

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARABÓLICO
COMPUESTO PARA USO DOMÉSTICO

Trabajo dirigido para obtener el Título de Ingeniero
Electromecánico

Por:

Univ. Alcides Valentín Guzmán Rodríguez

Tutor:

Ing. Edgar Tapia Terrazas

La Paz - Bolivia



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO PARA USO DOMESTICO

Por:

Univ. Alcides Valentín Guzmán Rodríguez

Revisado y presentado ante el Tribunal de Grado

APROBADO:

Ing. Edgar Tapia Terrazas
Asesor de Proyecto de Grado

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Marzo,2019

Resumen

Este trabajo se inicia con una descripción breve de las variables que intervienen para la determinación de la radiación solar global (directa y difusa) sobre superficies inclinadas sobre la tierra. Luego presento un estudio sobre colector parabólico solar compuesto, colector que pertenece a la clasificación "SEGUIMIENTO INTERMITENTE A LAS TRAYECTORIAS DEL SOL", a partir de este estudio, se muestra el desarrollo del diseño del colector. El proyecto "DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO PARA USO DOMESTICO" que se diseña para de la ciudad de La Paz, ya sea para fines recreativos, deportivos, medicinales en general para cualquier situación en donde se requiera agua caliente, el estudio y especialización en el uso de energía alternativas y con ello la utilización de sistemas más eficientes y poco contaminantes , será un factor a considerar dentro de los proyectos energéticos de los próximos años tomando en cuenta que el ahorro de energía en las últimas fechas ha cobrado gran importancia dado el agotamiento y encarecimiento de los combustibles fósiles, así como la inherente contaminación que conlleva su uso. Como conclusión de este proyecto podemos denotar que el resultado obtenido está dentro de lo esperado de acuerdo al diseño hecho para nuestro CPC. La eficiencia promedio diaria para nuestro CPC fue de 66 %, como se puede observar es mayor a las eficiencias obtenidas para los colectores de placa plana.

Abstract

This work begins with a brief descripción of the variables involved in the determination of global solar radiation (direct and diffuse) on inclined surfaces on the earth. Then I present a study on compound parabolic solar collector, a collector that belongs to the classification "INTERMITTENT MONITORING OF THE TRAJECTORIES OF THE SUN", from this study, the development of the collector design is shown. The proyect "DESIGN OF A COMPOSITE PARABOLIC SOLAR COLLECTOR FOR DEMESTIC USE" that is designed for the city of La Paz, whether for recreational, sports, medicinal purposes in general for any situation where hot wáter is required, the study and specialization in the use of alternative energy and with it the use of alternative and less polluting systems, will be a factor to consider within the energy proyects of the coming years, taking into account that energy saving in recent times has gained great importance given the inherent pollution that their use entails. As a conclusión of this Project we can denote that the result obtained is whit the expect according to the design made for our CPC. The average daily efficiency for our CPC was 66 %, as can be seen, it is higher than the efficiencies obtained for flat plate collectors.

*Para mis amados padres Valentín Guzmán y Basilia Rodríguez,
por todo su cariño, paciencia, compañía y apoyo.
Además, a un padre, colega Ing. Arce por su apoyo y amistad,
y no menos agradecer un gran amigo que me ayudo
a concluir este estudio William Flores.
Gracias.*

Agradecimientos

A Dios por darme la oportunidad de existir para interferir, cambiar, influenciar y mejorar aquello que nos rodea, lo que llamamos vida.

