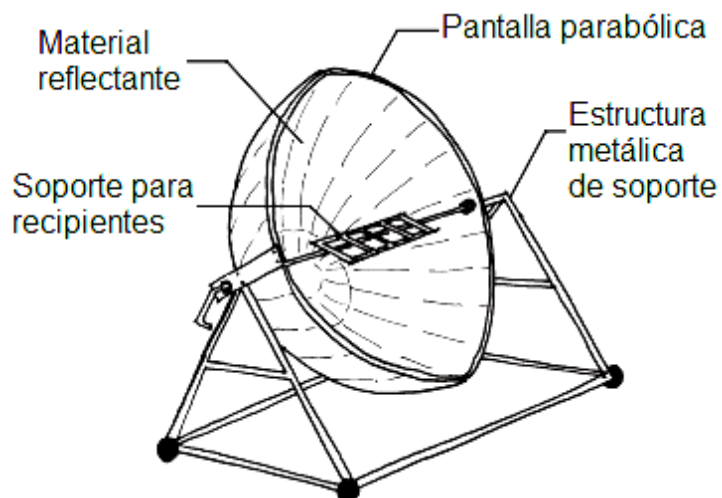


Fig. 2.6. Cocina solar de Disco Parabólico.

- De horno o de caja. Es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior (ver Fig. 2.7). Los materiales generalmente son de baja conducción de calor, lo que reduce el riesgo de quemaduras a los usuarios y evita la posibilidad de incendio tanto de la cocina como en el lugar en el que se utiliza. Además, los alimentos no se queman conservando así su sabor y valor nutritivo.

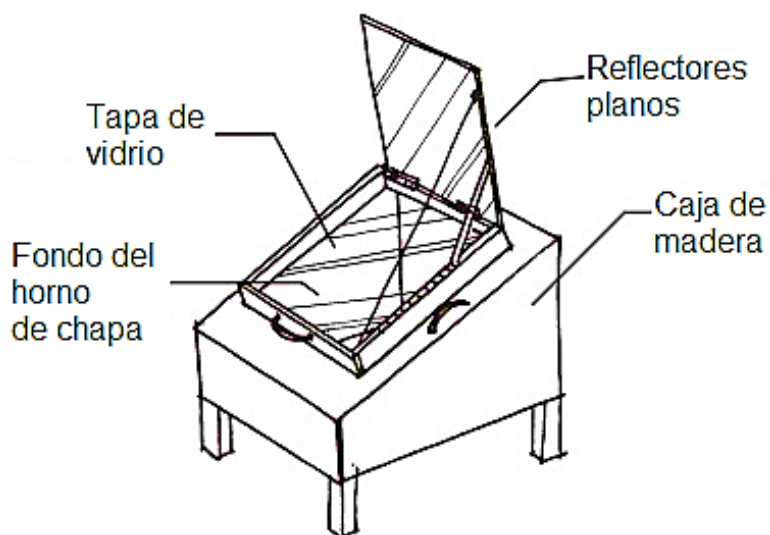


Fig. 2.7. Cocina solar de caja u horno solar.

El funcionamiento de un horno solar (cocina solar tipo caja) se basa principalmente en algunos principios físicos:

- Efecto invernadero: permite aumentar el calor dentro del horno. Es el resultado del calor en espacios cerrados en los que el sol incide a través de un material transparente como el cristal o el plástico. La luz visible pasa fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales que estén en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida principalmente por los metales se convierte en energía calorífica, la cual tiene una mayor longitud de onda. La mayoría de esta energía radiante, a causa de esta mayor longitud de onda, no puede atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado. La luz reflejada, o

se absorbe por los otros materiales en el espacio o atraviesa el cristal si no cambia su longitud de onda.

- Reflectores: cuanta mayor cantidad de luz solar entre por la caja, mayor será la cantidad de energía dentro de ella, es por esto que generalmente se usan reflectores externos para aumentar la cantidad de luz solar incidente.
- Pérdidas: el calor dentro de una cocina solar se pierde fundamentalmente por conducción, radiación y convección. El calor dentro de una cocina solar se pierde cuando viaja a través de las moléculas de todo el material de la caja hacia el aire fuera de la caja. Es por esto, que en todo diseño tradicional de un horno solar se usa un material llamado aislante térmico. Por convección las moléculas de aire pueden entrar y salir de la caja a través de huecos o imperfecciones en la construcción, o al abrir la puerta; así, el aire caliente escapa del horno. Es por esto que si se quiere reducir las pérdidas de calor por este fenómeno se debe de fabricar un horno hermético y abrir la puerta lo menos posible.
- Almacenaje de calor: cuando la densidad y el peso de los materiales dentro del armazón aislado de la cocina solar aumenta, la capacidad de la caja de mantener el calor se incrementa. Si en el horno son introducidos metales, cazuelas pesadas, agua o comida dura que tarda mucho tiempo en calentarse, la energía entrante se almacena como calor en estos materiales pesados, retardando que el aire de la caja se caliente.
- Volumen de la caja: siendo todo igual, cuanto más grande sea el área de acumulación solar de la caja en relación al área de pérdida de calor de la misma, tanta más alta será la temperatura de cocción. Dadas dos cajas que tengan áreas de acumulación solar de igual tamaño y proporción, aquella de menor profundidad será más caliente porque tiene menos área de pérdida de calor.
- Justificación de la cocina solar como parte del estudio de la energía solar térmica

En El Salvador se tiene que una gran parte de la población utiliza gas propano para la cocción de alimentos, pero una gran parte de la población

salvadoreña aún utiliza la leña como combustible principal para la preparación de alimentos. Esto significa que la salud de las personas se deteriora más rápido y además, se contamina el ambiente. No obstante, se tiene la ventaja que se posee luz solar durante una buena parte del día y con intensidad suficiente, pero muy pocas personas conocen la aplicación de energía solar térmica para la cocción de alimentos. Este dispositivo pondría a la Facultad de Ingeniería en una posición de compromiso de promover y desarrollar programas de educación para personas en las zonas rurales las cuales podrían sustituir la leña por la cocina solar. Esto, no olvidando la investigación constante dentro de la planta piloto para pruebas o técnicas de utilización de este dispositivo.

- Dispositivo cocina solar a utilizar

El equipo de cocina solar que se incluirá en la planta piloto será el que se describe a continuación:

- Marca: alSol.
- Modelo: alSol 1.2
- Precio: \$ 375.42

La cocina alSol 1.2 (Fig. 2.8) emplea, cuando está disponible, la energía térmica del sol para elaborar hasta 7 litros de volumen de alimentos cotidianos. En la Tabla 2.3 se muestran las especificaciones técnicas de la cocina solar.

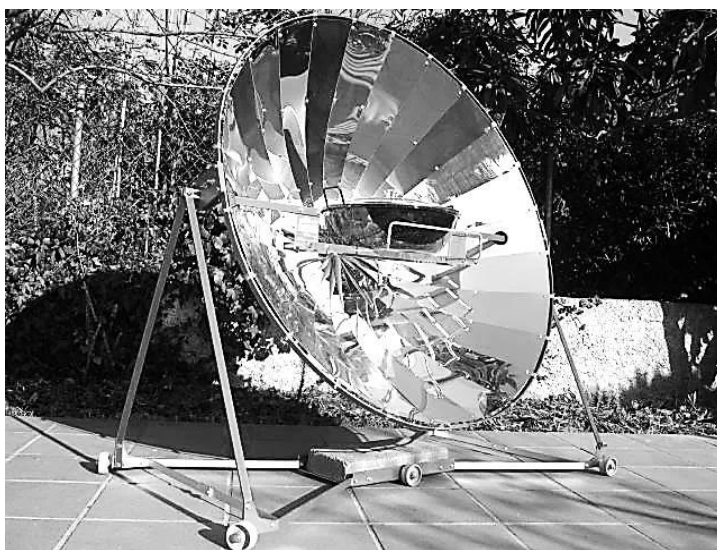


Fig. 2.8. Cocina solar alSol 1.2.

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de cocina solar alSol 1.2

Especificaciones técnicas de la cocina solar alSol 1.2	
Descripción	Magnitud
Diámetro de parábola, m	1.25
Cubierta de reflexión	Vidrio en espejo
Reflexión, %	95
Sistema de seguimiento	Manual
Superficie Captadora m ²	1.3
Diámetro de espacio circular para utilización m	1.5
Potencia captada(con insolación de 1,000 W/m ²), kW	1.3
Tiempo de ebullición 2 litros de agua con insolación de 1,000 W/m ² , min	24
Temperatura máxima de trabajo, °C	200
Eficiencia, %	45 - 65
Peso neto, kg	12
Dimensiones del empaquetamiento, LxAxH, mm	950x350x50
Dimensiones de cocina instalada, LxAxH, mm	1,300x1,300x650

2.3. EQUIPO ADICIONAL

Como parte de una propuesta de expansión de la planta piloto o futuros proyectos de energía solar térmica, se considera un espacio dedicado a la incorporación de componentes como los instrumentos de medición y herramientas que ayudarán al montaje y desmontaje de dispositivos de la planta piloto. Dichos componentes se describen en los apartados siguientes.

2.3.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS SOLARES

Existen distintos instrumentos para medir los parámetros solares entre los que se han considerado los siguientes:

- a) Solarímetro o Piranómetro. Este instrumento mide la radiación solar total.
- b) Heliógrafo. Este instrumento mide la insolación, que son las horas de sol brillante que tiene el día.
- c) Actinómetro o Pirheliómetro. Es el instrumento que mide la radiación directa.

2.3.1.1. PIRANÓMETRO

También llamado Solarímetro, es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra.

El piranómetro se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados. Generalmente, se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio (las partes principales se muestran en la Fig. 2.9). Las mediciones se expresan en kW/m^2 .

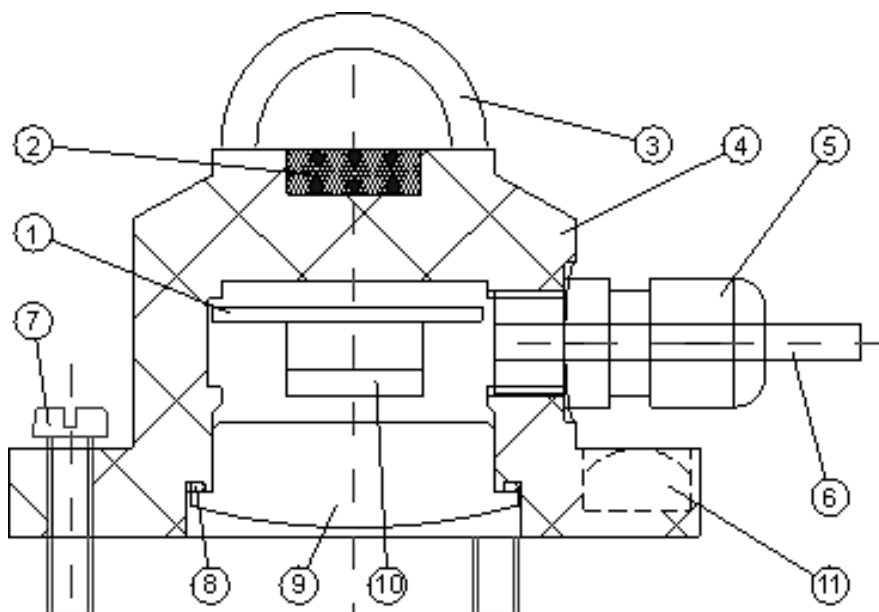


Fig. 2.9. Piranómetro y sus partes principales: (1) circuito impreso, (2) sensor o termopila, (3) cúpula de cristal, (4) cuerpo de metal, (5) abrazadera del cable, (6) cable eléctrico de salida de señal, (7) tornillo de nivelado, (8) base de goma, (9) cápsula, (10) bornes de conexión para cables, (11) nivel.

- Justificación del piranómetro como parte del estudio de la energía solar térmica

Se deben poseer datos de la intensidad con la que incide la luz solar sobre la superficie salvadoreña, a fin de conocer los parámetros que se deben tomar en cuenta para un aprovechamiento óptimo, eficiente y/o conveniente de la luz solar recibida. No se puede desarrollar un proyecto a la deriva, simplemente porque se conoce acerca de la energía solar. Los dispositivos utilizados en una planta piloto o un laboratorio como tal, deben tener especificaciones precisas y limitaciones que se deben cumplir para el funcionamiento de la planta. La intensidad de la energía solar debe ser medida en el campo donde se va a estudiar para cometer los errores con menor desviación posible, comparar con el rendimiento de los equipos, sus balances energéticos y concluir.

- Dispositivo Piranómetro a utilizar.

El equipo de medición piranómetro que se pretende incluir en la planta piloto se describe a continuación:

- Marca: Delta Ohm
- Modelo: LP PYRA 03
- Precio: \$ 661.19

La Fig. 2.10 muestra el modelo descrito anteriormente y en la Tabla 2.4 se muestran las especificaciones técnicas del piranómetro LP PYRA 03.



Fig. 2.10. Piranómetro LP PYRA 03.

Tabla 2.4. Especificaciones técnicas del piranómetro LP PYRA 03.

Descripción	Magnitud
Sensibilidad típica, $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$	10
Impedancia, Ω	33 – 45
Campo de medida, W/m^2	0-2,000
Sistema de seguimiento	Manual
Campo de vista, sr	2π
Campo espectral a 50%,nm	305 – 2,800
Temperatura de trabajo, $^{\circ}\text{C}$	-40 a 80
Peso neto, kg	0.45
Diámetro de anillo, mm	570
Características técnicas según ISO 9060	
Tiempo de respuesta (95%), s	<30
Respuesta a una radiación térmica de $200\text{W}/\text{m}^2$, W/m^2	<25
Respuesta al cambio de temperatura ambiente (5K/h), W/m^2	± 6
Inestabilidad a largo plazo (1 año), %	± 2.5
No linealidad, %	± 2
Respuesta según la ley del coseno, W/m^2	± 22
Selectividad espectral, %	± 7
Respuesta en función de la temperatura, %	<8
Respuesta en función del Tilt, %	± 4

2.3.1.2. HELIÓGRAFO

El heliógrafo es un instrumento meteorológico que se utiliza para medir las horas de sol (insolación) en un período de un día. Consiste en una esfera de cristal la cual juega el papel de lente concentradora de la luz solar que es concentrada y proyectada a una cartulina en su parte inferior (ver Fig. 2.11). La cartulina se quema de acuerdo a la intensidad de la luz.

La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en el punto en que se forma la imagen del sol. Se utiliza como focalizador una esfera de cristal, de forma que no es necesario mover este foco constantemente debido al movimiento aparente del sol a lo largo del día y del estacionario. La posición de la cartulina debe ser cambiada de acuerdo a la estación. En invierno, el sol

desciende, por tanto la cartulina debe ser elevada, lo contrario sucede en verano. De esa forma debe ser ajustada durante todo el año (Ver Fig. 2.12).



Fig. 2.11. Heliógrafo y sus partes principales.

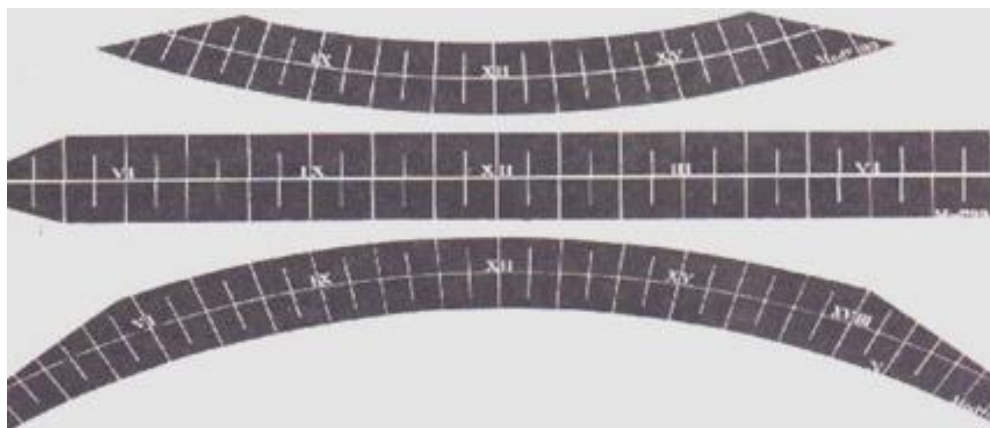


Fig. 2.12. Bandas del heliógrafo para distintas épocas del año.

La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 min. Si el sol luce durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el sol brilla de forma discontinua, dicha traza es intermitente (ver Fig. 2.13). En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

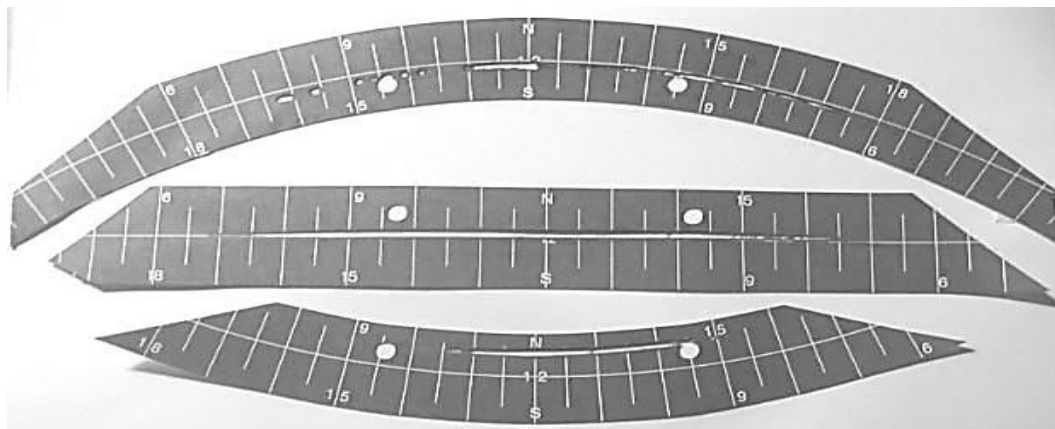


Fig. 2.13. Bandas de papel quemadas por el sol. Se observa la continuidad y discontinuidad.

- Justificación del heliógrafo como parte de la planta piloto para el estudio del aprovechamiento de la energía solar térmica

Se deben realizar mediciones constantes acerca de la disponibilidad de la energía radiante durante el día y así obtener estadísticas acerca del tiempo y las horas promedio en las que se podría aprovechar la energía del sol al máximo. No será un valor constante, pero con el tiempo se sabrá, con datos reales, qué rangos de tiempo durante el día, son los mejores o más intensos; qué épocas o estaciones del año son de mayor incidencia de radiación solar directa; todo esto, en el área de la planta piloto (que sería un laboratorio de pequeña escala para llevarlo a la práctica a través de los dispositivos).

2.3.1.3. ACTINÓMETRO O PIRHELÍOMETRO

Es un instrumento para medir la intensidad de la luz o la intensidad de la radiación directa, especialmente las del espectro solar (ver Fig. 2.14). Permite medir el poder de calentamiento de la radiación. Los actinómetros tienen una cámara esférica de negro de humo (cámara negra) provista de un orificio pequeño que da paso a la luz. Los rayos luminosos son absorbidos por el negro de humo, que transforma su energía en calor. Dada la superficie del orificio y

el aumento de la temperatura experimentado por la cámara, se conoce la intensidad de la energía radiante del sol por centímetro cuadrado y por minuto.

Un actinómetro puede ser un sistema químico o un dispositivo físico, que determina el número total de fotones en un haz o por unidad de tiempo.

En el tipo M3 (anteriormente AT-50), el tubo del actinómetro tiene un ángulo de abertura de 10° lo cual equivale a que el sensor del actinómetro recibe la radiación directa desde una zona del cielo en un radio de 5° . El tubo contiene además un anillo niquelado en la abertura que se dirige al sol. En su interior están situados diafragmas que tienen la superficie dirigida hacia el sol niquelada, mientras que la interior está pintada con negro de humo. Estos diafragmas están situados de mayor a menor de tal forma que el tubo propiamente dicho y los diafragmas protegen al sensor de la acción del viento y la radiación difusa (D).



Fig. 2.14. Pirheliómetro Kipp&Zonen.

En el extremo contrario al orificio de entrada de la radiación se ubica la termobatería, protegida por una cápsula de bronce pintada de negro la cual a su vez está protegida por una cubierta niquelada que refleja la radiación.

La radiación solar penetra por el tubo cuando el mismo está orientado hacia el sol e incide en la superficie receptora de la termobatería (disco de plata), esta se calienta y le transmite el calor a los termopares unidos a él produciéndose la corriente eléctrica.

El mecanismo de sostén presenta perillas moleteadas que permiten orientar el instrumento hacia el sol sin necesidad de tocar el tubo para evitar que la temperatura de las manos altere la del instrumento. El sostén se orienta según la latitud del lugar lo cual facilita la colimación del instrumento.

- Justificación del pirheliómetro como parte del estudio de la energía solar térmica

Al igual que los instrumentos mencionados anteriormente, éste posee la importancia de brindar datos que luego se usarán para analizar las condiciones energéticas de los dispositivos y todos los demás factores utilizados. En este caso, el actinómetro estará en funcionamiento en la planta piloto para la medición de la intensidad de la energía radiante, y su poder de calentamiento, esto con el fin de conocer de forma directa la capacidad calorífica de la energía solar incidente en el área de la planta piloto. Con esta idea se podrá monitorear de mejor manera los dispositivos que se instalarán en la planta.