A mis padres por apoyo incondicional durante estos años de estudio: a mis hermanos, familiares y amigos por su apoyo durante mi vida universitaria. A los docentes, encargados de talleres y laboratorios de la Facultad de Ingeniería por sus conocimientos y experiencias de vida impartidos

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Justificación	3
2. Fundamento teórico	5
2.1. Introducción	5
2.1.1. Energía Solar	5
2.1.2. El espectro electromagnético	6
2.1.3. Sol	7
2.1.4. La cinética terrestre	8
2.1.5. La declinación solar	8
2.1.6. La medición del tiempo	10
2.1.7. El ángulo horario	12
2.1.8. La posición del sol respecto a un observador sobre la tierra.	13
2.1.9. La ubicación del sol mediante la elevación y el acimut	15
2.1.10. Método gráfico para determinar la posición del sol.	18
2.1.11. Cartas solares estereográficas de puntos seleccionados del territorio de Bolivia	20
2.2. Colector solar y sus características	20
2.2.1. Colector según su temperatura	21
2.2.1.1. Bajo (Menos de 100 ^o C)	21
2.2.1.2. Media (Entre 100 y 400 ^o C)	21
2.2.1.3. Alta Temperatura (Mas de 400 ^o C)	22
2.2.2. Criterios de clasificación de los colectores	23
2.2.3. Almacenamiento del colector	25
2.2.3.1. Sistema Abierto	25
2.2.3.2. Sistema Cerrado	26
2.2.4. Circulación de agua caliente	26
2.2.4.1. Termofisión	26
2.2.4.2. Bombal	27
2.2.5. Rotación de ejes en sistema de coordenadas	28
2.3. Alternativas de solución	29
2.3.1. Colector plano	29
2.3.2. Colector cpc	30

2.3.2.1. Parabólicos (Por reflexión)	30
2.3.2.2. Parabólicos (Por refracción)	30
2.3.2.3. Parabólico compuesto (C.P.C.)	30
2.3.2.4. Colector cpc trapecio o en v	30
2.3.2.5. Colector CPC truncado	31
2.3.2.6. Colector CPC integrado	33
2.4. Elección del colector solar	34
3. Ingeniería del proyecto	36
3.1. Parámetros de diseño	36
3.2. Sistemas y subsistemas	36
3.2.1. Sistema mecánico	36
3.2.1.1. Sistema geométrico	36
3.2.2. Sistema térmico	37
3.3. Análisis previos al diseño	37
3.3.1. Sistema térmico	39
3.3.1.1. Cálculo del área	39
3.3.1.2. Cálculo del Volumen	39
3.3.1.3. Cálculo del calor útil	40
3.3.1.4. Cálculo del Tiempo de Calentamiento	40
3.3.2. Sistema mecánico	41
3.3.2.1. Sistema geométrico	41
3.3.2.2. Partes Mecánicas	48
3.3.3. Cálculo de perdidas del Colector	50
3.3.4. Cálculo de la eficiencia	52
3.4. Resumen de memoria de cálculos	55
3.5. Planos	55
4. Costos	57
4.1. Costo de materiales	57
4.2. Costo mano de obra	58
4.3. Costo Factura de luz	58
4.4. Costo Factura de agua	59
4.5. Costo Total	59
5. Conclusiones y recomendaciones	60
5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones	60

Índice de cuadros

2.1. Localidades cálculo de trayectorias solares	21
2.2. Clasificación de colectores solares y sus ratios de concentración	25
3.1. Consumo de agua	36
3.2. Calor útil de agua	55
3.3. Tiempo de calentamiento de agua	55
3.4. Coeficiente de pérdida del colector	55
3.5. Rendimiento de colector parabólico compuesto	55
3.6. Memoria de cálculos del colector solar	56
4.1. Costo de materiales	57
4.2. Costo Mano de Obra	58
4.3. Costo Factura de Luz	58
4.4. Costo Factura de Agua	59
4.5. Costo Total	59