- Dispositivo pirheliómetro a utilizar.

El dispositivo de medición pirheliómetro que se pretende incluir en la planta piloto se describe a continuación:

- Marca: Kipp&Zonen
- Modelo: CHP 1
- Precio: \$ 1,011.44

Este dispositivo se suministra con certificado de calibración del fabricante. En la Fig. 2.15 se muestran las dimensiones del pirheliómetro descrito anteriormente. Las especificaciones técnicas, proporcionadas por el fabricante, se presentan en la Tabla 2.5.

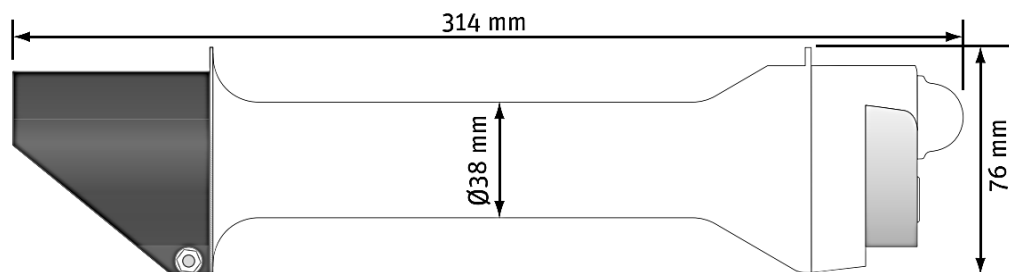


Fig. 2.15. Esquema dimensional del pirheliómetro CHP 1.

Tabla 2.5. Especificaciones técnicas del pirheliómetro CHP 1.

Pirheliómetro Kipp&Zonen, CHP 1, certificado con la Norma Internacional ISO	
Descripción	Magnitud
Campo de visión, grados	5 ±0.2
Rango espectral, nm	200 - 4,000
Sensibilidad, $\mu\text{V}\cdot\text{m}/\text{W}$	7 a 14
Tiempo de respuesta, s	< 5
Ajuste de cero B, W/m^2	< 1
No linealidad, %	< 0.2
Sensibilidad dependiente de la temperatura para un rango entre -20 y 50 °C, %	< 5
Temperatura de funcionamiento, °C	-40 a 80
Irradiancia solar máxima, W/m^2	4,000

- Justificación general de los dispositivos de medición

Los dispositivos de medición son esenciales para los ensayos de laboratorio e investigación dentro de la planta piloto. Para realizar toma de datos, cálculos y procesamiento e interpretación de los mismos. Se espera que estos sean utilizados con el fin de realizar informes para presentación del monitoreo que se realizarán y así llevar a la realidad de El Salvador la aplicación de dispositivos de aprovechamiento de energía solar térmica.

2.3.2. EQUIPO DE ELEVACIÓN

Debido a que los dispositivos se instalarán en un lugar elevado (la altura de la estructura es de 8.5 m) se ha determinado la instalación de una grúa para elevar las piezas de los dispositivos que se instalarán en el techo, que también servirá para desmontaje cuando se requiera dar mantenimiento o reparación especial a cualquier dispositivo de la planta piloto. El tipo de grúa propuesto se presenta en la Fig. 2.16. El equipo a utilizar será una grúa pluma estacionaria con las siguientes características:

- Marca: STRONGWIN
- Modelo: BZ
- Precio: \$ 10,420.00



Fig. 2.16. Grúa propuesta para las necesidades de la planta piloto.

Las especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Especificaciones técnicas de la grúa.

Características de grúa pluma estacionaria StrongWin	
Descripción	Dimensión
Capacidad, ton	5
Altura máxima, m	8.05
Longitud de brazo, mm	5011
Velocidad de elevación, m/min	8
Velocidad de rotación, rad/min	1
Velocidad del carro, m/min	20
Peso total, kg	6,230
Ángulo de rotación, grados	360
Voltaje a 60 Hz, V	Trifásico, 380

2.4. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS CAPTADORES SOLARES

Los colectores solares deben orientarse de tal forma que durante todo el período de utilización, tanto diaria como anual, el equipo solar aproveche el máximo posible de la radiación incidente. Por ello, se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones.

- Preferentemente se orientarán hacia el Sur geográfico y no hacia el sur magnético. Para localizarlo se observará, por ejemplo, la dirección de la sombra proyectada por una varilla vertical a las doce horas o mediodía solar.
- En la práctica, desviaciones del 15% hacia el sureste o hacia el Suroeste, con respecto a la orientación Sur preferente, no afectan al rendimiento ni a la energía térmica útil aportada por el equipo solar.

Además, el ángulo de inclinación que forman los colectores con el plano horizontal es un factor importante en la eficiencia del equipo. Los colectores deberían inclinarse de modo que los rayos del sol incidan perpendicularmente en su superficie al mediodía solar (ver Fig. 2.17).

El ángulo de inclinación de los colectores depende del uso del equipo solar. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Utilización a lo largo de todo el año (ACS): ángulo de inclinación igual a la latitud geográfica.
- Uso preferente para calentamiento de agua de piscinas: ángulo de inclinación igual a la latitud geográfica - 10°.
- En una cubierta plana, sin sombras y sin limitaciones de tipo estético, normalmente se podrá adoptar la inclinación y orientación ideal.
- En casos, como el de los tejados a dos aguas, los criterios de integración arquitectónica no permiten mantener la orientación e inclinación ideal de los captadores, con lo que las pérdidas se deberían compensar incrementando la superficie de colectores. Sin embargo, las desviaciones de orientación e inclinación superiores a las especificadas no representan variaciones de rendimientos exagerados, y menos aún en el caso de los colectores de vacío, que ya incluso se colocan en vertical.

Para el caso de los colectores que estarán dispuestos en la planta piloto se tomarán algunos de los criterios anteriores. Estos se resumen a continuación:

- Para el equipo colector de ACS el ángulo de inclinación será aproximada al de la latitud geográfica, y se podrá variar hasta 10° menos.
- Variaciones de $\pm 10^\circ$ con respecto al ángulo de inclinación óptimo de todos los colectores, prácticamente no afectan al rendimiento y a la energía térmica útil aportada por el equipo solar.

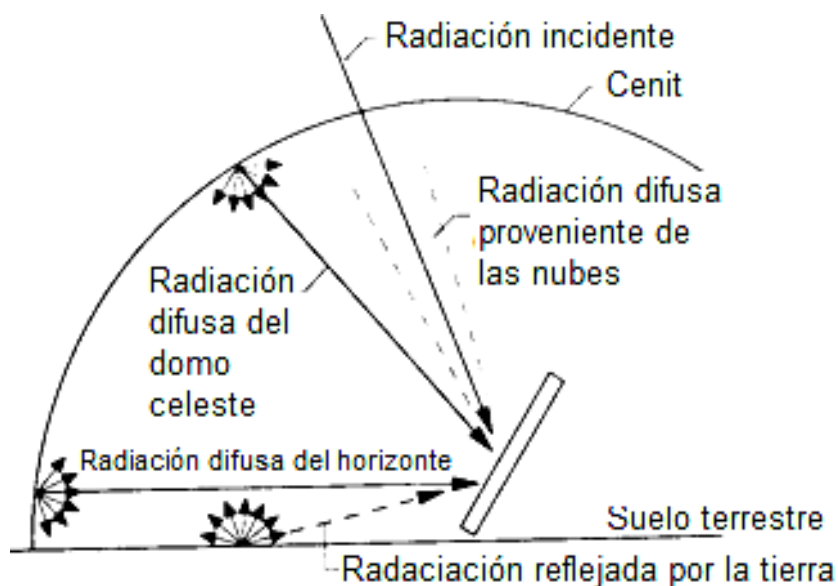


Fig. 2.17. Conveniencia de la inclinación adecuada de los colectores solares [1].

2.5. DETERMINACIÓN DEL ÁREA A UTILIZAR

La distribución de dispositivos en planta se hará de tal manera que en el área de insolación no haya obstrucción de un dispositivo con respecto a otro, es decir, que exista correcta exposición a la radiación solar de los colectores e instrumentos de medición para evitar disminuir la eficiencia en la captación de energía. Para ello se debe asegurar que un dispositivo no proyecte sombra sobre otro.

Para lograr un dato confiable acerca de la sombra que cada dispositivo proyecta a su alrededor, a lo largo del año, en la latitud de El Salvador, se hará un análisis con factores críticos. Se sabe que mientras más elevado se encuentre el sol, menos sombra proyectarán los cuerpos situados en la superficie de la tierra. Será lo contrario cuando el sol decline. Por tanto, un factor crítico será el día en que ocurra el solsticio de invierno, que es el día del año en el que el sol obtiene su mayor declinación, y por ende más sombra proyectada por los objetos. Otro factor a considerar es el dispositivo más alto, que es el que proyectaría más sombra durante todo el año y más importante aún, en el solsticio de invierno.

Para efectos de cálculo se tomarán algunos datos como la ubicación de El Salvador:

Latitud: 13:42 Norte

Longitud: 89:07 Oeste

También se hará uso de un diagrama solar que corresponde a El Salvador. El diagrama solar de San Salvador se presenta en la Fig. 2.18.

El centro del círculo representa el punto de observación y la circunferencia el horizonte visto desde dicho punto; el disco es una proyección de la semi-esfera representando la bóveda celeste de la tierra centrada en este punto. Las curvas de los meses son arcos de círculos centrados sobre el eje vertical que presentan las trayectorias del sol el 21° día de cada mes. Las tres en rojo representan: la que está más al Norte corresponde al solsticio de verano (21 de junio), la segunda a los equinoccios (21 de septiembre y 21 de marzo), y la que está más próxima al Sur al solsticio de invierno (21 de diciembre).

Las curvas en negro intercaladas corresponden cada una a dos meses: se pueden leer de arriba hacia abajo como julio, agosto, octubre y noviembre; o desde abajo hacia arriba como enero, febrero, abril y mayo.

Las curvas de las horas son ortogonales a las de los meses. Se pueden identificar fácilmente siguiendo las horas a lo largo del equinoccio, fecha en que, en cualquier parte del mundo, el día dura 12 horas. La primera curva de las horas que intercepta la del equinoccio al Este corresponde a las seis de la

mañana, la del medio (sobre el eje vertical) al mediodía solar y la última, al Oeste, a las seis de la tarde.

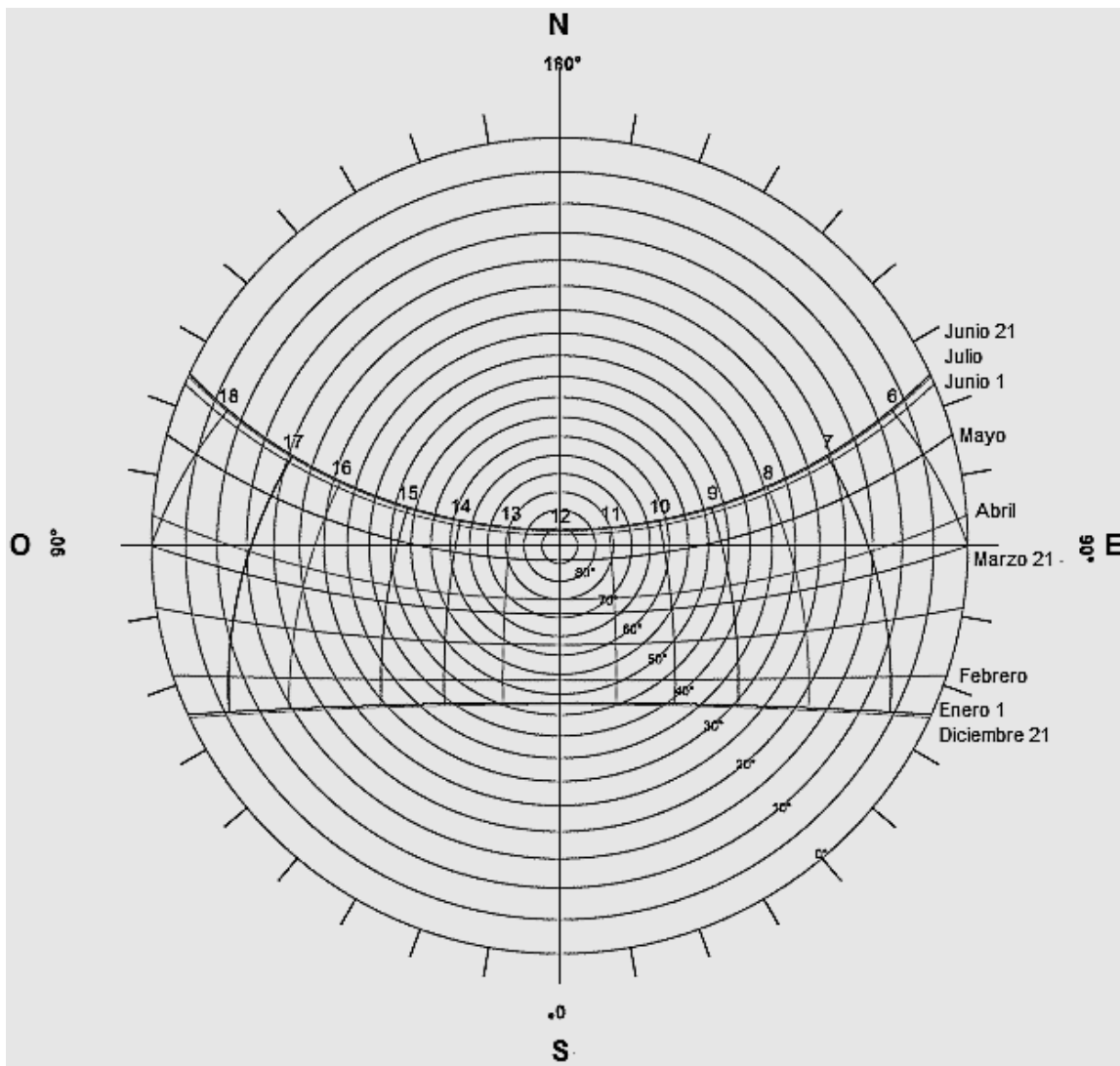


Fig. 2.18. Diagrama solar de El Salvador.

Interpretando el diagrama se puede determinar que, en San Salvador, el sol se levanta hacia las 05:50 y se pone hacia las 18:10 en el solsticio de verano (21 junio). En el solsticio de invierno; sale a las 06:30 y se oculta a la 17:30.

El sol pasa por el cenit dos veces al año: hacia el 21 de abril y el 21 de agosto. Entre estas dos fechas, el sol está al norte a mediodía, y los días siguen

creciendo hasta el solsticio de verano, el 21 de junio, que sigue siendo el día más largo del año, aunque no es cuando el sol sube más alto.

Para calcular la sombra que proyectarán los dispositivos que poseen mayor altura, interesa el ángulo de altura solar (ángulo ϕ) en el día y la hora de estudio. Se analizará el día 21 de diciembre y 4 horas alrededor de las 12 M.

La ecuación para calcular el ángulo de altitud del sol donde “n” es el número del día del año que comienza con el 01 de enero y $n=365$ que corresponde al 31 de diciembre:

$$\phi = 23.45 \text{ Sen}\left[\frac{360}{365}(n - 81)\right] \quad (2.1)$$

Para el solsticio de invierno, es decir, el 21 de diciembre, $n=355$:

$$\phi = 23.45 \text{ Sen}\left[\frac{360}{365}(355 - 81)\right] \quad (2.2)$$

$$\phi = - 23.45^\circ \quad (2.3)$$

Se tomará el ángulo de inclinación máximo al que se debe colocar el colector de ACS, el cual es de $S = 45^\circ$ y su longitud $B = 2,100$ mm. Por tanto, basándose en el esquema de la Fig. 2.19 da como resultado:

$$H = (2.1 \text{ m})\text{Sen}(45^\circ) = 1.48 \text{ m} \quad (2.4)$$

La distancia L , medida sobre la horizontal, entre un captadores y otro, o entre un captador y un obstáculo cualquiera de altura H , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia d será superior al valor obtenido por la expresión:

$$L = h / \tan (90 - \text{latitud} - \phi) \quad (2.5)$$

donde $1/\tan(90^\circ - \text{latitud} - \phi)$ es un coeficiente adimensional denominado k .
Sustituyendo valores se tiene:

$$L = 1.48 \text{ m} / \tan(90 - 13.42 - 23.45) \quad (2.6)$$

$$L = 1.11 \text{ m} \quad (2.7)$$

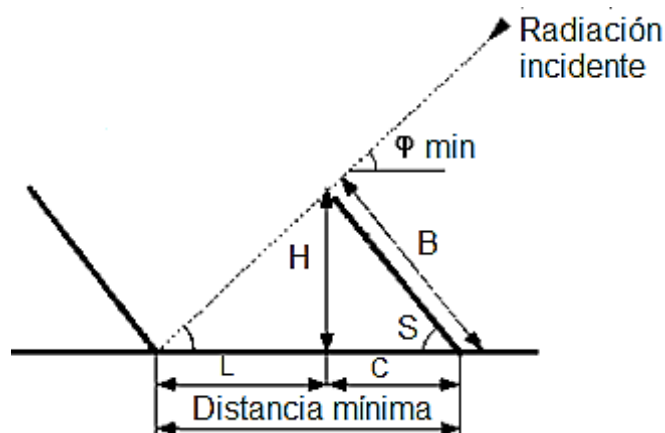


Fig. 2.19. Esquema de cálculo de la distancia mínima entre colectores.

La distancia de separación entre la parte posterior de un captador u obstáculo y el captador siguiente inmediato no será inferior a 1.11 m. Cuando exista una base o pedestal que eleve un captador posterior se debe aplicar H a la diferencia de alturas entre la parte alta y la parte baja de los dispositivos (ver Fig. 2.20), efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.

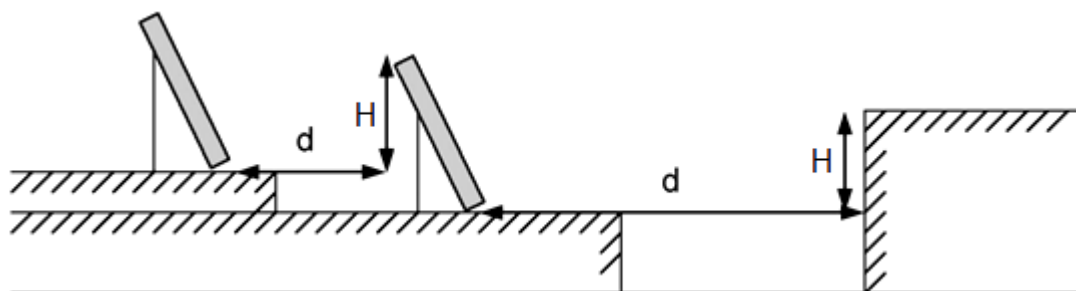


Fig. 2.20. Separación mínima recomendada entre dispositivos.

La Tabla 2.7 describe la distancia mínima libre que se debe mantener alrededor de los dispositivos de mayor tamaño en la instalación para que no proyecten sombra sobre otros dispositivos.

Tabla 2.7. Distancia mínima libre recomendada entre dispositivos.

Distancias libres mínimas que deben existir alrededor de los colectores	
Dispositivo	Distancia mínima libre alrededor, m
Colector ACS	1.11
Acumulador para ACS	El acumulador se colocará de modo que no proyecte sombra sobre los colectores.
Sistema de Calefacción y frío solar.	1.57
Colectores de sistema de Calefacción y frío solar.	1.11
Acumulador Frío Solar	El acumulador se colocará de modo que no proyecte sombra sobre los colectores.
CCP	0.75
Acumulador para CCP	El acumulador se colocará de modo que no proyecte sombra sobre los colectores.
Cocina Solar	0.98

Ahora que se tienen las distancias mínimas a cumplir para instalar los colectores se debe disponer de criterios propios para lograr una distribución en planta adecuada. Para ello, se ha de diferenciar las áreas de trabajo que se caracterizan por la posición de dichas áreas y los dispositivos que las ocupan. Se pueden identificar las siguientes áreas:

- a) Área de dispositivos de captación o colectores de energía solar térmica.
- b) Área de instalación y monitoreo de los instrumentos de medición.
- c) Área de oficina, procesamiento y análisis de datos.
- d) Área de taller para mantenimiento de los equipos pertenecientes a la Planta Piloto.

Para el área de captación, se tiene la distribución que se presenta en la Fig. 2.21.

Las casillas numeradas del 1 al 6 tienen dimensiones calculada para cada dispositivo o sistema de captación. Esta área es suficiente para que un dispositivo se encuentre despejado de sombras proyectadas por otros dispositivos, a toda hora del día. En las casillas 1 y 3 se instalarán los dispositivos con poca altura para permitir que los dispositivos que quedan detrás (casillas 4, 5 y 6), con respecto a la luz del sol, reciban toda la radiación solar y ningún dispositivo de la planta obstruya a otro. En la casilla 2 se colocarán los instrumentos de medición sin ningún riesgo de obstrucción solar. Para el esquema del espacio a utilizar, las áreas se enumeran según el siguiente orden:

1. Concentrador solar parabólico de cocina solar.
2. Instrumentos de medición: piranómetro y heliógrafo.
3. Colectores del sistema de frío solar.
4. Sistema de agua caliente sanitaria con su acumulador.
5. Concentrador cilíndrico parabólico.
6. Colector y torre de sistema de frío solar.

El área mínima que debe utilizarse para la instalación de la planta piloto es la correspondiente a la Fig. 2.21 cuyas dimensiones son 13.08 m de largo y 11.04 m de ancho.

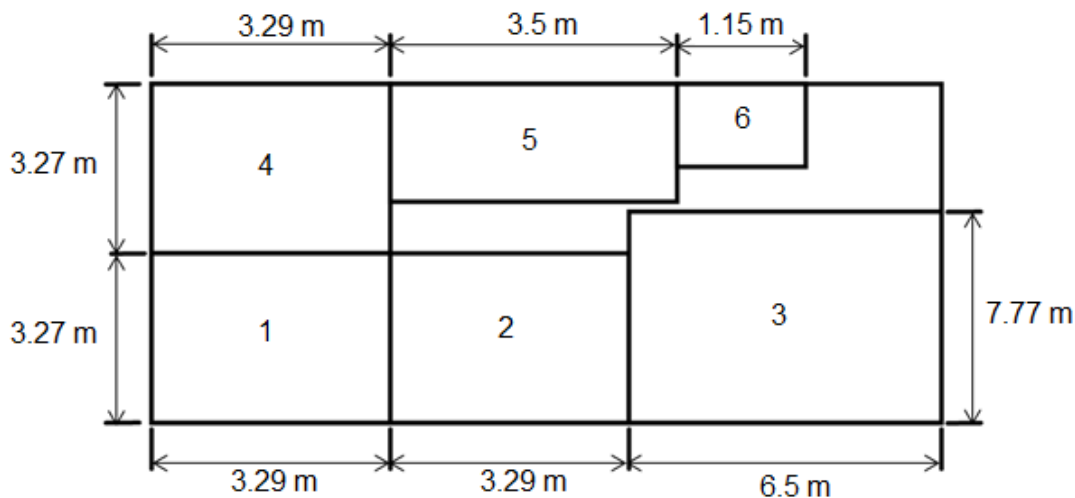


Fig. 2.21. Determinación de la distribución en planta.

2.6. CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA - FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

El espacio físico que sea adecuado para la instalación de una planta piloto deberá poseer las siguientes características:

- Despejado. No debe tener obstáculos significativos alrededor como árboles, edificaciones o estructuras que puedan proyectar sombra. La luz del sol debe entrar libre para obtener la máxima radiación directa posible. Se podría obtener esta ventaja con lugar con elevación y despejado en la dirección de la trayectoria del sol, es decir, con orientación hacia el Sur, que es donde el sol proyecta la mayor cantidad de luz.
- Accesible. Para que la planta piloto cumpla el objetivo para la que fue diseñada debe contar con accesos que permitan la visita a sus instalaciones. Deben ser accesos que no dificulten la visita de personas que asistan tanto para estudio o investigación como de personas que realicen mantenimiento a las instalaciones de la planta y que deban cargar con herramientas para tal fin.
- Regularidad superficial. Debe ser un lugar donde no se produzcan desniveles considerables o terreno irregular que dificulten el montaje de dispositivos y/o que afecten la eficiencia de los mismos y las labores de mantenimiento de la planta piloto.
- Tener la disponibilidad de servicios básicos como agua potable, energía eléctrica, internet.
- Espacios adecuados y posibilidad de distribución adecuada. Debe poseer espacio para disponer, además del área de insolación, de una bodega, oficina y taller de mantenimiento. Debe contar además con espacio suficiente para la circulación libre y segura de personas.
- Posibilidad de expansión. Debido al constante aumento de la investigación, es necesario que la planta piloto tenga la posibilidad de ampliarse para que en un futuro se pueda tener un crecimiento tecnológico e integración con

otros proyectos del orden de la energía solar, tanto en la utilización de espacios para prueba, como para la instalación permanente de dispositivos colectores y de monitoreo.

- Seguridad. El espacio donde se ubique la planta piloto debe ser un lugar donde se pueda disponer permanentemente de los dispositivos y demás herramientas de la planta piloto. Es decir, que su instalación debe ser por tiempo prolongado sin tener que montarse ni desmontarse cada vez que se va a realizar un estudio. Para que esto sea posible la planta piloto debe estar ubicada en un lugar que brinde seguridad, que los equipos propiedad de la planta no estén expuestos a daños físicos o a hurto por parte de personas irresponsables.
- Inmediatez. Debe estar dentro de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para facilitar el uso y administración de la planta piloto. Si ésta se encuentra dentro de otra facultad se requeriría demasiada intervención de las autoridades de dicha facultad, para las gestiones que la planta piloto requiera.

2.7. DETERMINACIÓN DEL ESPACIO FÍSICO DONDE SE UBICARÁ LA PLANTA PILOTO

Se han considerado tres alternativas para la ubicación de la planta piloto, las cuales son:

- Techo de la Unidad Productiva adyacente al edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Azotea del edificio de la Biblioteca de La Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Zona verde frente a edificio de Escuela de Ingeniería Mecánica.

Con el fin de ser más objetivos al elegir la alternativa adecuada se enuncian algunas ventajas y desventajas de dichas alternativas para sopesar la que brinde mayores oportunidades para la instalación de la planta piloto.

- Techo de la Unidad Productiva.

Para el techo de la Unidad Productiva como primera alternativa se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas: se encuentra inmediata a la Escuela de Ingeniería Mecánica, que sería la encargada de administrar la planta piloto, en la cual también se puede ubicar la oficina y bodega; es un lugar despejado y con elevación; brinda seguridad por estar en un lugar elevado; por el espacio disponible, existen posibilidades de expansión, el taller de la Unidad Productiva puede auxiliar a la planta piloto en labores de mantenimiento y reparación.
 - Desventajas: se debe construir una estructura que soporte la planta piloto; por ser un lugar con elevación se requiere de una grúa estacionaria para la instalación y mantenimiento de dispositivos.
- Azotea del edificio de la Biblioteca de La Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Para la azotea del edificio de la Biblioteca de la FIA como segunda alternativa, se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas: es un lugar despejado y con elevación; brinda seguridad por estar en un lugar elevado; existen posibilidades de expansión.
 - Desventajas: se debe construir una oficina para el procesamiento de datos, la bodega para almacenamiento de herramientas y el taller de mantenimiento de la planta piloto; por ser un lugar con elevación se requiere de una grúa estacionaria para la instalación y mantenimiento de dispositivos; se están desarrollando otros proyectos de energía renovable lo cual disminuye el espacio disponible para la instalación de la planta piloto (ver AnexoA-6).
- Zona verde frente a edificio de Escuela de Ingeniería Mecánica.

Para la zona verde, frente al edificio de la EIM como tercera alternativa se tienen las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas: es un lugar despejado; existen posibilidades de expansión; se encuentra cerca de la Escuela de Ingeniería Mecánica; no se requiere de una grúa estacionaria para la instalación y mantenimiento de dispositivos.

- Desventajas: se debe construir una estructura que brinde seguridad debido a que es un área abierta; debe realizarse terracería para el área de insolación y obra civil de la oficina, bodega y taller; existen otros proyectos que consideran este espacio y antes de que la planta piloto pueda instalarse, puede ser declarado espacio no disponible (ver Anexo A-7).

Debido a las ventajas y desventajas enunciadas se considera el techo de la Unidad Productiva como la mejor alternativa para la instalación de la planta piloto para el aprovechamiento de energía solar térmica, por tanto, en adelante se contará con este hecho y el proyecto se desvía a considerar este espacio como el adecuado para continuar con este estudio técnico.

En el conjunto de fotografías de la Fig. 2.22 se presenta el aspecto que tiene el espacio en estudio a las 12:00 M en el mes de Noviembre.



Fig. 2.22. Fotografías del aspecto del techo de la Unidad Productiva y del Taller de Motores a las 12:00 M en noviembre.

En la Fig. 2.23 se presentan las dimensiones del techo de la Unidad productiva y el taller de motores.

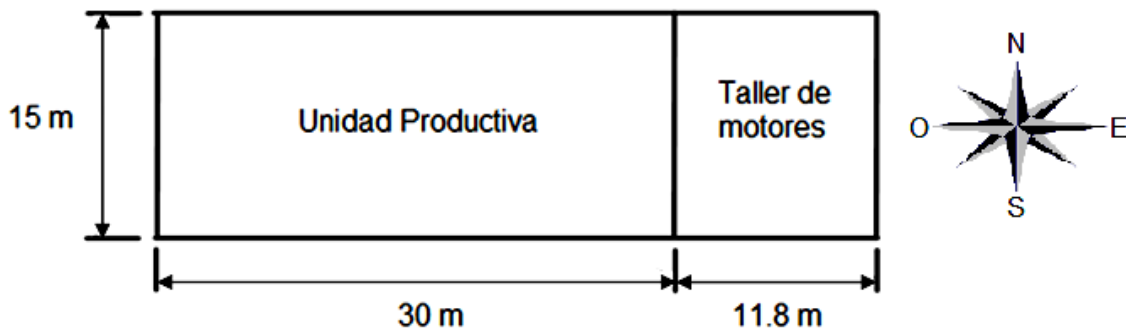


Fig. 2.23. Área del techo de la Unidad Productiva y del taller de motores.

Para un análisis detallado del espacio donde se ubicará la planta piloto se diseña un modelo de la edificación en una versión estudiantil de diseño arquitectónico en software. Una vista de este modelo se presenta en la Fig. 2.24.

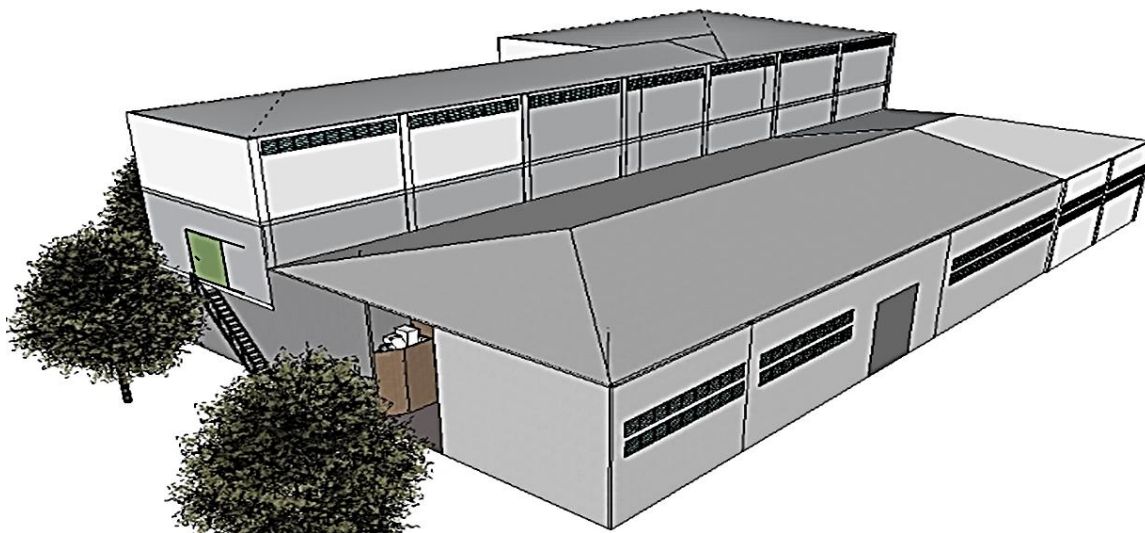


Fig. 2.24. Modelo del edificio la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador.

2.8. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA INSTALACIÓN

Se deben tomar en cuenta algunos aspectos que deben ser característicos en una planta piloto de energía solar térmica para el mejor aprovechamiento de las instalaciones. Para el área de instalación se pueden mencionar:

- Debe estar despejada (sin proyecciones de sombra demasiado obvias) para poder captar la mayor cantidad de radiación posible.
- La configuración física permite una instalación óptima en cuanto a distribución en el plano y en el espacio, es decir que cuenta con una altura suficiente para la instalación de los dispositivos que se ven favorecidos por la presión hidrostática.
- Para instalación se considera la construcción de una estructura metálica nivelada sobre el techo (esta compensará el desnivel de las aguas del techo). Ésta debe ser resistente al peso de la estructura que soporta el sistema de captación solar, al peso propio de los paneles y al peso de por lo menos 30 personas simultáneamente, sin riesgo alguno de colapso.
- Se requiere de un espacio techado y seguro para operación de sistemas y equipos administrativos y demás material didáctico como computadoras, pizarra, etc. y espacio para la realización de prácticas de laboratorio concernientes a la planta piloto.
- Existe espacio para futuras expansiones de la planta en toda la superficie del techo de la Unidad Productiva y el taller de motores, sin embargo, la estructura metálica que se construirá tendrá un alcance para el sistema definido en estudio.
- El espacio es perteneciente a la facultad de Ingeniería y Arquitectura, y se recomienda esté bajo la administración de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Las instalaciones no deben producir reflejos que puedan incidir negativamente en otras instalaciones o edificaciones, como la Escuela de Ingeniería Civil, que es la más cercana a la Unidad Productiva.

En cuanto a las características generales de los componentes del sistema, se pueden mencionar las siguientes:

- Captadores solares. Paneles térmicos: Únicamente deben emplearse colectores solares certificados por una entidad habilitada, debiéndose aportar la curva característica y los datos de rendimiento en el proyecto. Puede tomarse de referencia el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.), de manera particular el Código Técnico de la Edificación (CTE) los cuales se aplican en España, mientras no exista un equivalente en El Salvador.
- Acumuladores: Deben tener una configuración vertical e incluir una pequeña protección adicional, como una capa y protector de la lluvia. Deberá resistir fácilmente temperaturas de 70 °C con el objeto de prevenir la legionelosis.
- Intercambiador de calor: será de placas de acero inoxidable o de cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación. Podrá estar dentro o fuera del acumulador, aunque se prefiere externo para una mejor demostración.
- Bombas de circulación: Cuando el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debe mantener aceptablemente baja en todo el circuito. Si una instalación dispone de una superficie de captación mayor a 50 m², se recomiendan dos bombas iguales conectadas en paralelo, una de las cuales será de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. El funcionamiento de dichas bombas será alternativo, ya sea el funcionamiento manual o automático.
- Las tuberías que estén conectadas a las bombas, deben estar soportadas cerca de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser en ningún caso inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba. Con objeto de evitar pérdidas térmicas en la instalación, la longitud de las tuberías del sistema deben ser lo más cortas posibles, evitando al máximo la existencia de codos y pérdidas de carga en general.

- Vasos de expansión: deben estar conectados en la aspiración de la bomba.

Para las condiciones de montaje se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La instalación debe construirse en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias de durabilidad, salubridad y mantenimiento.
- Se debe comprobar la calidad de los materiales y del agua utilizada y evitar el uso de materiales incompatibles entre sí.
- Al final de la instalación, debe realizarse una limpieza química adecuada al interior de la instalación con el fin de evitar que cuerpos extraños e impurezas queden dentro del sistema y puedan dañar los equipos o accesorios, o en todo caso, que el sistema no funcione adecuadamente.

2.9. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL ESPACIO FÍSICO DE LA PLANTA PILOTO

Los dispositivos a instalar en la planta piloto pueden ser adecuados al techo de la Unidad Productiva a través de bastidores y soportes que se incluyen en la adquisición en el mercado o a través de estructuras particulares de apoyo para cada componente. Sin embargo, en este apartado se propone un modelo de una estructura metálica que ofrece una vista general de la instalación de la planta piloto. El alcance del modelo no incluye cálculos estructurales, sino una estimación general del espacio a utilizar y los materiales que más se acercan a los utilizados en este tipo de construcciones, para ser tomadas en cuenta en proyectos posteriores de reforzamiento del edificio. Las propuestas de modificación al edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica más importantes se describen a continuación:

- a) El área de dispositivos de captación de energía solar térmica será el techo de la Unidad Productiva, para ello se ha sugerido, reforzar dicho techo con lámina nueva y de mejor calidad.

b) Área de instalación y monitoreo de los dispositivos de captación e instrumentos de medición, será en el techo pero en una base de rejilla de material Grating11-W-2 de 50 cm de alto, estas rejillas estarán sobre un entepiso hecho de ángulo de L3x3x5/16 pulg, que a su vez estará soportado en una estructura de perfil W10x54. las bases de los dispositivos de captación reposarán sobre las rejillas de Grating y, a la vez, pueden circular personas por toda el área de captación y tener acceso a los dispositivos allí instalados. En la Fig. 2.25. se muestra la estructura principal fabricada de perfiles H. Una vista frontal y lateral se presentan en la Fig. 2.26 y en la Fig. 2.27, respectivamente.

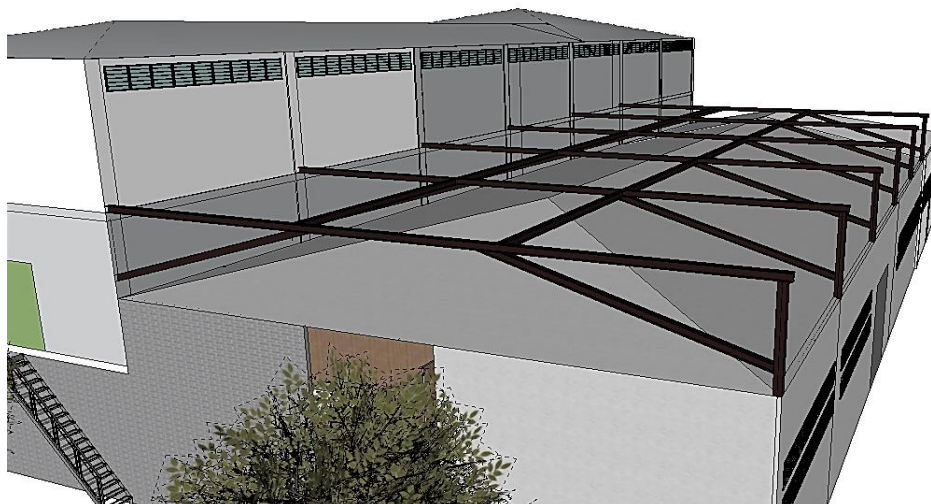


Fig. 2.25. Estructura de perfiles W10x54.



Fig. 2.26. Estructura de perfiles H vista frontal.

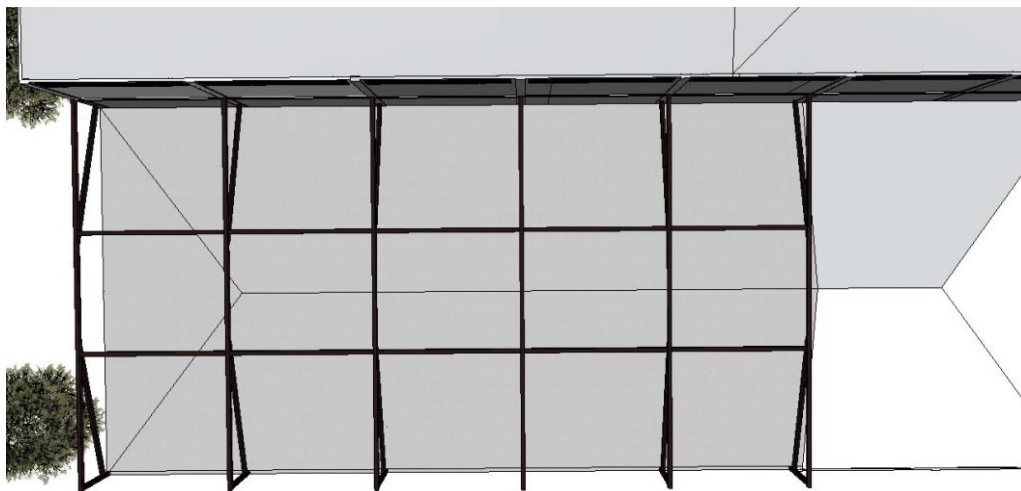


Fig. 2.27. Estructura de perfiles H vista de planta.

En la Fig. 2.28 se detalla la unión entre las columnas y las vigas que forman la estructura principal del entrepiso.

La Fig. 2.29 es una vista general de los ángulos y perfiles que sostendrán las rejillas o material grating. Su distribución está arreglada, precisamente para alojar los segmentos comerciales de rejillas (ver plano de ensamble en el Anexo A-8.1.).

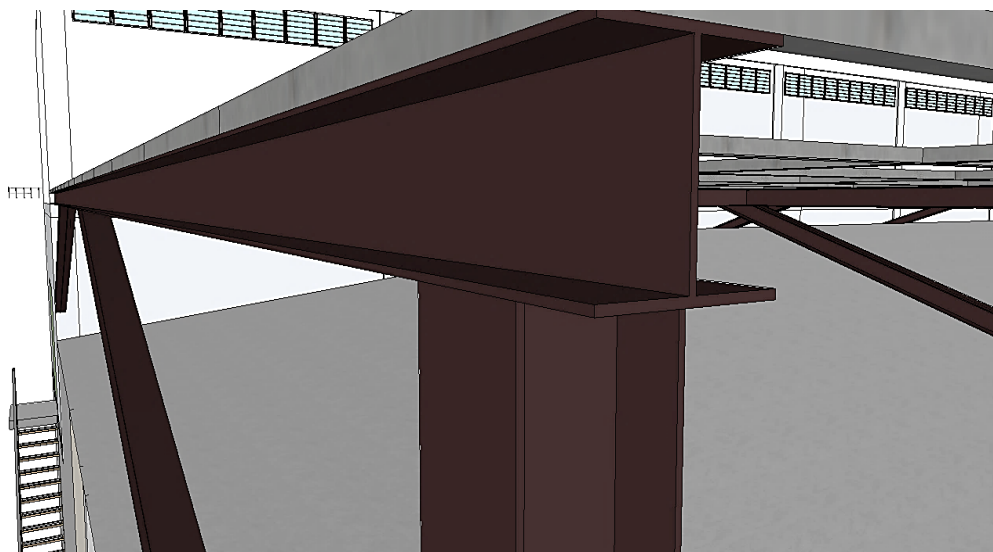


Fig. 2.28. Detalle de junta de perfiles H (entre columna y viga).