Índice de figuras

1.1. Uso de energía	1
2.1. Componentes de la radiación solar	6
2.2. Longitud de onda	6
2.3. Espectro de luz	7
2.4. Movimiento de la tierra en la eclíptica	8
2.5. Definición de la declinación solar δ	9
2.6. Variación de la declinación solar δ respecto al plano ecuatorial de la tierra	9
2.7. Relación de Cooper entre la declinación solar δ y del día del año n_d (para el año normal de 365 días en el hemisferio sur)	10
2.8. Tiempo solar medio para obtención del tiempo solar verdadero	12
2.9. Movimiento aparente del sol en la esfera celeste para un observador ubicado en el hemisferio sur.	14
2.10. Determinación del ángulo cenital ϑ_c en la esfera geodésica unitaria.	15
2.11. Determinación del ángulo acimutal α en la esfera geodésica unitaria.	16
2.12. Movimiento aparente del sol en el cielo respecto a una superficie horizontal del hemisferio sur	19
2.13. Ejemplo de la lectura de valores en las cartas solares La Paz-Centro Latitud $16^{\circ}29'$ Sur, Longitud $68^{\circ}08'$ Oeste	19
2.14. Declinación y tiempo anual en la La Paz	20
2.15. Colectores según su temperatura.	21
2.16. Colector solar menor a 100°C	22
2.17. Colector cilíndrico-parabólico $100^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C}$	22
2.18. Colector cilíndrico-parabólico $100^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C}$	23
2.19. Colector disco parabólico hasta 900°C	23
2.20. Colector con almacenamiento abierto	25
2.21. Colector con almacenamiento cerrado	26
2.22. Sistema solar residencial tipo termosifón	27
2.23. Sistema solar residencial tipo termosifón	28
2.24. Rotación de Coordenadas	28
2.25. Colector parabólica	31
2.26. Colector CPC trapecio	31
2.27. Diseño básico CPC	32
2.28. Esquema de CPC como colector	32
2.29. CPC (Parabólico compuesto) diseñada para el absorbedor	33
2.30. CPC (Colector CPC)	34
2.31. Rendimiento de colector CPC y colector plano	35
3.1. Circunferencia del tubo colector	41

3.2. Circunferencia tubo colector con Foco	42
3.3. Focos para la primera y segunda parábola	43
3.4. Ecuación de la parábola F_1 y la circunferencia	45
3.5. Ecuación de la parábola F_2 y la circunferencia	46
3.6. Intersección de las parábolas	46
3.7. Inclinação de los rayos solares en C.P.C.	47
3.8. Tubo Colector	48
3.9. Soporte plancha colector	49
3.10. Estructura Superior Perfil T	49
3.11. Plancha para la Base	49
3.12. Estructura para el Colector solar	50
3.13. Ensamblaje del colector Solar	50

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Este prototipo es de gran importancia tanto en la tecnología como en el mejoramiento del planeta ya que es un buen avance para evitar el bastante consumo de energía eléctrica y nos ayuda a darnos de cuenta que hay energía en nuestro entorno que no utilizamos, más comunes debido a la electricidad.

Además, debemos planear la sustitución de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), que han llegado a ser tan vitales para la civilización moderna que consideramos.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnica medios posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes.

En la actualidad, el mundo depende del petróleo en un 46 %, del carbón en un 27 % y del gas en un 17 %, lo que hace que la dependencia total de los combustibles fósiles llega al 90 %, siendo el 10 % restante aplicable a las energías hidroeléctricas, nuclear, etcétera.