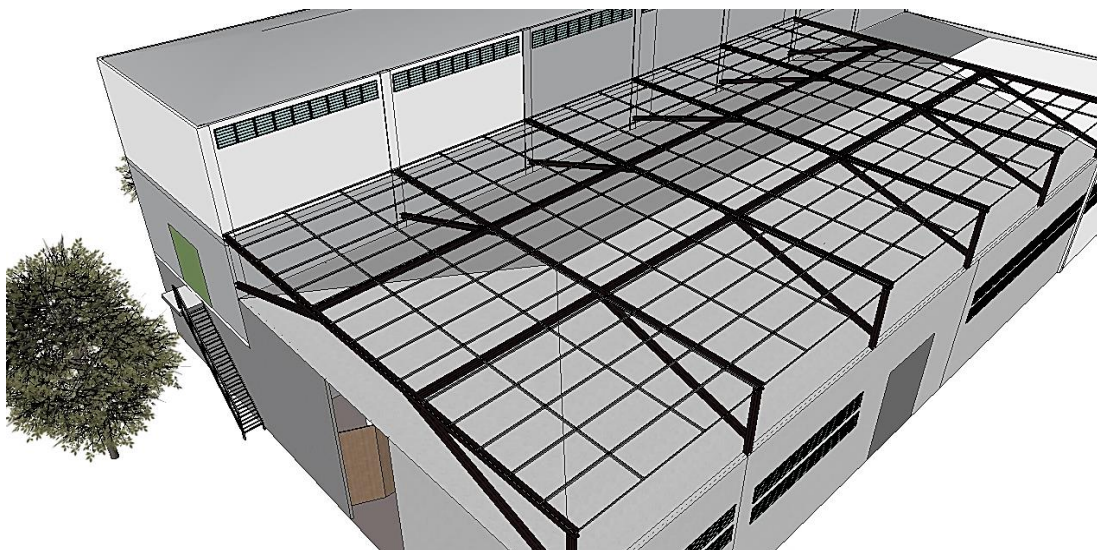


Fig. 2.29. Estructura de Perfiles H más ángulos que sostendrán las rejillas.

El detalle del montaje de los ángulos sobre los perfiles H se presenta en la Fig. 2.30.

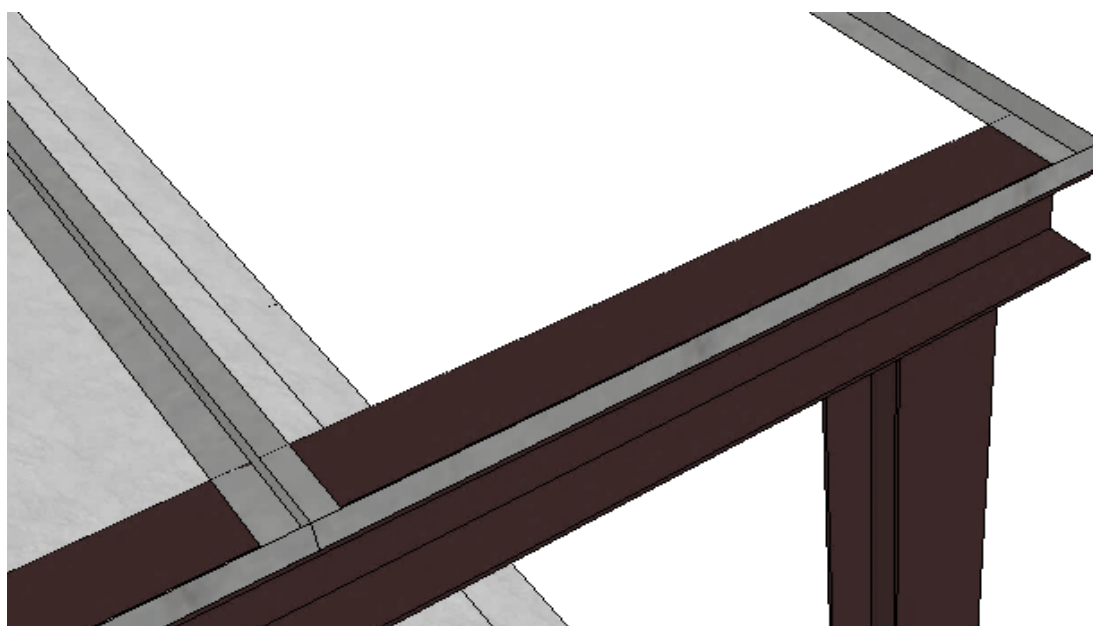


Fig. 2.30. Detalle de junta de unión entre viga H y angulares.

La Fig. 2.31 ofrece una vista general de las rejillas instaladas en la estructura de entrepiso.

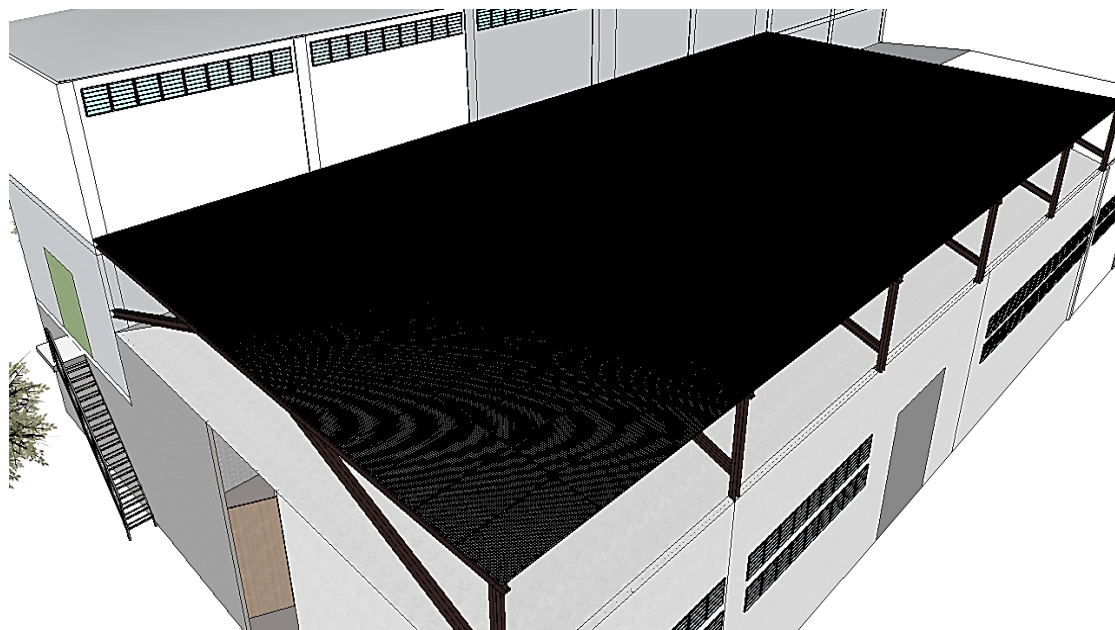


Fig. 2.31. Vista de las rejillas o grating instaladas sobre la estructura metálica.

- c) Para el área de oficina y procesamiento y análisis de datos se propone asignar un área dentro del edificio de Ingeniería Mecánica, para instalar ordenadores y equipo de oficina y didáctico. Se ha considerado acomodar el espacio de dos cubículos que estén disponibles; para ello se debe realizar una reubicación, de forma tal que los cubículos asignados estén próximos al área de insolación de la planta.
- d) Se recomienda realizar un agujero en la pared del edificio que separa los cubículos (de los maestros) del techo de la Unidad Productiva, para instalar una puerta y que sirva de acceso al espacio donde estarán los dispositivos de la planta.
- e) El área de mantenimiento de los equipos pertenecientes a la Planta Piloto debe estar dispuesto en dos espacios. La primera es la misma Unidad Productiva, asignando un área para guardar sólo las herramientas y materiales propios de la planta que deben ser distinguidas y debidamente identificadas para uso exclusivo de la planta piloto. También, se utilizarán espacios de la Unidad Productiva para realizar ciertos trabajos pequeños. La segunda área de mantenimiento será en un extremo del entresuelo donde habrá un espacio disponible para trabajos que no se puedan ejecutar en el

taller. Trabajos como limpieza, reparación o modificación de colectores o elementos cuyo manejo se complicó al bajarse al taller, etc.

- f) Se recomienda instalar una escalera de emergencia en la parte sur del edificio para tener un acceso o escape de emergencia, en caso de que surja un imprevisto con riesgo potencial a la integridad humana. Un diseño conveniente de este tipo de escalera puede ser como el de la Fig. 2.32a. También, se propone instalar pasamanos que protejan contra caídas accidentales alrededor de toda la estructura de la planta piloto. Por aspectos de seguridad, en construcciones en altura, siempre se debe considerar la protección contra caídas. Para el caso de la planta piloto se ha considerado instalar un barandal que a la vez funciona como pasamano en todo el perímetro de la planta piloto donde existe riesgo de caída en altura. El detalle de la instalación del pasamano se muestra en la Fig. 2.32b.

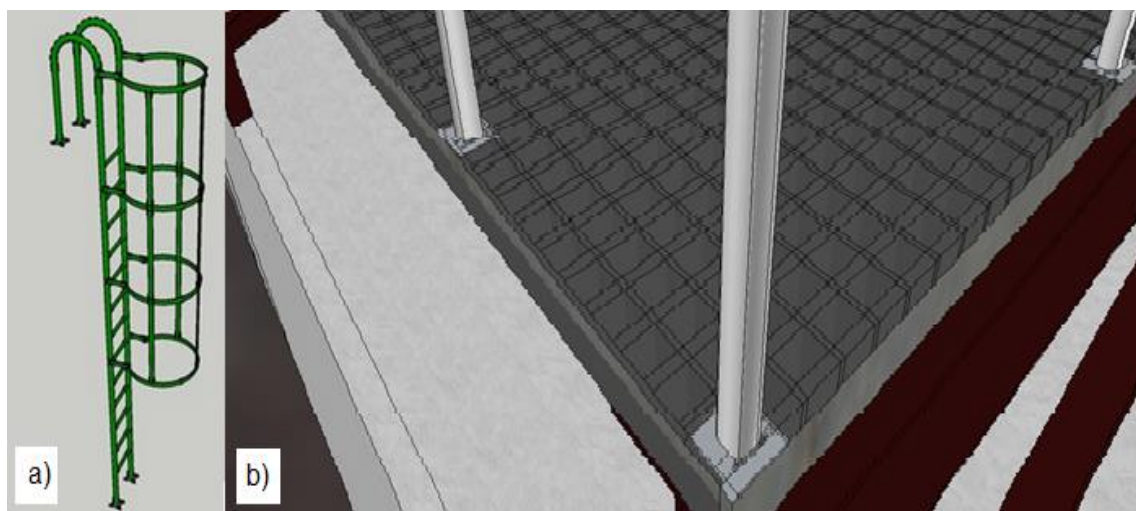


Fig. 2.32. a) Diseño de escalera propuesta para acceso de emergencia a la planta piloto (diseño de 3dwarehouse en SketchUp). b) Rejilla sobre estructura de entrepiso con pasamanos representados.

El modelo descrito anteriormente se presenta completo en la Fig. 2.33, con la estructura de perfiles, las rejillas, el barandal o pasamanos y una escalera de emergencia.

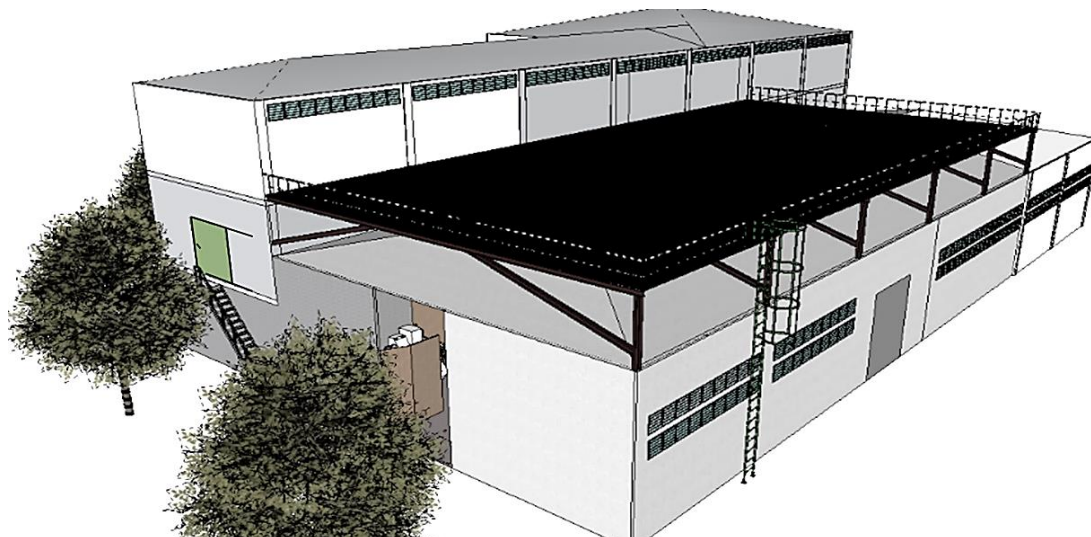


Fig. 2.33. Modelo propuesto para la instalación de una Planta Piloto.

2.10. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

Para la distribución en planta se retoma lo planteado en el apartado 2.5 sobre la determinación del área a utilizar. Para el esquema del espacio a utilizar de la Fig. 2.34, se enumeran las áreas agregando una más para actividades varias como mantenimiento, futuras expansiones, etc. Entonces, las áreas se enumeran según el siguiente orden:

1. Concentrador solar parabólico de cocina solar.
2. Instrumentos de medición: piranómetro y heliógrafo.
3. Colectores del sistema de frío solar.
4. Sistema de agua caliente sanitaria con su acumulador.
5. Concentrador cilíndrico parabólico.
6. Colector y torre de sistema de frío solar.
7. Área multipropósito y auxiliar para realizar mantenimiento a dispositivos o futuras expansiones.

En la Fig. 2.34 se muestra un esquema conveniente de para distribución de los diferentes dispositivos de la planta para aprovechar los espacios, y que los dispositivos instalados no proyecten sombra a los dispositivos adyacentes.

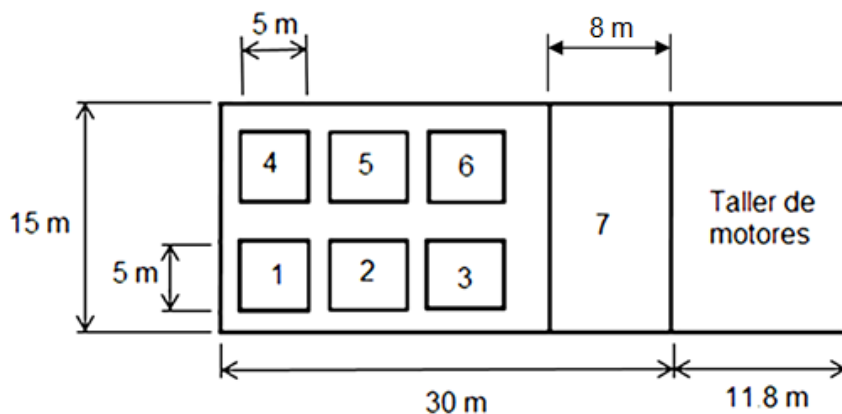


Fig. 2.34. Esquema de la distribución en planta con las áreas a utilizar.

En la Fig. 2.35 se presenta la distribución en planta en el modelo hecho con ayuda de software.

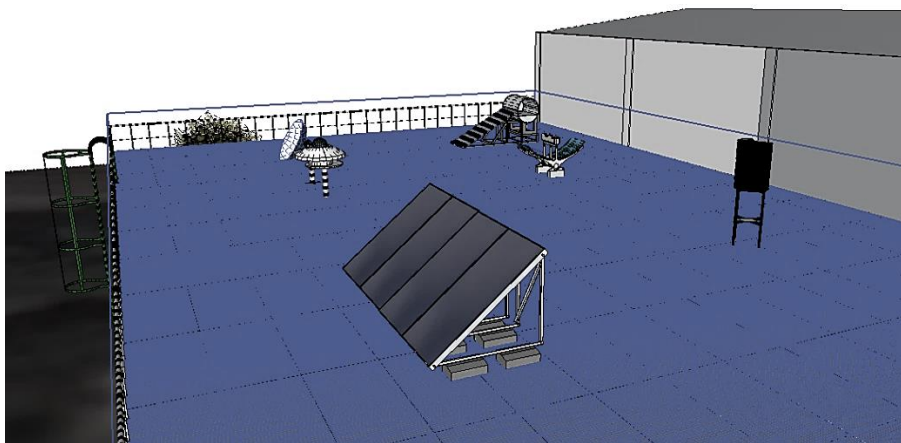


Fig. 2.35. Propuesta de distribución en planta de dispositivos colectores y de medición.

2.11. PROYECCIÓN DE SOMBRA CON AYUDA DE SOFTWARE

Para efectos de simulación de las sombras proyectadas en la planta piloto y determinar si se ha asumido bien la orientación de los dispositivos, se hace uso de un recurso que ofrece el programa de diseño de SketchUp en una

versión estudiantil junto con una aplicación de Google Maps. Esta simulación brindará imágenes de las sombras que proyecta la posición aparente del sol durante todo el año en cualquier fecha que se requiera. En la Fig. 2.36 se presenta la ventana de un programa de diseño, donde aparece el modelo en la posición en la que fue diseñado. Justamente en la esquina inferior izquierda se encuentra un ícono circular al que se debe dar “activar”. Al presionar el ícono antes mencionado y dar por aceptada la intención de seguir con el proceso, aparece la ventana mostrada en la Fig. 2.37 y se busca el lugar de ubicación de la edificación que es la zona correspondiente a la Universidad de El Salvador con la orientación correcta del terreno respecto al sur geográfico.



Fig. 2.36. Modelo del edificio en la posición en la que fue diseñado.



Fig. 2.37. Selección del lugar de ubicación de la edificación.

Al presionar el botón “Select Region” aparece la imagen de la zona orientada correctamente respecto al sur real mostrada en la Fig. 2.38. Se puede observar que la orientación del modelo está desviada de la real, de modo que habrá que ajustar el modelo a la imagen mostrada por el programa para obtener las sombras determinadas por el simulador y compararlas con las reales.

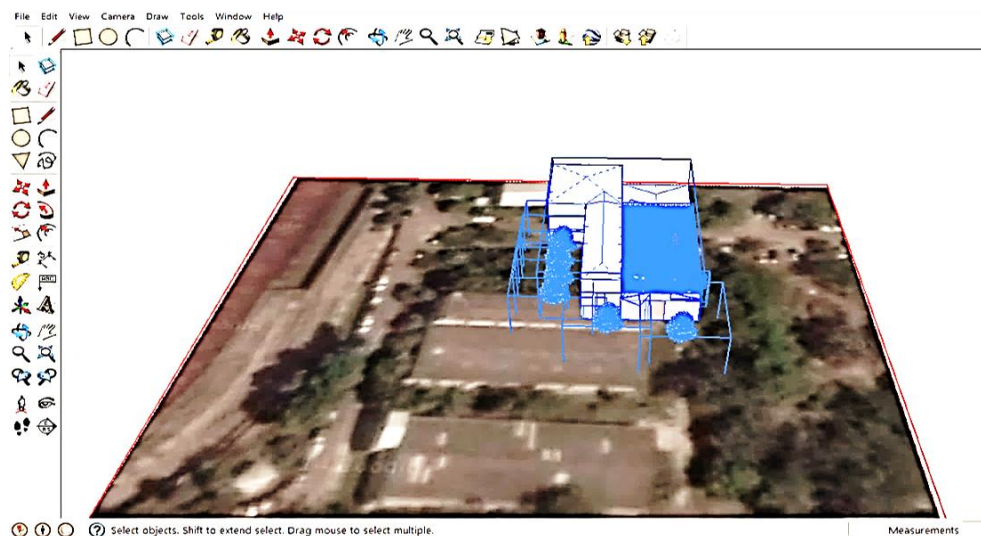


Fig. 2.38. Vista desde el sur real. El modelo está desviado $\sim 90^\circ$

Al ajustar el modelo se tiene la orientación correcta (ver Fig. 2.39).



Fig. 2.39. Modelo orientado con el sur que muestra el programa SketchUp junto a Google.

Orientado el modelo se realiza la simulación de sombras. La Fig. 2.40 muestra una proyección de sombras a las 17:00 horas del 21 de diciembre.



Fig. 2.40. Representación de la sombra proyectada por edificio a las 17:00 horas del solsticio de Inverno.

En la Fig. 2.41 se presenta un conjunto de paneles los cuales proyectan una sombra correspondiente al solsticio de invierno, a las 14:00 horas; se puede observar que no interfiere con la trayectoria de la radiación solar hacia otros dispositivos situados alrededor.