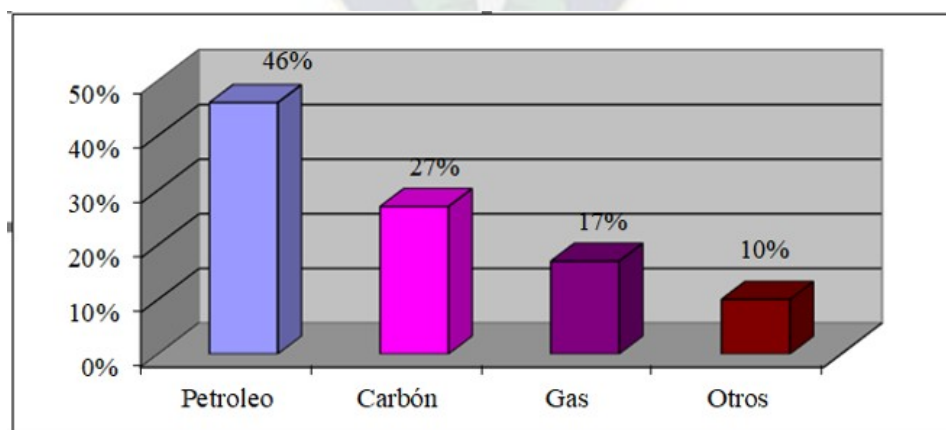


Figura 1.1: Uso de energía

Con el aumento excesivo del costo de estas energías no renovables, también se tomó conciencia de un mejor aprovechamiento y de un uso racional y cuidadoso de la energía. En el curso de las dos últimas décadas, se intensificó el empleo del petróleo y del gas, y sus reservas comienzan a decrecer rápidamente, calculándose su extinción a mediados del

siglo 21. Simultáneamente comenzará el uso más intensivo del carbón, cuyas reservas se calculan hasta el siglo 28.

Nos encontramos pues ante la necesidad de reactivar el uso de las energías renovables, o sea, de las energías que nunca se extinguen tales como la solar, la geotérmica, la biomasa energía eólica. Naturalmente que la más importante de todas ellas es la energía solar, o sea, la energía suministrada por el sol, que también se manifiesta en la producción del viento, en el movimiento de las olas, etcétera.

La energía del sol tiene la ventaja de construir dispositivos solares de cualquier tamaño. Además, la energía del sol es un excelente candidato porque:

- Sol emite energía 24 horas al día, 365 días al año a nuestro planeta. Todos lugares reciben esta energía según la ubicación (latitud),
- Es abundante y gratuita,
- No es contaminante, como el petróleo y el carbón,
- No tiene desechos radioactivos, como la nuclear, etc.
- No necesita algún tipo de cables o tanques, para su transportación.
- Sol es responsable de que en nuestro planeta existan las condiciones adecuadas para la supervivencia de la vida humana, animal y vegetal.

Cualquier utilización de la radiación solar para sistemas de calentamiento o producción de potencia, requiere de equipos capaces de absorber y almacenar energía a temperaturas altas los cuales se dividen en tres tipos: colectores planos, colectores concentradores y generadores solares termodinámicos. Los colectores planos, concentradores utilizan la radiación solar para calentar una sustancia de trabajo, mientras que el generador solar termodinámico convierte la radiación solar en energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas.

Cuando se desea alcanzar altas temperaturas ($T > 100^{\circ}\text{C}$) se utiliza los colectores concentradores. La concentración es producida por el uso de elementos reflectores o refractores, posicionados según sea necesario, para concentrar el flujo incidente sobre la superficie colectora. Se han propuesto muchas combinaciones de espejos y lentes.

La ventaja de la concentración es que el área donde hay pérdidas de calor es menor que el área que recibe la energía radiante, y las pérdidas de calor son proporcionalmente reducidas con un incremento en la temperatura de la superficie colectora

1.2. Planteamiento del problema

En la época actual nos vemos afectados por el calentamiento global que ha degradado nuestros suelos permanentes generando las conocidas sequias creadas en parte por nosotros mismos somos los principales generadores de desechos contaminantes degradando nuestra capa de ozono y a su vez permitiendo la entrada de rayos ultravioletas a la tierra directamente.

Este fenómeno es producido por la utilización de combustibles fósiles como: el gas el petróleo y sus derivados No obstante hemos recurrido a utilizar el agua de nuestras imponentes fuentes hídricas para producir energía eléctrica, pero con la situación del

calentamiento global nuestras grandes fuentes hídricas han disminuido su caudal notoriamente, generando un nuevo problema de economía que se origina con el cierre de algunas hidroeléctricas.

En los últimos años también se ha optado por producir energía con la explotación de un mineral sólido llamado carbón el cual también contamina mucho la atmósfera terrestre.