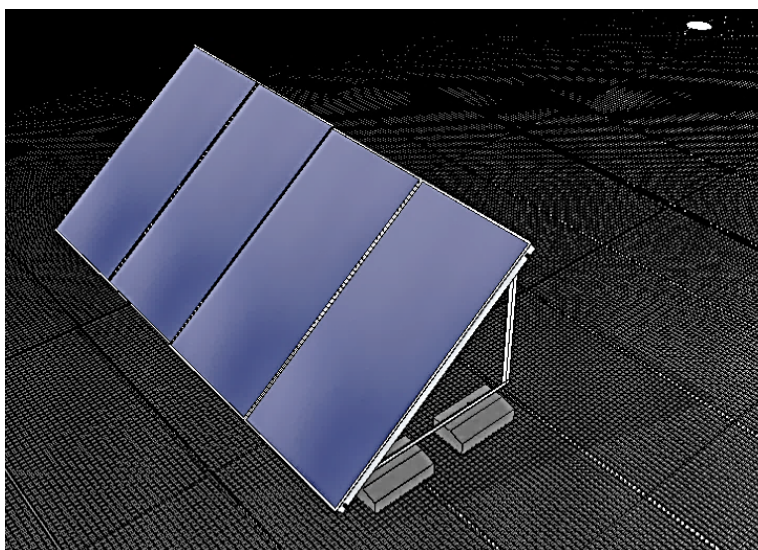


Fig. 2.41. Proyección de sombras por colectores planos en software (21 de diciembre a las 2:00 PM).

Tabla 2.8. Equipo de Oficina.

Equipo de oficina	Precio, \$
Escritorio, 73x102x44 cm	150.00
3 sillas secretariales	225.00
Archivero de 4 gavetas, 118x36x46 cm	209.00
Pizarrón blanco 60x90 cm	43.00
Computadora de escritorio	1,299.00
Teléfono	46.00
Impresora de inyección	119.00
Engrapadora estándar	15.00
Guillotina plástica	55.00
Tijeras	3.00
Perforadora 2 agujeros	13.00
Perforadora 3 agujeros	15.00
Calculadora científica	42.00
Sacapuntas eléctrico	18.00
Papelero	4.00
Sub-Total	2,137.00

Tabla 2.9. Materiales consumibles de oficina.

Consumibles de oficina	Precio, \$
Folders tamaño carta (100 uds.)	7.00
Caja de papel bond, 10 resmas	34.00
Marcadores para pizarra (caja de 12 uds.)	9.90
Borrador para pizarrón	1.40
Tóner para fotocopidora	70.00
Cartuchos de tinta	75.00
Tape	2.80
Bolígrafos caja (24 unid)	12.00
Lápiz n°2 caja (12 unid)	2.40
Borrador blanco caja (12 unid)	3.00
Corrector en pluma	2.30
Clips caja (100 unid)	0.50
Caja de grapas	1.50
Fastenes caja (100 unid)	3.00
Agenda	5.00
Sub-Total	229.80

Tabla 2.10. Listado de herramientas del taller de la planta piloto.

Herramientas mecánicas	Precio, \$
Llaves y juegos de llaves	
Llaves; juego fijas de dos bocas 6x7 a 30x32 mm	38.50
Llaves; juego estrella planas de dos bocas 6x7 a 30x32 mm	35.00
Llave ajustable moleta lateral 6 pulg	7.50
Llave ajustable moleta lateral 12 pulg	15.85
Llave ajustable moleta lateral 24 pulg	42.00
Llave; juego Allen serie larga con bola en petaca 1.5 a 12 mm	14.50
Llave; juego Allen serie larga con bola en petaca 3/67 a 3/4 pulg	16.75
Llave; fija dos bocas 29x32 mm	6.59
Llave; fija dos bocas 32x36 mm	9.90
Llave; fija dos bocas 34x36 mm	10.95
Llave; fija dos bocas 36x41 mm	14.49
Llave; fija dos bocas 41x46 mm	16.50
Llave; fija dos bocas 46x50 mm	17.10
Llave; estrella acodada 32x36 mm	6.45
Limas	
Juego de limas de relojero	3.50
Juego de limas (media luna, planas, triangulares, etc.)	7.00
Útiles de medición	
Calibrador "pie de rey"	20.00
Escuadra 12 pulg	18.00
Cinta métrica de 5 m	3.00
Nivel de agua anti choque	25.00
Útiles de corte	
Corte; arco de sierra	8.55
Corte; remachadora	20.00
Corte; tijeras para chapa	6.35
Corte; juego de sacabocados para arandelas y juntas	5.50
Cajas	
Arca metálica con candado	15.95
Caja de herramientas metálicas	23.00
Armario de pared para herramienta	100.00
Brocas	
Juego de brocas para metal, madera y concreto	36.00

Continúa

Tabla 2.10. Listado de herramientas del taller de la planta piloto (continuación).

Herramientas de taller	Precio, \$
Cortadora angular pequeña (de mesa)	80.00
Pulidora grande portátil	120.00
Taladradora	139.00
Aspiradora	74.00
Sierra de calar	137.00
Linterna recargable	15.00
Linterna a pilas	3.00
Pulidora pequeña portátil	89.00
Piedra para pulir	12.00
Juego de fresas de piedra con vástago	2.00
Juego de fresas de metal con vástago	4.00
Manguera para aire comprimido	16.00
Tornillo de banco (prensa)	113.00
Banco de trabajo portátil	110.00
Compás de trazar	16.00
Juegos de machos de roscar	16.00
Equipo de soldar eléctrico de A/C	259.00
Cautín de soldadura fría 30 A	19.45
Equipos de elevación y auxiliares	
Tecele manual de cadena 2T	155.00
Tecele señorita 2T	21.00
Eslingas de 2T de 2m	63.00
Tecele eléctrico 5T	500.00
EPP y elementos de seguridad	
Guantes de soldador	4.41
Mangas de soldador	12.40
Careta de soldador	4.95
Extintor de 5 kg	45.00
Candados de bloqueo	18.00
Guantes dieléctricos	4.50
Guantes químicos	1.85
Gafas de seguridad	2.50
Pantallas faciales transparentes	14.17
Manta ignífuga (Delantal)	30.66

Continúa

Tabla 2.10. Listado de herramientas del taller de la planta piloto (continuación).

Herramientas para trabajos con electricidad	Precio, \$
Electricidad; tenaza de electricista	7.50
Electricidad; navaja	4.90
Juego de destornilladores aislados para electricistas	24.35
Herramientas de diagnóstico e instrumentación	
Polímetro tester	24.75
Termómetro digital infrarrojos con puntero láser	12.00
Pinza amperimétrica	223.00
Herramientas de mantenimiento predictivo	
Analizador de vibraciones	395.00
Cámara termográfica	3,444
Consumibles útiles	Precio, \$
Cepillo de alambre con vástago	3.50
Discos de corte	2.25
Discos de desbastar	1.75
Hojas de lija de agua	0.35
Pliego de empaque para agua 2 mm	7.95
Pliego de empaque para aceite 2 mm	8.25
Tubo de pasta de juntas	15.30
Tubo de pasta para juntas, tipo loctite	16.44
Rollo de teflón pequeño	0.40
Rollo de hilo de estaño	20.40
Botes de limpia-contactos	8.25
Botes de "afloja-todo"	20.00
Masilla para soldadura fría	15.60
Fijador de espárragos	8.63
Cinta aislante	3.99
Guantes de tela ahulado	2.25
Rollo de cinta de tela gris	2.00
Juego de juntas tóricas (o ring)	39.00
Pegamento PVC	4.25
Sub-Total	7,511.46

3. ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA LA ADQUISICIÓN DE DISPOSITIVOS, HERRAMIENTAS Y MOBILIARIO PERTENECIENTE A LA PLANTA PILOTO.

El cálculo económico de los dispositivos y elementos que se incluirán en la planta piloto es básicamente una lista de precios y un estimado del valor de la inversión en materia de suministro. No se incluye en ningún momento mano de obra, puesto que este aspecto depende de la asignación del proyecto y determinadas ofertas que realizan los contratistas, evaluando factores que están fuera del alcance de este estudio.

Los dispositivos colectores, equipo de oficina y herramientas de taller componen, en primera instancia, en conjunto de elementos principales de la planta piloto, y por lo tanto, el valor total de estos elementos constituye la inversión estimada inicial a realizar para su construcción. Tales precios se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Precios de dispositivos, equipo de oficina y herramientas de taller mecánico.

Precios de dispositivos, herramientas y equipos de la planta piloto.	
Descripción	Precio, \$
Colector ACS	717.22
Sistema Frío Solar	20,665.01
CCP	1,475.00
Cocina Solar	375.42
Herramientas de taller mecánico	7,511.46
Equipo didáctico y de oficina	2,366.80
Total	33,110.91

La inversión mínima estimada que debe ser realizada para echar a andar en proyecto de la instalación de una planta piloto para el estudio de la energía solar térmica es de \$ 33,110.91.

En la Tabla 3.2 se presentan precios de elementos complementarios como los equipos de medición que pueden ser considerados para incluirse posteriormente y así, mejorar los alcances de la planta piloto como las mediciones y ampliación del laboratorio de energía solar térmica.

Tabla 3.2. Precios de instrumentos de medición y grúa estacionaria.

Precios de dispositivos de medición recomendados para la planta piloto	
Descripción	Precio, \$
Pirheliógrafo	1,011.44
Piranómetro	661.19
Sub-Total	1,672.63

En la Tabla 3.3 se presentan los precios aproximados y el sub-total de los materiales considerados para el montaje y ensamble de la estructura metálica de la planta piloto. Se debe recalcar que el dato de los materiales, la cantidad y su precio no han sido calculadas en detalle, sólo es una aproximación para que pueda considerarse en futuras expansiones y reforzamientos del edificio con vistas a instalar una planta piloto de energía solar térmica sobre dicha estructura. También, se puede construir la estructura de soporte por etapas o tramos y con lo cual se generarían espacios sobre el techo de la Unidad Productiva para aprovecharlos en la instalación de la Planta Piloto. Además, se presenta el precio de una grúa estacionaria opcional, propuesta para facilitar el manejo de dispositivos a la altura que requiere la planta piloto.

Tabla 3.3. Precios aproximados de accesorios y elementos adicionales opcionales de la instalación.

Resumen de materiales y misceláneos que deben considerarse para la estructura de entepiso y para la instalación de los sistemas solares.	
Accesorios	Precio, \$
Grating Gr 2500	37,125.00
Tuberías	202.96
Perfil W10x54	41,466.48
Angulo de 3x3x5/16 pulg	6,618.00
Grúa pluma estacionaria	10,420.00
Otros	3,000.00
Sub-Total	98,832.44

Realizando una sumatoria de precios aproximados de los materiales para la construcción opcional de la estructura metálica, el equipo de alce y los dispositivos de medición, se tiene un total de \$ 100,505.07

4. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Para establecer solventar las necesidades de mantenimiento de la Planta Piloto se propone un Programa de mantenimiento [25]. El objeto del plan de mantenimiento es definir las condiciones mínimas que deben seguirse para llevar a cabo un adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar térmica. Como criterio general se definen tres escalones de actuación, en los cuales se engloban todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma.

4.1. VIGILANCIA

El plan de vigilancia se basa en la observación de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Se observará el correcto comportamiento y estado de los elementos de la instalación.

4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Una instalación solar bien diseñada y correctamente instalada no tiene porqué ocasionar problemas al usuario. De hecho, el grado de satisfacción entre los usuarios actuales es muy elevado, tal y como ha quedado reflejado en múltiples ocasiones.

El hecho de introducir este apartado obedece más bien a que en una instalación solar es conveniente realizar ciertas labores de mantenimiento, de un alcance parecido a las correspondientes a cualquier otro tipo de sistemas de calefacción o de agua caliente sanitaria. Este factor conviene tenerlo presente para valorar la posibilidad de adquirir una instalación solar.

Como ocurre con cualquier otra tecnología, la situación y conservación del equipo dependerá del uso que se haga de él. Con un breve seguimiento rutinario será suficiente para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema durante toda su vida útil.

Las revisiones a cargo del administrador consistirán en observar los parámetros funcionales principales, para verificar que no se ha producido ninguna anomalía con el paso del tiempo. Por su parte, la empresa instaladora tendrá la responsabilidad de intervenir cuando se produzca alguna situación anormal y efectuar un mantenimiento preventivo mínimo periódicamente.

Este mantenimiento implicará la revisión anual de aquellas instalaciones con una superficie de captación inferior a 20 m^2 , o una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m^2 [9].

En cualquier caso, el plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica. Con la instalación también se facilitará un libro de mantenimiento en el que se reflejan las operaciones más importantes a realizar, así como la forma de actuar ante posibles anomalías.

El plan de mantenimiento preventivo consta de una serie de operaciones de inspección visual y verificación de actuaciones a aplicar a la instalación para mantener dentro de los límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de las instalaciones.

La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejará todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo incluirá todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil (Ver Fig. 4.1).



Fig. 4.1. El mantenimiento preventivo es muy importante para evitar daños en las instalaciones térmicas solares.

Las medidas a tomar en el caso de que en algún mes del año el aporte solar sobrepase el 110% del calculado en el diseño del dispositivo o en más de tres meses seguidos el 100%, son las siguientes:

- a) Vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares.
- b) Tapado parcial del campo de captadores. En este caso el colector está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que sigue atravesando el colector).
- c) Se fijará un programa de seguimiento de la instalación que prevendrá los posibles daños ocasionados por los posibles sobrecalentamientos producidos en los citados periodos y en cualquier otro periodo del año.

En general el mantenimiento preventivo debe incluir:

- a) Comprobación del funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- b) Prueba hidrostática de los equipos.
- c) Comprobación de las válvulas de seguridad y de las tuberías de descarga de las mismas, comprobando que no estén obturadas y que están en conexión con la atmósfera.

- d) Comprobación de la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado y purga de la instalación.
- e) Comprobar que alimentando eléctricamente las bombas del circuito, entran en funcionamiento y el incremento de presión indicado con los manómetros se corresponden en la curva con el caudal del diseño del circuito.
- f) Comprobación de la actuación del sistema de control y el comportamiento global de la instalación.
- g) En caso de largas temporadas de inactividad, es oportuno cubrir los paneles para protegerlos de los rayos solares.
- h) Una vez a la semana, quitar el polvo de las superficies de los colectores solares (si están descubiertos durante todo ese tiempo), y realizarles una limpieza general, incluso en tiempos más cortos si la suciedad se deposita en demasía.
- i) Verificar cada 3 años el ánodo de magnesio del depósito.
- j) En caso de rotura accidental de la cubierta del panel, en tanto se produce la sustitución, es preciso proteger en seguida el panel con una manta transparente, ya que la lluvia provoca un rápido y grave daño al panel.

4.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El plan de mantenimiento correctivo consiste en una serie de operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia, en el de mantenimiento preventivo o en el pleno uso del sistema.

CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación de una propuesta de diseño de una Planta Piloto para el Estudio de la Energía solar Térmica se concluye que existe espacio adecuado para la puesta en marcha de proyectos de este tipo de energía renovable en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. Si bien en cierto, han sido descartadas para este trabajo dos alternativas, éstas pueden ser retomadas redimensionando la planta piloto de manera que se ocupe el espacio disponible en cada una de ellas. No obstante, la mejor alternativa sigue siendo el techo de la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica por aspectos fundamentalmente técnicos y de ubicación estratégica.

La construcción de una Planta Piloto como laboratorio experimental sobre la energía solar térmica es útil para complementar la temática abordada en asignaturas sobre energías renovables, termodinámica y transferencia de calor que se imparten en Ingeniería Mecánica. Los estudiantes de esta carrera pueden aprovechar las instalaciones de la Planta Piloto para profundizar en los conocimientos adquiridos de forma experimental, analizando procesos termodinámicos, transformación de la energía solar y otras aplicaciones propias del estudio de energía solar térmica.

La investigación realizada en base a las experiencias documentadas en otras regiones del planeta y adaptándolas a las necesidades de El Salvador dan por resultado la utilización de dispositivos dispuestos de tal forma que se lleve a cabo un aprovechamiento óptimo de estos en cuanto a inclinación, orientación y distribución en el espacio.

El uso de la energía solar térmica puede llegar a ser fundamental en un mediano plazo y las ventajas que ofrece respecto a la energía solar fotovoltaica son considerables, especialmente en cuanto a la inversión inicial y eficiencia tecnológica. Cabe mencionar que la percepción de su contribución para contrarrestar el costo actual de energía es importante si se presta atención a la cantidad de energía eléctrica que se utiliza para transformarla en térmica.

RECOMENDACIONES

1. La construcción de una Planta Piloto para estudiar el uso de la energía solar térmica es importante en La Universidad de El Salvador como garante de la formación profesional del estudiantado. Se debe visualizar el estudio y uso de este tipo de tecnología como un agregado a la investigación de aplicaciones emergentes en la búsqueda de la transformación de la energía limpia y renovable.
2. Los dispositivos de las instalaciones térmicas solares deben adquirirse de buena calidad para que sean duraderas y puedan ser utilizadas por varias promociones de estudiantes para el conocimiento académico y de aplicación que tiene este tipo de tecnología.
3. Los costos de los materiales de acero están en constante cambio con tendencias al alza, por ello es importante que la adquisición de materiales sea en cantidades de peso total de acero y no por unidades o piezas.
4. La ejecución de la construcción de la planta piloto puede realizarse en varias etapas y no necesariamente en una sola. Esto permitiría suavizar la búsqueda y el manejo de recursos. Igualmente, se podrían incluir dispositivos de proyectos pequeños que ya se están ejecutando o proyectos estudiantiles aprovechando así el interés del alumnado y minimizando la inversión inicial. Además, esta forma de ejecución permite adicionar a futuro otros dispositivos expandiendo de forma eficiente la planta piloto en los espacios asignados.
5. El techo de la Unidad Productiva es una alternativa de un espacio con una buena ubicación, sin embargo, conforme se vayan modernizando las edificaciones de la Universidad de El Salvador se pueden buscar nuevos espacios disponibles con accesos y configuraciones convenientes para futuras reubicaciones de la Planta Piloto.

REFERENCIAS

- [1] Duffie, J. A., y Beckman W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes, 4th Edition. Estados Unidos NJ: Wiley.
- [2] Generalitat Valenciana., Conselleria d'infraestructures i transport., y Agencia valenciana de la energía (2009, 1 enero). Guía práctica de Energía Solar Térmica. España: AVEN.
- [3] CNE., y GIZ (2013, marzo). Fomentando el uso de fuentes renovables de energía en El Salvador. Caso de estudio: Proyecto fotovoltaico en techo conectado a la red. El Salvador: Consejo nacional de energía.
- [4] Cabrera, A., Franco, P., y Cunha, C. (2009, Junio). Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas. Uruguay: Facultad de Arquitectura de la Universidad OTR.
- [5] Gonzales, E., y Planas, R. (1990, Octubre). Tesis: Diseño de una planta piloto para investigaciones experimentales de sistemas de aprovechamientos de energía solar y de un sistema termosifón para calentamiento de agua. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- [6] Rosa Lúe, A. (2010). Trabajo de graduación: Propuesta de un sistema solar térmico para la obtención de agua caliente sanitaria en un complejo deportivo. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- [7] Tinajero Salcedo, Miguel A. (2004). Trabajo de graduación en Maestría en Energía: Calentamiento solar de agua en la ciudad de Arequipa-Perú: una contribución a su desarrollo. Brasil: Universidad de Sao Pablo.

- [8] Ayala, M., Sánchez, I., Escalante, A., y Marroquín, W. (2005, octubre). Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador. El Salvador: UCA.
- [9] Ministerio de Vivienda (Marzo 2006). Código Técnico de la Edificación CTE. España.
- [10] <http://www.snet.gob.sv> Revisión: 4 febrero 2015
- [11] <http://www.agenergia.org> Revisión: 5 febrero 2015
- [12] <http://energia.ivace.es> Revisión: 5 febrero 2015
- [13] <http://www.minetur.gob.es> Revisión: 5 febrero 2015
- [14] <http://www.fenercom.com> Revisión: 5 febrero 2015
- [15] <http://metrix-elsalvador.com> Revisión: 5 febrero 2015
- [16] <http://www.solosol.org> Revisión: 5 febrero 2015
- [17] <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx> Revisión: 10 febrero 2015
- [18] <http://www.nrel.gov> Revisión 10 febrero 2015
- [19] <http://www.cel.gob.sv> Revisión 7 febrero 2015
- [20] <http://www.eosweb.larc.nasa.gov> Revisión 7 febrero 2015
- [21] <http://www.koegel-energietechnik.de> Revisión 7 febrero 2015

[22] <http://www.ecotec2000.de> Revisión 7 febrero 2015

[23] <http://www.terra.org> Revisión 10 noviembre 2014

[24] <http://cbe.ivic.ve> Revisión 14 diciembre 2014

[25] Secretaría de Estado de Energía, Dirección General de Política Energética y Minas (septiembre 2013). Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios RITE. España.

ANEXOS

ANEXO A-1. FICHA TÉCNICA DE COLECTOR SOLAR SUNNY SOL-UP DE PLACAS PLANAS PARA ACS

- **Diseño exigente y moderno**
- **Calidad probada y controlada**
- **Corto periodo de amortización gracias a la magnífica relación calidad-precio**
- **10 años de garantía**
- **Certificado europeo solar key mark**
Registration No: 011-7S026F



Estable marco de aluminio, con pared doble pulverizada

Cristal solar endurecido 4 mm y resistente al granizo, con alta penetración de radiación solar

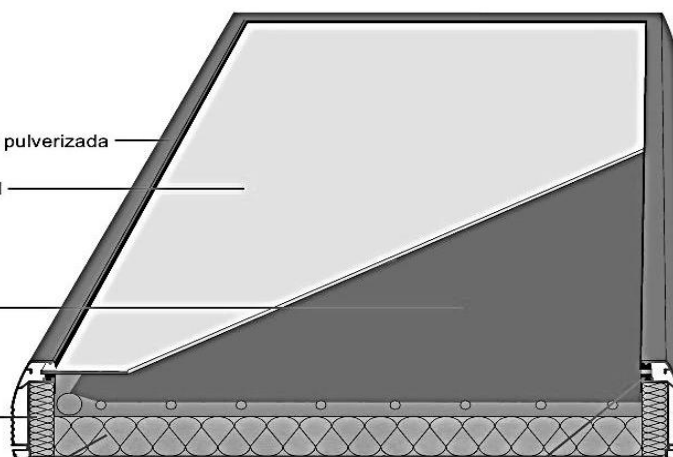
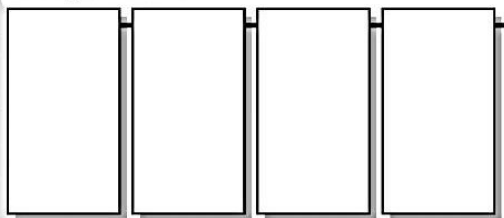
Absorbedor de cobre con recubrimiento de alta selectividad para obtener el máximo aprovechamiento de la energía solar

Aislamiento lateral de 20 mm de grosor de lana mineral un material que no libera gases a altas temperaturas

Aislamiento posterior de 30 mm de grosor de lana mineral para conseguir un mayor rendimiento

Pared posterior de chapa de aluminio resistente al agua del mar

Juntas de caucho EPDM de primera calidad con varias capas de estanqueidad

**sunnySol-UP V**

1070 mm

2200 mm

sunnySol-UP H

2100 mm

4260 mm

Medidas de montaje sunnySol-UP

3 ud	=	3330	mm
4 ud	=	4460	mm
5 ud	=	5590	mm
6 ud	=	6720	mm
7 ud	=	7850	mm
8 ud	=	8980	mm
9 ud	=	10110	mm
10 ud	=	11240	mm

Medidas de montaje sunnySol-UP

3 ud	=	6420	mm
4 ud	=	8580	mm
5 ud	=	10740	mm
6 ud	=	12900	mm
7 ud	=	15060	mm
8 ud	=	17220	mm
9 ud	=	19380	mm
10 ud	=	21540	mm

Fig. A-1.1. Características físicas y dimensionales del colector de placa plana utilizado para ACS en la planta piloto.

Datos técnicos:	
Dimensiones sunnySol-V:	2100 x 1070 x 85 mm
Dimensiones sunnySol-H:	1070 x 2100 x 85 mm
Superficie total:	2,25 mq
Superficie de abertura:	2,015 mq
Superficie absorbente:	2,015 mq
Peso sin portador de calor:	45 kg
Volumen total del colector:	1,95 l
Inclinación máxima:	< 75°
Inclinación mínima:	> 20°
Presión máx. de trabajo:	10 bares
Presión de prueba:	15 bares

Datos técnicos ensayo de rendimiento según EN 12975-2:	
Colector test Nr.	2.04.00334.1.0
Conversion factor η_k	0,778
Conversion factor $\eta_{0,05}$	0,549
Coefficiente de pérdida calorífica simple a1	4,00 W/m ² K
Coefficiente de pérdida calorífica cuadrática a2	0,014 W/m ² K ²
Factore de corrección del ángulo (IAM 50°)	0,94

Potencia térmica	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
^{*)} $\vartheta_k - \vartheta_a = 10$ K	543	1013	1484
^{*)} $\vartheta_k - \vartheta_a = 30$ K	359	829	1299
^{*)} $\vartheta_k - \vartheta_a = 50$ K	151	622	1092

Curva de rendimiento según EN 12975-2:
Rendimiento referito a la superficie de abertura

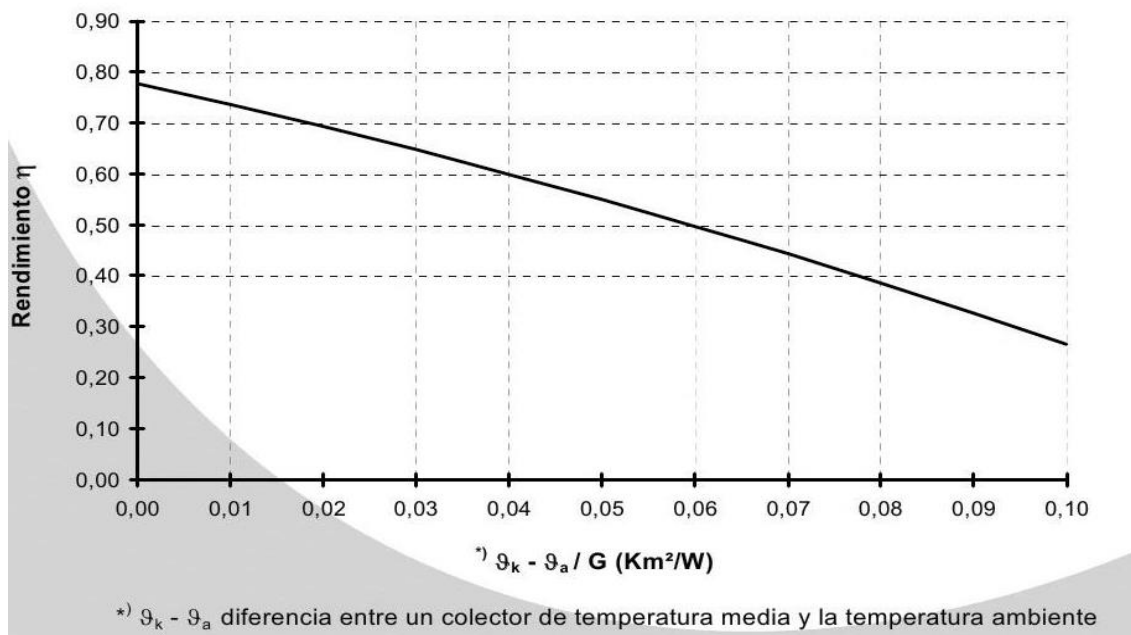
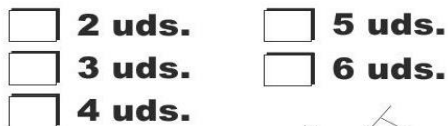


Fig. A-1.2. Datos técnicos del colector de placa plana a utilizar en la planta piloto.

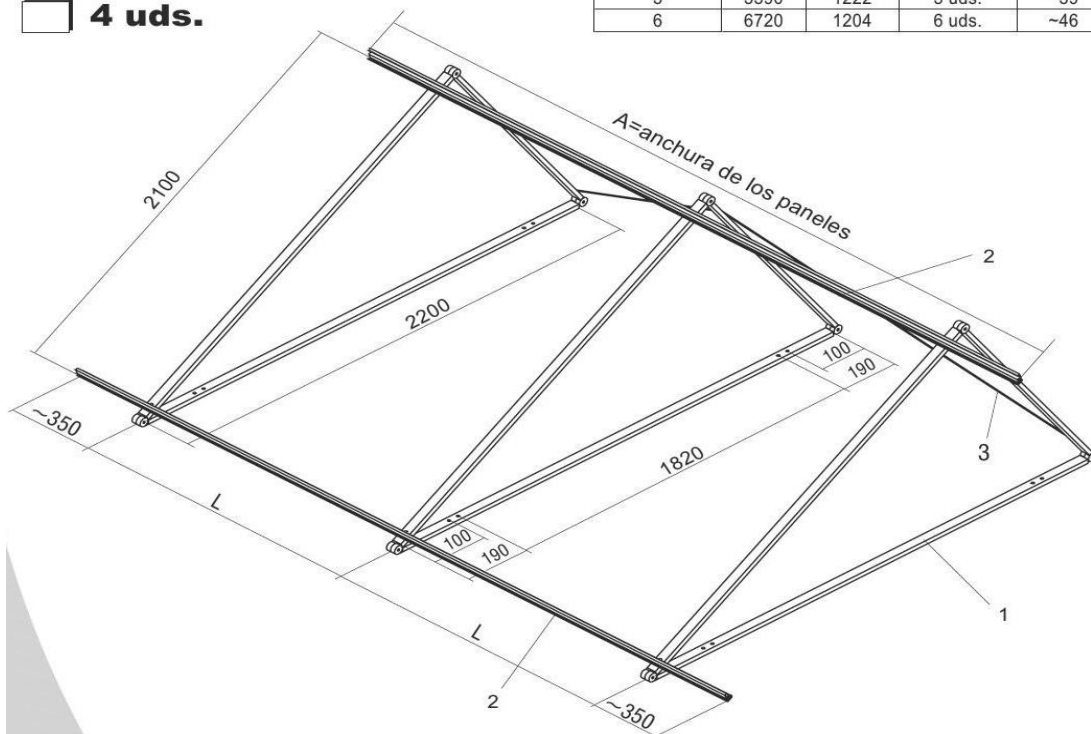
ANEXO A-2. MONTAJE DE BASTIDOR DE COLECTOR SOLAR PLANO



**Bastidor de montaje
para tipo vertical**



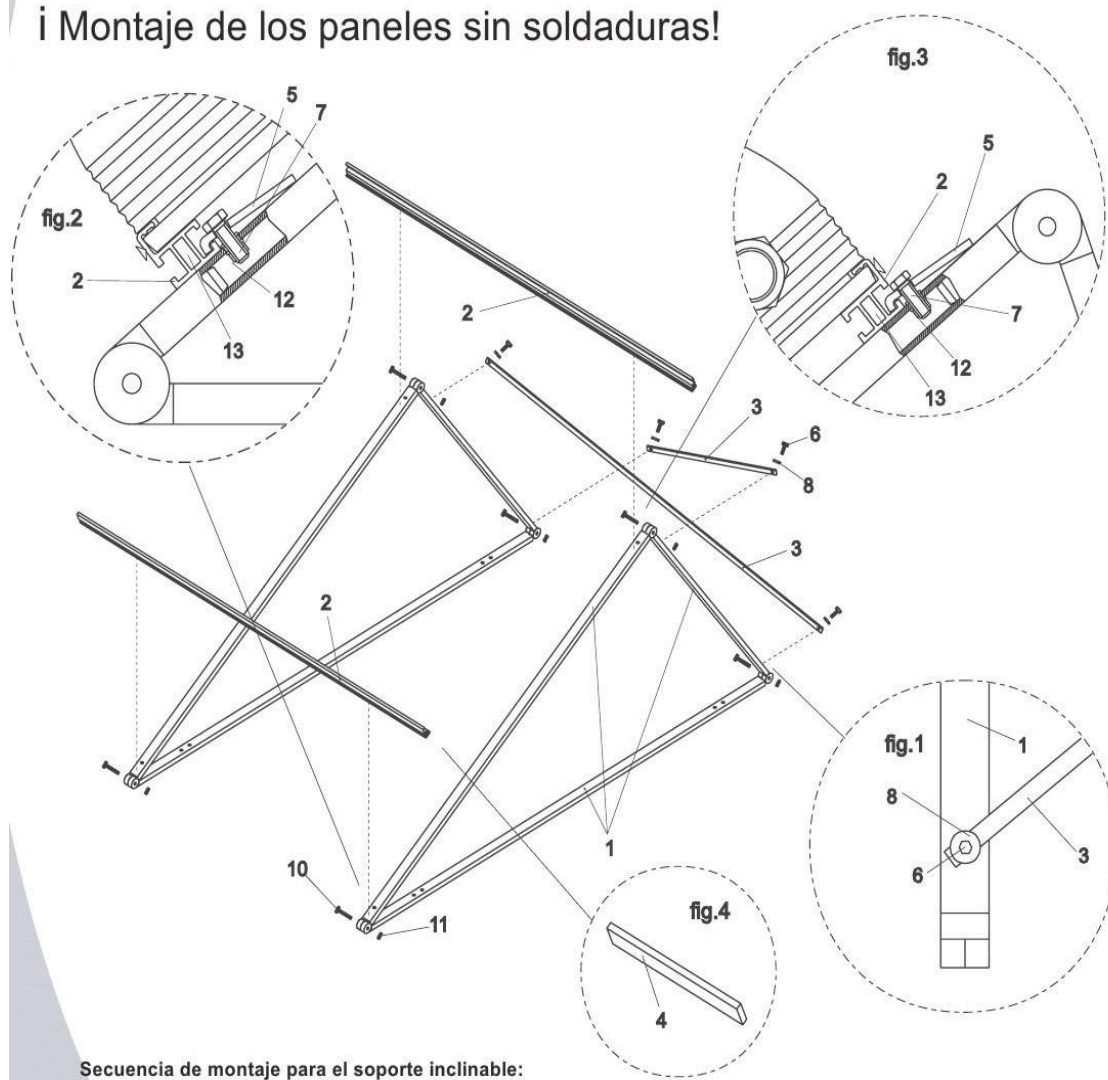
Paneles Nr.	A mm	L mm	Soportes Nr.	Peso kg
2	2200	1500	2 uds.	~19
3	3330	1315	3 uds.	~26
4	4460	1253	4 uds.	~32
5	5590	1222	5 uds.	~39
6	6720	1204	6 uds.	~46



Pos	Código	Descripción	Paneles solares						
			1	2	3	4	5	6	
			Código	03551	03552	03553	03554	03555	03556
1	03916	Set perfil de aluminio 40 x 20 (tres barras)	2	2	3	4	5	6	
2	09150	Perfil en aluminio pulverizado	2	2	2	2	2	2	
3	03941	Tirantes de aluminio	2	2	2	2	2	2	
4	09717	Barra de unión en aluminio	2	2	2	2	2	2	
5	03948	Anclaje - AISI 304	4	4	6	8	10	12	
6	29068	Tornillo con cabeza hexagonal SKS M8x20 - AISI 304	4	4	4	4	4	4	
7	29066	Tornillo con cabeza hexagonal SKS M8x25 - AISI 304	4	4	6	8	10	12	
8	29206	Arandela para M8 - AISI 304	4	4	4	4	4	4	
9	29526	Tornillo autoperforante/autoenroscable 5.5x32 mm	4	4	6	8	10	12	
10	29045	Tornillo llave allen M8x35 DIN 912 - AISI 304	6	6	9	12	15	18	
11	29272	Tuerca hexagonal de seguridad M8 DIN 985 - AISI 304	6	6	9	12	15	18	

Fig. A-2.1. Características físicas y dimensionales del el bastidor que soporta colector de placa plana utilizado para ACS en la planta piloto.

¡ Montaje de los paneles sin soldaduras!

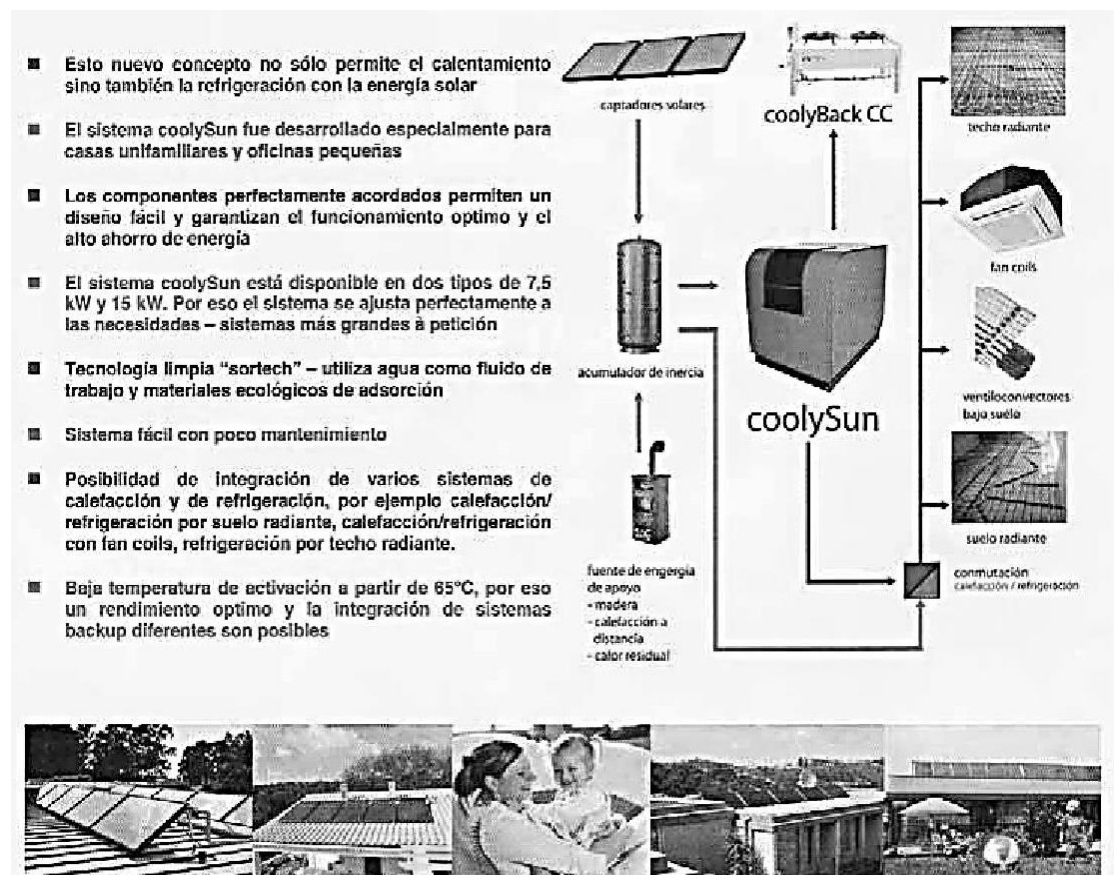


Secuencia de montaje para el soporte inclinado:

- Acoplar el set de perfiles 1 con el tornillo 10 para llave allen y la rosca hexagonal de seguridad 11.
- Establecer la posición de cada soporte respetando la distancia indicada en la página anterior y fijar los soportes sobre la estructura con los tornillos y los tacos de expansión.
- Montar los tirantes 3 (la perforación se hace en el sitio después de hacer la medición) con el tornillo de cabeza hexagonal 6 y la arandela 8 en la adecuada rosca 12, montada sobre el perfil 1 con se indica en la Fig.1. Los tirantes deben partir desde la parte de arriba del primer panel pasando después a la parte de abajo del segundo, el montaje debe terminar con el segundo tirante que pasa desde la parte de abajo del penúltimo a la parte alta del último.
- Fijar el perfil 2 en la parte inferior con el anclaje 5 y el tornillo con cabeza hexagonal 7 en la adecuada rosca 12 montado en el perfil 1 como es indicado en la Fig. 2.
- Introducir los paneles en perfil 2 y montar de la misma forma el perfil 2 en la parte superior sin fijarlos.
- Juntar los paneles utilizando los racores correspondientes en la parte superior utilizando las llaves fijas 38 y 27.
Atención! Es necesario sujetar firmemente el racor del captador, para evitar que el tubo del absorbedor se tuerza!
- Fijar el perfil 2 en la parte superior con el anclaje 5 y el tornillo de cabeza hexagonal 7 en la adecuada rosca 12 montado en el perfil 1 como se indica en la Fig. 3 .
- Introducir la barra de conexión 4 Fig. 4 en la ranura 13 de modo que queden juntos los perfiles 2.
- Fijar con el tornillo autoperforante/autoenroscable cada panel, tanto en la parte superior como en la parte inferior, en el adecuado agujero del perfil.

Fig. A-2.2. Montaje del bastidor del colector de placa plana utilizado para ACS en la planta piloto.

ANEXO A-3. DOCUMENTO TÉCNICO DEL PROVEEDOR DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN SOLAR



Kit de refrigeración:

	Kit de refrigeración coolySun 7,5	Kit de refrigeración coolySun 15
Captadores:	12 uds. sunnySol UP con bastidor de montaje	24 uds. sunnySol UP con bastidor de montaje
Área útil de los captadores:	24,12 m ²	48,24 m ²
Máquina de adsorción:	coolySun AD 8-1	coolySun AD 15-1
Torre de refrigeración:	coolyBack CC 8-1	coolyBack CC 15-1
Acumulador Inercial:	1 acumulador inercial accuHeat PSM1500 litros	2 acumuladores inerciales accuHeat PSM1500 litros
Accesorios:	Grupo de estratificación para acumulador inercial Vaso de expansión Anticongelante Regulación para 3 circuitos Set de bombas para el circuito de agua de refrigeración	Grupo de estratificación para acumulador inercial Vaso de expansión Anticongelante Regulación para 3 circuitos Set de bombas para el circuito de agua de refrigeración
Opcional:	Módulo de agua para la preparación de agua caliente sanitaria	Módulo de agua para la preparación de agua caliente sanitaria

Fig. A-3.1. Características y ventajas del uso del kit de refrigeración con energía solar térmica.

coolySun AD El sector principal de aplicación es refrigeración de edificios de tamaño pequeño y mediano. Como energía de activación se puede utilizar calor a partir de 65 °C. Estas temperaturas de activación permiten un muy alto potencial de explotación de energía solar.

El equipo coolySun AD es suministrado como unidad compacta con regulación y torre de refrigeración coolyBack a circuito cerrado.