De esta forma lo que nosotros queremos infundir a los lectores de sobre este trabajo es que tratemos en lo posible encontrar diferentes fuentes de energía las cuales pueden ser obtenidas por las diferentes fuentes de energía las cuales pueden ser obtenidas por las personas que estén interesadas en encontrar estas energías.

El aprovechamiento directo de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un líquido que luego se almacena o se distribuye.

Este fluido se distribuye por canales que transmiten el calor absorbido por la placa a los puntos de consumo (producción de agua caliente o calefacción). Para garantizar el efecto invernadero del colector, todo el conjunto se recubre de una o varias láminas transparentes, de vidrio, con un único fin: captar la energía solar, convertirla en energía térmica e impedir que el calor salga al exterior.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Es inducir a la sociedad a que se enteren de que hay mejores alternativas de energía las cuales pueden llegar a reducir costos y a mejorar el medio ambiente de nuestro alrededor.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Brindar un mejor desempeño para las personas que no tienen un servicio de electricidad o cuentan con una adecuada estabilidad económica.
- Brindar un servicio sin mucho costo y lo mejor que es suministrado por la misma naturaleza como es tomar la energía de los rayos ultravioleta para recoger energía para luego ser utilizada en el calentamiento de agua para las diferentes actividades caseras.
- Dar a conocer un objeto que ya existe para que no asido comercializado por razones desconocidas pero que al ser conocido y utilizado va ayudar pero que al ser conocido y utilizado va ayudar mucho al ahorro de energía y agua que es lo que se esta acabando a gran velocidad.

1.4. Justificación

Lo que propone nuestro proyecto es colaborar con el medio ambiente y ayudar a mejorar la forma de utilizar nuestros recursos naturales y que mejor que poniendo a disposición un mecanismo no muy costoso, fácil de crear y muy útil como es el calentador solar casero.

El cual sin necesidad de utilizar energía eléctrica producida por hidroeléctricas o explotación de carbón, funcionara solo con energía solar ósea producida por la misma naturaleza la forma mas fácil de recoger esta energía es por un panel solar el cual la conduce hasta un termo de temperatura el cual mantendrá la energía hasta que se necesite usar ya sea para calentar agua.



Capítulo 2

Fundamento teórico

2.1. Introducción

En las últimas décadas, la energía solar ha cobrado importancia como fuente energética, puesto que las reservas de combustibles fósiles no son eternas. Esto ha ocasionado que, por ejemplo, sean parecidos los precios de un calentador solar y de uno de gas, lo que no sucedía hace 60 años. Así, con respecto a los costos, los sistemas solares son cada vez más baratos, con la gran ventaja de que el combustible, la luz del Sol, aparece todas las mañanas sin cobrar.

En nuestro país, que posee regiones con el promedio mundial de insolación o soleamiento anual más alto, el aprovechamiento de la energía solar constituye, sin lugar a dudas, una buena opción. El que esta fuente de energía sea rentable depende de las investigaciones que se realicen, de los recursos económicos destinados a su estudio y del interés que se preste a su desarrollo. Por lo pronto, ya satisface las necesidades energéticas de muchas viviendas. Pese a lo anterior, actualmente la energía solar no contribuye con ningún porcentaje al consumo energético nacional, aunque ya empieza a contar y es deseable impulsarla.

2.1.1. Energía Solar

La energía solar se define como el aprovechamiento directo de la radiación electromagnética procedente del Sol que alcanza la superficie terrestre para la generación de electricidad o calor. Podría entenderse como la más importante de las energías renovables, puesto que es el origen de la mayoría de tecnologías alternativas, con excepción de la energía geotérmica y mareomotriz. Es el origen del ciclo del agua y del viento, y supone, mediante la fotosíntesis, la base de la flora y, por ende, de la fauna.