Características únicas:

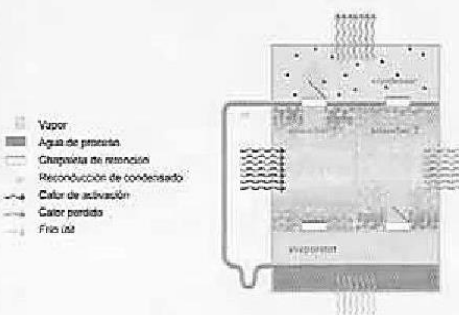
- Equipo compacto de aspecto elegante
- Proceso sencillo que exige poco mantenimiento
- Alto rendimiento con temperatura de activación a partir de 65°C
- Bajo consumo de energía eléctrica
- Poca susceptibilidad a perturbaciones, funcionamiento estable desde 60°C hasta 95°C.
- Alto ahorro de energía y agua gracias la torre de refrigeración a circuito cerrado coolyBack
- Tecnología limpia que respeta el medio ambiente: no se utilizan refrigerantes controvertidos, solo agua
- Disponible en 2 tipos con 7,5 kW y 15 kW
- Posibilidad de conexionado en batería hasta una potencia de hasta 60 kW

Características técnicas	Unidades	coolySun 8-1	coolySun 15-1
		Punto de trabajo nominal	
Potencia nominal	KW	7,5	15
Potencia efectiva	KW	5-10	10-20
COP, nominal		0,56	0,58
Círculo de agua fría			
Temperaturas entrada / salida	°C	18/15	18/15
Caudal	m³/h	2,0	4,3
Pérdida de presión	Mbar	370	550
Presión de trabajo máx.	Bar	4	4
Tomas de conexión	RE	1"	1 1/4"
Círculo agua de refrigeración			
Temperaturas entrada / salida	°C	27/32	27/32
Caudal	m³/h	3,7	6,8
Pérdida de presión	Mbar	610	610
Presión de trabajo máx.	Bar	4	4
Tomas de conexión	RE	1"	1 1/4"
Círculo de agua caliente			
Temperaturas entrada / salida	°C	72/65	72/65
Caudal	m³/h	1,6	3,7
Pérdida de presión	Mbar	300	620
Presión de trabajo máx.	Bar	4	4
Tomas de conexión	RE	3/4"	1 1/4"
Alimentación eléctrica			
Tensión	V	230 ~	230 ~
Frecuencia	Hz	50	50
Consumo de energía	W	9	12
Dimensiones			
Longitud	mm	790	790
Profundidad	mm	1080	1320
Altura	mm	940	1450
Peso	kg	aprox. 260	aprox. 510

coolySun AD 8-1



Funcionamiento máquina de adsorción coolySun AD:



Paso 1: Desorción mediante aportación de calor
Calentando el adsorbente, se forma vapor del agua que se licua en el condensador. A continuación se cierra la válvula de retención.

Paso 2: La adsorción produce frío
Después de una fase de refrigeración, el vapor es aspirado por la válvula de retención y adsorbido. El agua se evapora en el evaporador y produce frío.

Paso 3: Reconducción del condensado
El ciclo se cierra reconduciendo el condensado a la cámara del evaporador.

Para producir frío de forma continuada, se hacen funcionar dos adsorbedores de forma anticíclica, es decir que durante la desorción de un adsorbedor, el otro adsorbe y produce frío.

Fig.A-3.2. Datos técnicos del equipo de refrigeración solar por adsorción a incluir en la planta piloto.

coolyBack CC es una torre de refrigeración a circuito cerrado (proceso seco) con la última tecnología de ventiladores EC ha sido diseñado para que funcione de forma óptima con el sistema frigorífico de adsorción coolySun AD. Para bajar temporalmente la temperatura del circuito de refrigeración cuando la temperatura exterior es muy alta y, por tanto, para aumentar claramente la potencia frigorífica de la máquina, el coolyBack CC se ha equipado con un sistema de nebulización de agua fría.

Un regulador integrado (coolyBack CC se controla directamente de forma adecuada para este uso por el sistema coolySun AD) crea un subsistema optimizado en sí mismo con interfaces sencillas.

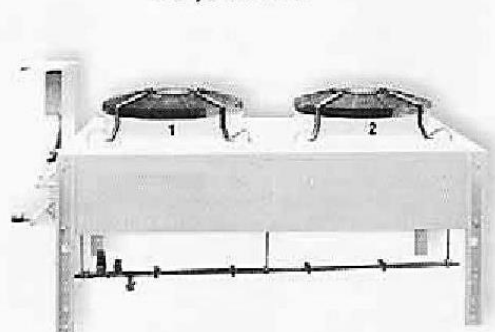
El coolyBack CC permite un alto rendimiento del sistema de refrigeración con un aprovechamiento óptimo de la energía eléctrica y del agua fría.

Características:

- Acordado a las máquinas de adsorción coolySun AD
- Ventiladores de última tecnología EC
- Sistema de nebulización de agua fría
- Regulador integrado

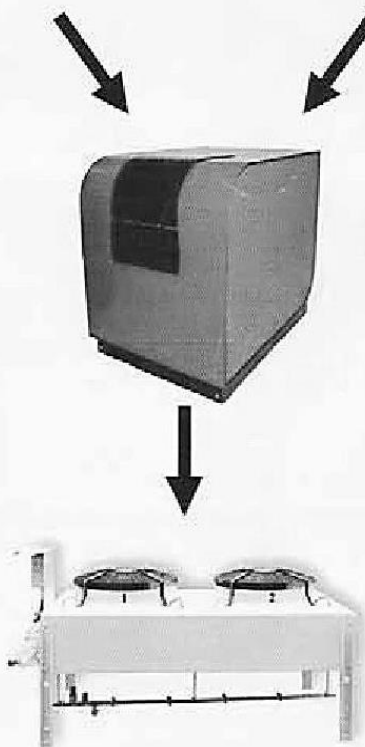
Características técnicas	Unidades	coolyBack 8-1 CC	coolyBack 15-1 CC
		Punto de trabajo nominal	
Potencia del circuito de refrigeración	kW	21	42
Ventiladores		2x ventilador EC 650	3x ventilador EC 650
Nivel de presión sonora a 10 m	dB(A)	43	51
Refrigerante		Agua	
Consumo máx. de agua	l/h	20	30
Caudal nominal	m ³ /h	3,7	6,8
Pérdida de presión a caudal nominal	mbar	150	210
Tomas de conexión entrada/salida	mm	35,0*1,5	42*1,6
Conexión hidráulica (para la nebulización)			
Tomas de conexión	mm	22,0*1,0	22,0*1,0
Presión de trabajo	bar	3-6	3-6
Alimentación eléctrica			
Tensión	V	230 ~	230 ~
Frecuencia	Hz	50	50
Consumo máx. de energía eléctrica	W	660	890
Tensión de control	V	0-10	0-10
Dimensiones			
Longitud	mm	2000	4125
Profundidad	mm	1145	1145
Altura	mm	950	950
Peso	kg	aprox. 188	aprox. 330

coolyBack CC 8-1



Esquema de las energías:

(rango de temperaturas de trabajo)



La torre de refrigeración debe ser capaz de disipar la energía producida por la instalación solar y el edificio.

Fig. A-3.3. Datos técnicos de la torre de refrigeración solar a incluir en la planta piloto.

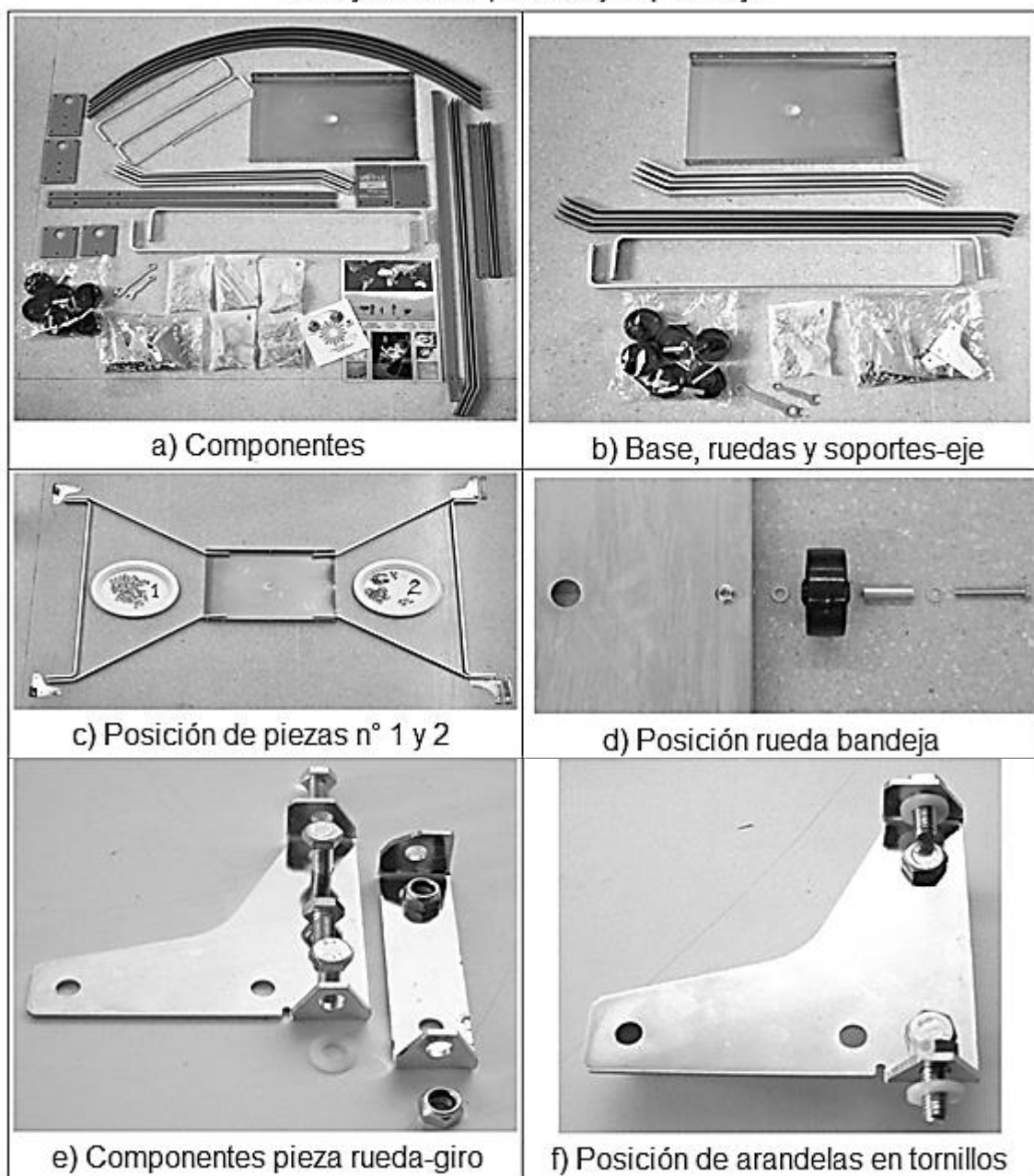
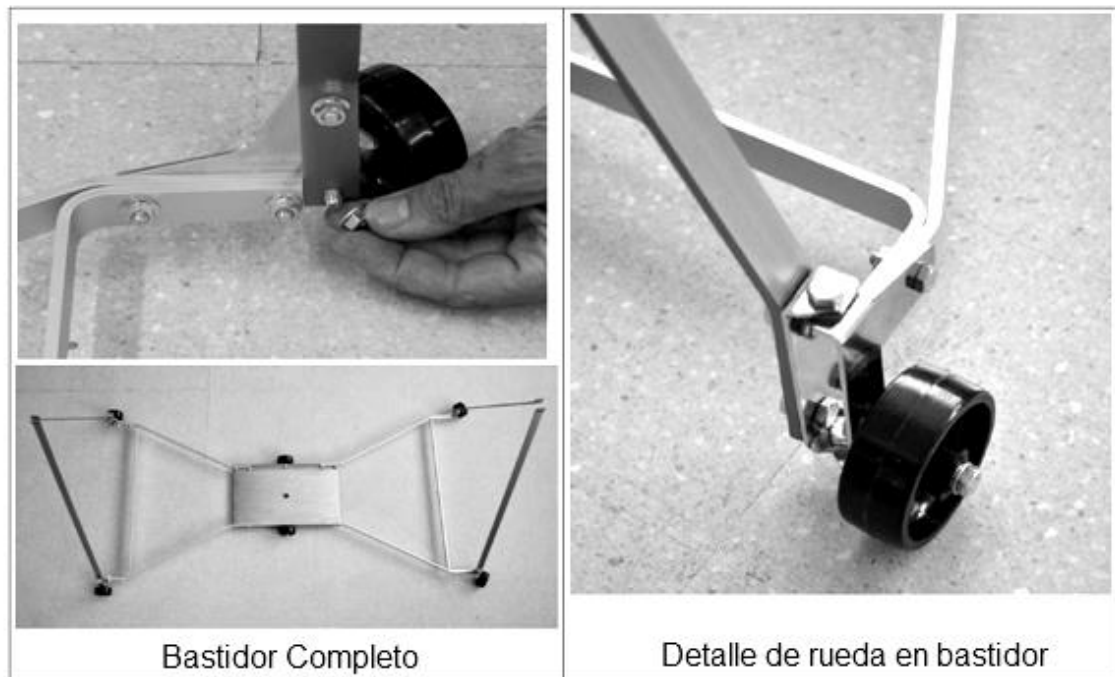
ANEXO A-4. MANUAL DE INSTALACIÓN DE LA COCINA SOLAR ALSOL 1.2**Manual alSol 1.2
Montaje de base, ruedas y soporte-eje**

Fig. A-4.1. Manual de montaje del bastidor y soporte de la cocina solar térmica alSol 1.2.



Fig. A-4.2. Forma de montaje de las ruedas del soporte de la cocina solar térmica alSol 1.2.



Montaje de eje de parrilla

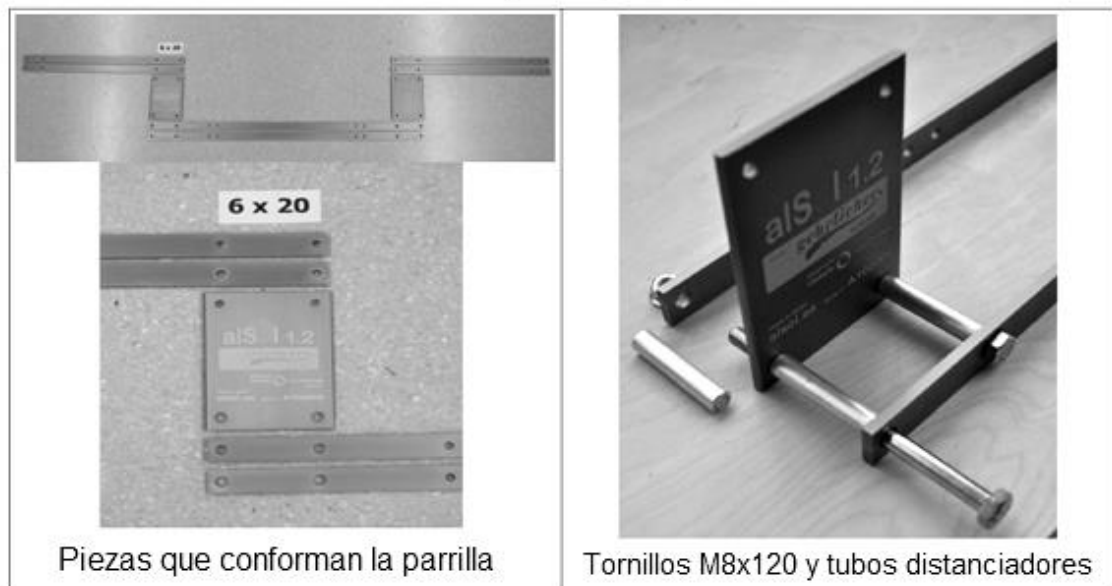


Fig. A-4.3. Forma de montar el eje de la parrilla de la cocina solar térmica alSol 1.2.

ANEXO A-5. DOCUMENTO TÉCNICO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN PIRANÓMETRO



LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12 PIRANÓMETROS

Delta Ohm produce, de acuerdo con la regulación ISO 9060 y las recomendaciones de WMO, los piranómetros de primera clase LP PYRA 02, LP PYRA 12 y el piranómetro de segunda clase LP PYRA 03. Son instrumentos robusto, fiables, soportan las condiciones climáticas adversas, son adecuados para instalaciones en campo.

Uso típico: Búsquedas atmosféricas, estaciones meteorológicas, climatología, agricultura, búsqueda en el sector del ahorro energético, medida de la eficiencia de plantas fotovoltaicas, etc.



LP PYRA 02

Los piranómetros LP PYRA 02 y LP PYRA 03 miden la irradiación solar global en el campo espectral $0.3 \mu\text{m} \div 3 \mu\text{m}$. LP PYRA 12, gracias al anillo de la pantalla para la componente directa, permite medir sólo la componente difundida de la radiación solar. Los piranómetros no requieren alimentación externa, tienen una sensibilidad de:

$$10 \frac{\text{mV}}{\text{kW} \cdot \text{m}^2}$$

Cada piranómetro está calibrado individualmente con referencia al WRR (World Radiometric Reference) y está acompañado por un Informe de Calibración.

Características técnicas	LP PYRA 02 / LP PYRA 12*	LP PYRA 03
Sensibilidad típica	10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$	
Impedancia	33 $\Omega \pm 45 \Omega$	
Campo de medida	0 \div 2000 W/m^2	
Campo de vista	2 π sr	
Campo espectral	305 nm \div 2800 nm (50%)	
Temperatura de trabajo	-40 $^{\circ}\text{C} \div$ 80 $^{\circ}\text{C}$	
Peso	0,90 Kg	0,45 Kg
Características técnicas según ISO 9060		
Tiempo de respuesta (95 %)	< 28 seg.	< 30 seg.
Off-set de cero		
a) Respuesta a una radiación térmica (200 W/m^2)	15 W/m^2	25 W/m^2
b) Respuesta a un cambio de la temperatura ambiental de 5 K/h	< \pm 4 W/m^2	< \pm 6 W/m^2
3a) Inestabilidad a largo plazo (1 año):	< \pm 1,5%	< \pm 2,5%
3b) No linealidad	< \pm 1%	< \pm 2%
3c) Respuesta según la ley del coseno:	< \pm 18 W/m^2	< \pm 22 W/m^2
3d) Selectividad espectral	< \pm 5%	< \pm 7%
3e) Respuesta según la temperatura:	< 4 %	< 8 %
3f) Respuesta según el Tilt	< \pm 2%	< \pm 4%
Anillo de la pantalla para LP PYRA 12		
Peso		5,90 Kg
Diámetro del anillo		570 mm
Altura del anillo		54 mm
Diámetro de la base		300 mm

Los piranómetros están disponibles también con la señal de salida amplificada y convertida en una señal en corriente 4...20mA o tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc y 0...10Vdc.

CÓDIGOS DE PEDIDO

LP PYRA 02: Piranómetro de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. Sensibilidad típica 10 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$. **El cable tiene que ser pedido separadamente.**

LP PYRA 02AC: Piranómetro de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida en corriente 4...20mA 4mA = 0 W/m^2 , 20mA = 2000 W/m^2 . Alimentación: 10...30Vdc.**

LP PYRA 02AV Piranómetro de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante M12 de 4 polos e informe de calibración. **El cable tiene que ser pedido separadamente. Salida del señal en tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc. 0Vdc = 0 W/m^2 , 1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000 W/m^2 . Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).**

LP S1: Conjunto compuesto por soporte para fijar los piranómetros LP PYRA 02 a un soporte cilíndrico, completo de tornillos para la puesta en plano y fijación.

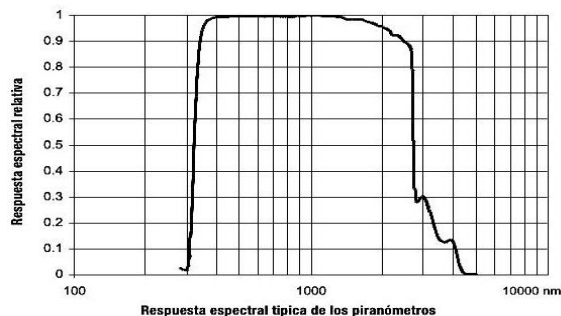


Fig. A-5.1. Datos técnicos del piranómetro LE PYRA 03.

LP SP1: Pantalla de protección para LP PYRA 02.
LP SG: Cartucho para contener los cristales de sílice gel completa de OR.
LP G: Paquete de 5 recargas de sílice gel.
LP PYRA 03: Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.**
LP PYRA 03AC: Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.** **Salida en corriente 4...20mA** 4mA= 0 W/m², 20mA= 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc.
LP PYRA 03AV: Piranómetro de segunda clase según ISO9060. Completo de nivela para la puesta en plano, enchufe volante de 4 polos **M12** e Informe de Calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.** **Salida de la señal en tensión 0...1Vdc, 0...5Vdc, 0...10Vdc.** 0Vdc = 0W/m², 1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).
LP S2: Conjunto compuesto para soporte para fijar los piranómetros LP PYRA 03, asta de soporte. En el conjunto hay los tornillos de fijación del piranómetro al soporte y la pantalla de protección LP SP2.
LP SP2: Pantalla de protección.
LP PYRA 12: Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e informe de calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.**
LP PYRA 12AC: Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e Informe de Calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.** **Salida en corriente 4...20mA** 4mA= 0 W/m², 20mA= 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc.
LP PYRA 12AV: Piranómetro (LP PYRA 02) de primera clase según ISO9060. Completo de: protección LP SP1, anillo de pantalla para luz difundida, cartucho para los cristales de sílice gel, 2 recargas, nivela para la puesta en plano, enchufe volante **M12** de 4 polos e informe de calibración. Sensibilidad típica 10µV/(W/m²). **El cable tiene que ser pedido separadamente.** **Salida de la señal en tensión 0÷1Vdc, 0÷5Vdc, 0÷10Vdc.** 0Vdc = 0W/m², 1Vdc/5Vdc/10Vdc = 2000W/m². Alimentación: 10...30Vdc (15...30Vdc para el modelo con salida 0...10Vdc).
CPM12AA 1.5: Enchufe volante M12 de 4 polos completa de cable resistente a los UV, L=5 m. Para los instrumentos LP PYRA 02 - 03 - 12.
CPM12AA 1.10: Enchufe volante M12 de 4 polos completa de cable resistente a los UV, L=10 m. Para los instrumentos LP PYRA 02... - 03... - 12...
HD978TR3: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4÷20mA (20÷4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0÷20mV. Rango de medida mínimo 2mV. Contenedor 2 módulos DIN.
HD978TR5: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4÷20mA (20÷4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0÷20mV. Rango de medida mínimo 2mV. De pared, dimensiones: 58mm x 65mm, altura 35mm.

HD978TR4: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 0÷10Vcc (10÷0Vcc). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0÷20mV. Rango de medida mínimo 2mV. Contenedor 2 módulos DIN.
HD978TR6: Convertidor amplificador de señal configurable con salida 4÷20mA (20÷4mA). Campo de medida en entrada -10...+60mV. Configuración predefinida 0÷20mV. Rango de medida mínimo 2mV. De pared, dimensiones: 58mm x 65mm, altura 35mm.

ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12



Conector fijo M12 de 4 polos Enchufe volante M12 de 4 polos

LP PYRA 02 - LP PYRA 03 - LP PYRA 12

Conector	Función	Color
1	Señal (+)	Rojo
2	Señal (-)	Azul
3	No conectado (LP PYRA 03) Contenedor (LP PYRA 02 - LP PYRA 12)	Blanco
4	Pantalla (0)	Negro

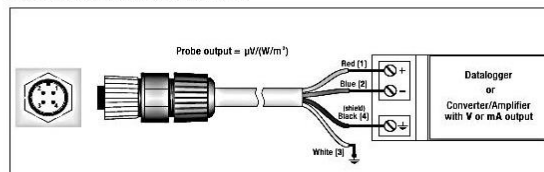
LP PYRA 02AC - LP PYRA 03AC - LP PYRA 12AC

Conector	Función	Color
1	Positivo (+), +Vcc	Rojo
2	Negativo (-), -Vcc	Azul
3	No conectado (LP PYRA 03) Contenedor (LP PYRA 02 - LP PYRA 12)	Blanco
4	Pantalla (0)	Negro

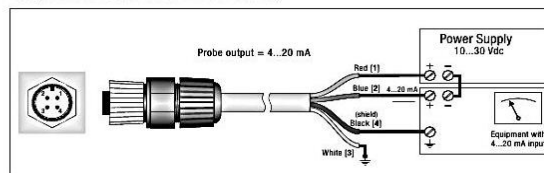
LP PYRA 02AV - LP PYRA 03AV - LP PYRA 12AV

Conector	Función	Color
1	(+) Vout	Rojo
2	(-) Vout y (-) Vcc	Azul
3	(+) Vcc	Blanco
4	Pantalla (0)	Negro

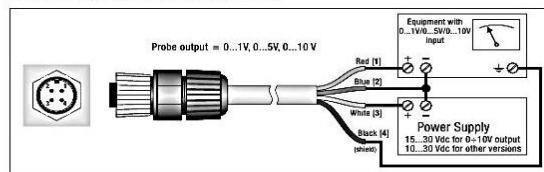
ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA



ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA .. AC



ESQUEMA DE CONEXIÓN LP PYRA .. AV



HD978TR3, HD978TR4, HD978TR5, HD978TR6

Fig. A-5.2. Datos de conexión del piranómetro LE PYRA 03.

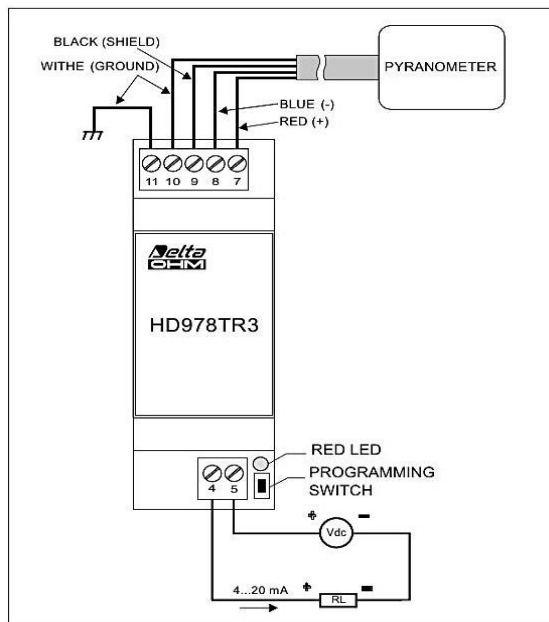


Fig.5 Esquema de conexión del HD 978TR3 a un piranómetro.

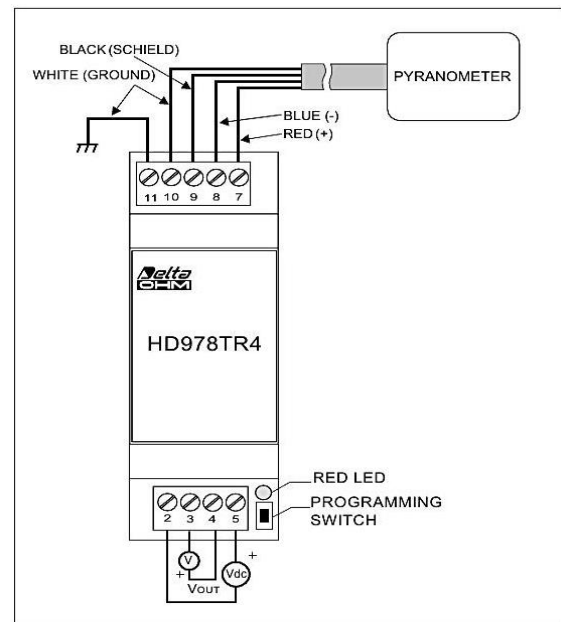
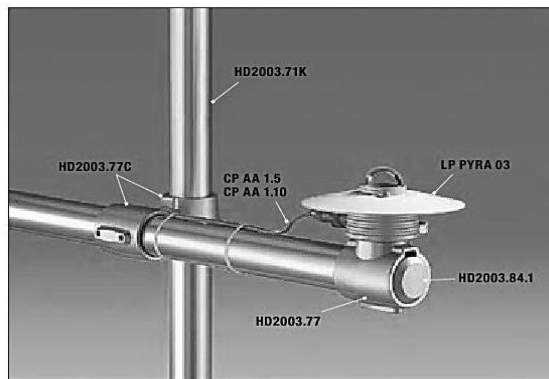
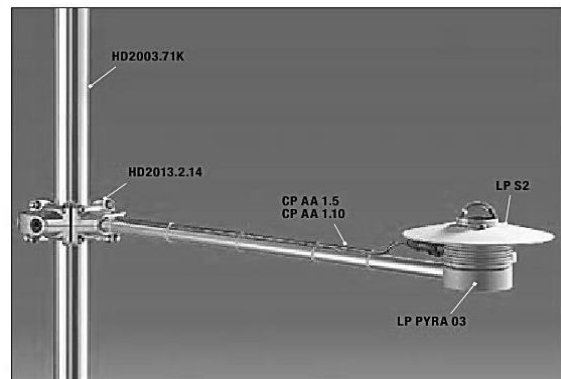


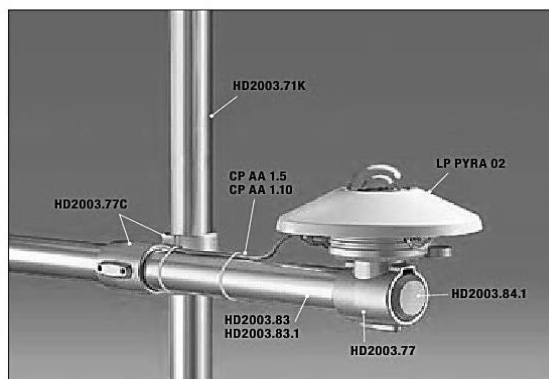
Fig.6 Esquema de conexión del HD978TR4 a un piranómetro.



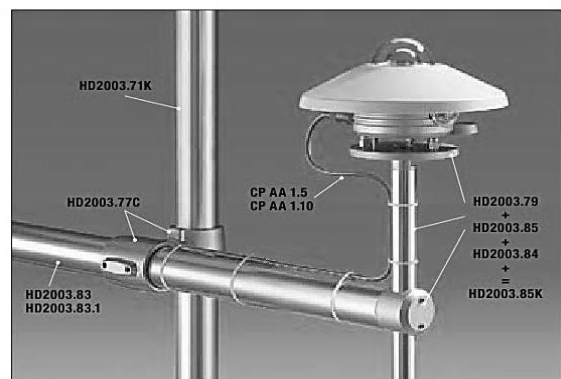
LP PYRA 03 + HD2003.77 + HD2003.77C



HD2013.2.14 + LP PYRA 03 + LP SP2 + LP S2



LP PYRA 02 + HD2003.77C + HD2003.77



LP PYRA 02 + HD2003.85K + HD2003.77C

Fig. A-5.3. Alternativas de instalación del piranómetro LE PYRA 03.

ANEXO A-6 FOTOGRAFÍAS DE LA AZOTEA DE LA BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



Fig. A-6.1. Trabajos que se realizan en la azotea de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES en 2013.



Fig. A-6.2. El espacio en la azotea de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES es reducido debido a otros proyectos de energía renovable que se están desarrollando en el lugar.

ANEXO A-7 FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA VERDE FRENTE AL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UES



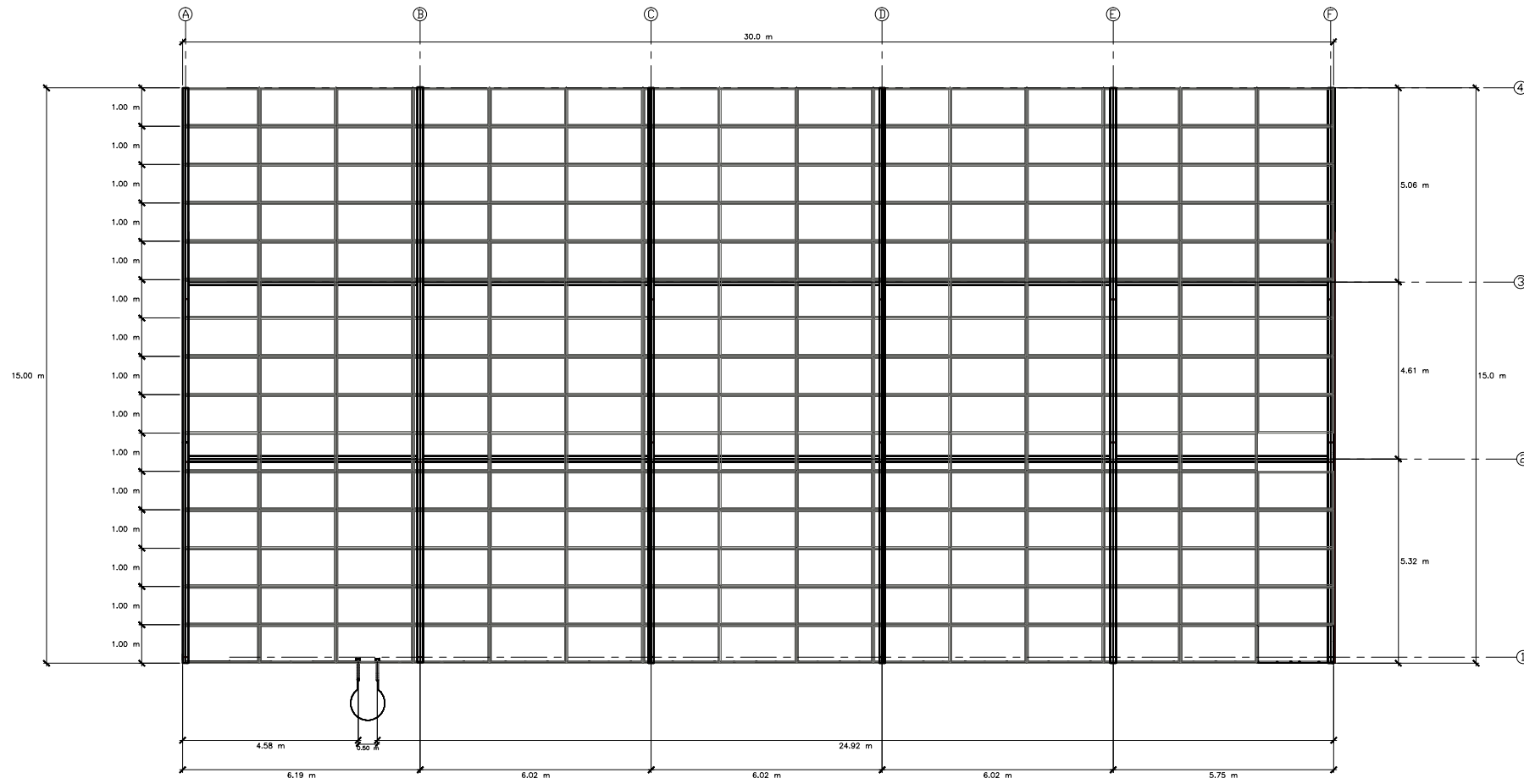
Figura A-7.1. La zona verde considerada como una alternativa para la instalación de la planta piloto de energía solar térmica es ahora un proyecto para estacionamiento.



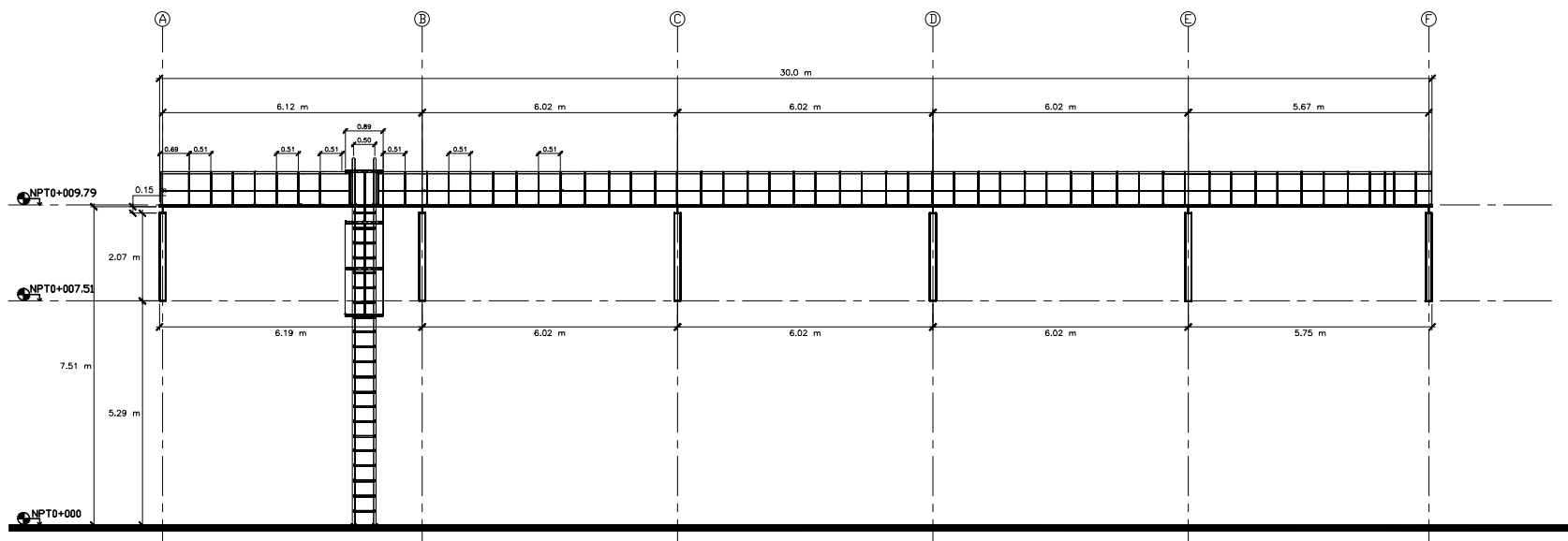
Figura A-7.2. La zona verde considerada como una alternativa para la instalación de la planta piloto de energía solar térmica está en construcción para un estacionamiento.

ANEXO A-8: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE PROPUESTA PARA LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA PILOTO SOBRE EL TECHO DE LA UNIDAD PRODUCTIVA.

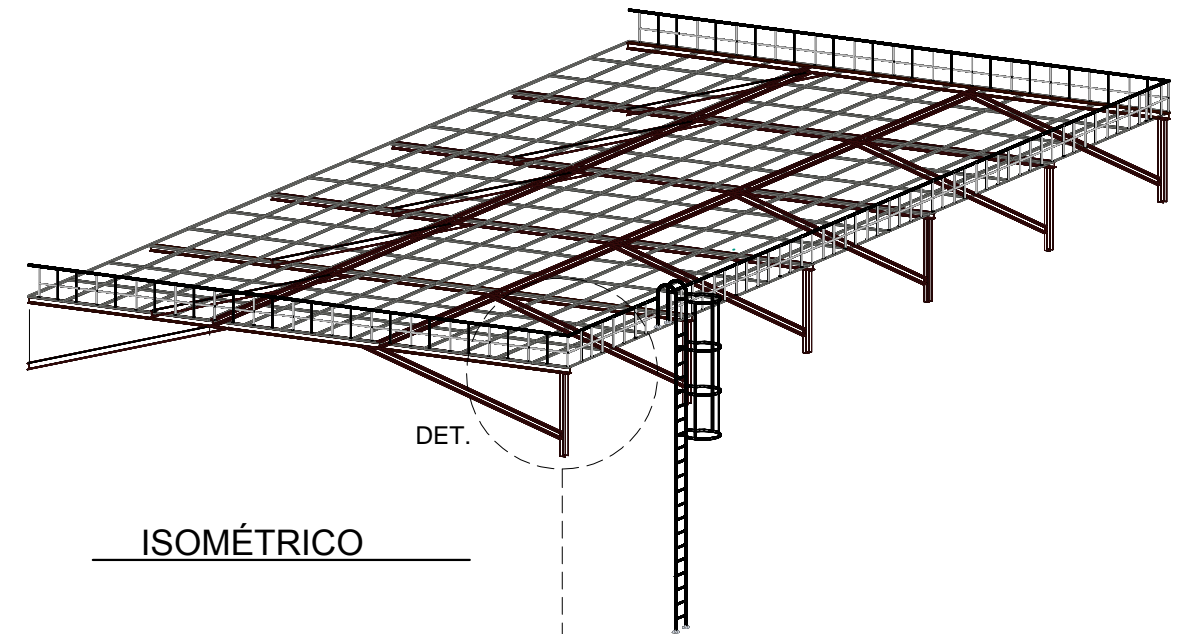
1 -PLANO DISTRIBUCIÓN DE ESTRUCTURAS



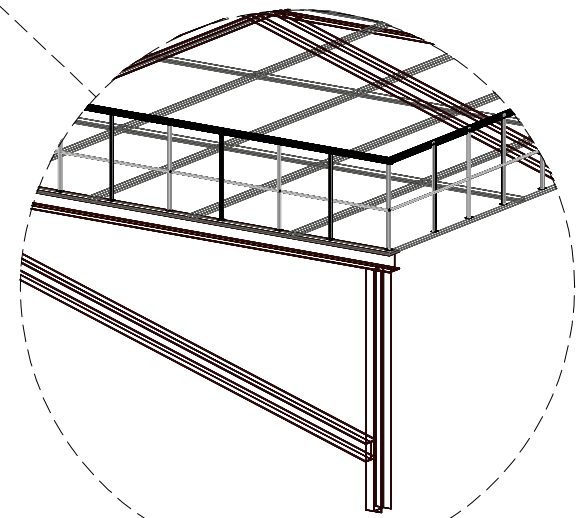
VISTA EN PLANTA



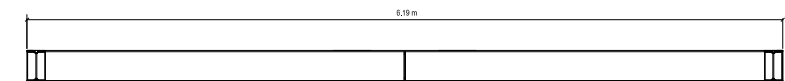
VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO



DETALLE DE UNIÓN.



DETALLE DE VIGA.



REV No.	DESCRIPCIÓN	FECHA DE REV
PROYECTO	DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	
CONTENIDO	PLANO GENERAL	
DIBUJO:	Marvin Eliseo Pineda C.	CLIENTE: Universidad de El Salvador
ASESOR:	Ing. Francisco Alfredo De León	FECHA: 16/02/2015
		NL HOJA: 1/2