La radiación solar, a su paso por la atmósfera, sufre algunos procesos de extinción: se refleja en las nubes y vuelve al espacio; es esparcida y cambia de dirección; se absorbe por el vapor de agua y los aerosoles; llega directamente sin afectarse; se difunde - particularmente los fotones de alta energía y por eso el cielo se ve azul; o se refleja en el suelo. Es importante anotar que se conoce como radiación solar global o total a la suma de los componentes de radiación directa más la difusa más la reflejada en el suelo.

Los tipos de tecnologías solares se definen según la forma de aprovechamiento de la energía solar incidente.

En su condición de onda electromagnética, la interposición de células solares de materiales semiconductores, principalmente Si amorfo o cristalino, permite la transformación

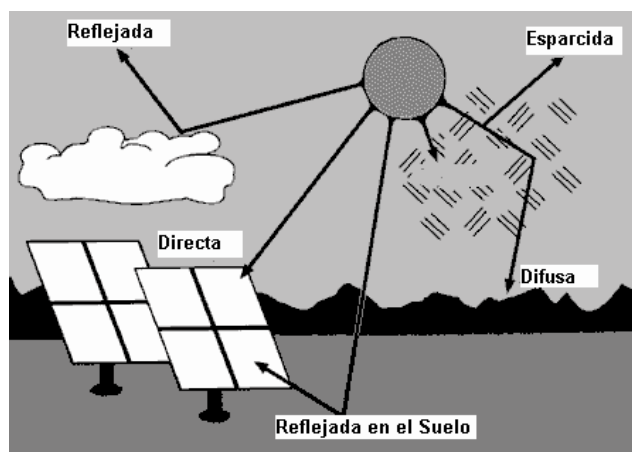


Figura 2.1: Componentes de la radiación solar

directa de los fotones en electricidad (energía solar fotovoltaica). La tecnología actual alcanza eficiencias máximas en torno al 40 %.

2.1.2. El espectro electromagnético

En el caso de las energías renovables, nuestro interés se centra en aprovechar la energía que nos llega del Sol en forma de radiación electromagnética.

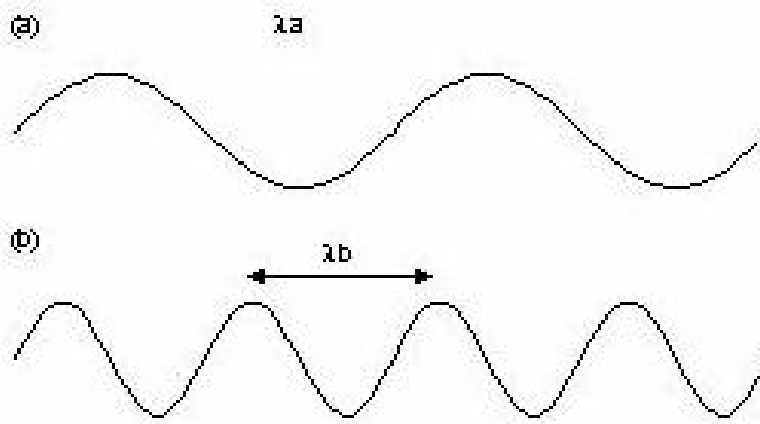


Figura 2.2: Longitud de onda

La radiación electromagnética puede ser descrita como un flujo de fotones, que son partículas sin masa, que se desplazan en forma de ondas a la velocidad de la luz y transportan la energía de un punto a otro. Cada fotón contiene una cantidad fija de energía (o paquete de energía); dependiendo de la energía de un fotón podemos ir desde las ondas de radio, que son las de menor energía hasta los rayos gamma. Los fotones con mayor energía tienen una menor longitud de onda, que es igual a decir que tienen una mayor frecuencia. Veamos algunos de estos conceptos:

La Figura 2.2 muestra dos ondas, que son como las olas que se forman en un estanque al lanzar una piedra, o como las olas del mar. El agua es más alta en unos sitios que

en otros. Mientras en la onda (a) tenemos dos picos, en la onda (b) hay cuatro a igual distancia. El ciclo de la onda es el recorrido de un pico (o valle) al siguiente. La onda (b) recorre cuatro ciclos mientras que la (a) recorre dos. Decimos que la longitud de la onda (a) es más larga que la (b). Entonces, la longitud de onda es la distancia que recorre la onda en un ciclo y se representa por la letra griega lambda λ . Mientras más energía tiene una onda, mayor es su frecuencia y menor su longitud de onda. La Figura 2.3 se observa

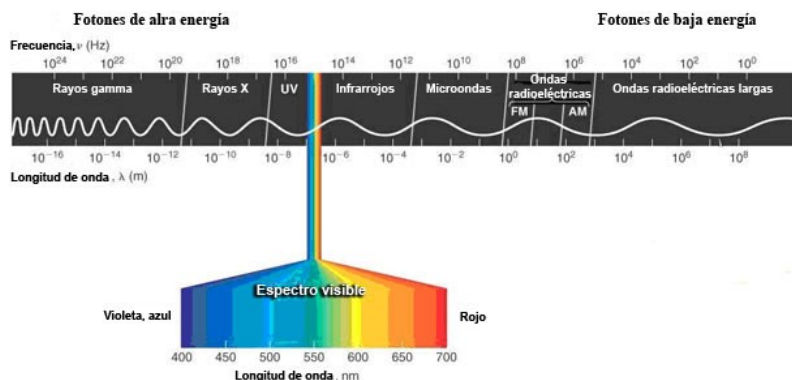


Figura 2.3: Espectro de luz

que la luz es solo una pequeña parte del espectro electromagnético y va desde los 400 a los 700 nm. El color de la luz depende de su longitud de onda, desde el rojo hasta el violeta. Fue Isaac Newton quien descubrió que la luz del Sol es una mezcla de diferentes partículas de colores y lo denominó el “espectro”.

Cada elemento tiene sus propias líneas espectrales y es así como podemos saber solo con la luz de las estrellas o de un cuerpo los elementos que las componen. Las radiaciones emitidas por los cuerpos calientes tienen una longitud de onda cercana al color rojo. Los fotones que emiten una radiación de color azul tienen más energía que aquellos de color rojo.

2.1.3. Sol

El Sol es una pequeña estrella de forma prácticamente esférica compuesta de materia gaseosa de muy alta temperatura que, vista desde la tierra, rota sobre su eje en aproximadamente cuatro semanas. Tiene un radio $R = 6.95 \times 10^8$ m (unas 109 veces el radio de la Tierra), un volumen de $1,412 \times 10^{27} m^3$ (unas 1 300 000 veces mayor que el de la Tierra) y una masa de $1,99 \times 10^{30} kg$ (unas 333 000 veces superior a la de la Tierra). Esto quiere decir que tiene una densidad global de sólo $1.409 \text{ Tn}/m^3$ (ó de 0.256 veces a la de la Tierra).

En rigor, la radiación emitida por el Sol es el resultado compuesto de una serie de efectos de emisión, absorción y transmisión de todo un espectro electromagnético que tienen lugar en las diferentes capas que lo componen. Sin embargo, para la descripción adecuada de una cantidad de procesos, es suficiente considerar al Sol como un emisor de cuerpo negro a una temperatura de $5762 \text{ }^\circ\text{K}$, de acuerdo a la Ley de Stefan-Boltzmann.

2.1.4. La cinética terrestre

La Tierra se mueve alrededor del Sol sobre una órbita elíptica cubriendo una revolución completa en un año o en 365.25 días. El plano de revolución sobre el que se desarrolla la órbita de la Tierra, se llama el plano de la eclíptica.

Debido a la excentricidad de la órbita terrestre, la distancia entre el Sol y la Tierra varía ligeramente durante el año ($\pm 1.3\%$), desde 147.100 millones de metros en el perihelio, hasta 152.100 millones de metros en el afelio y puesto que estas distancias son muy grandes respecto a las dimensiones de la Tierra, la radiación solar llega a ésta en forma de rayos paralelos. Por

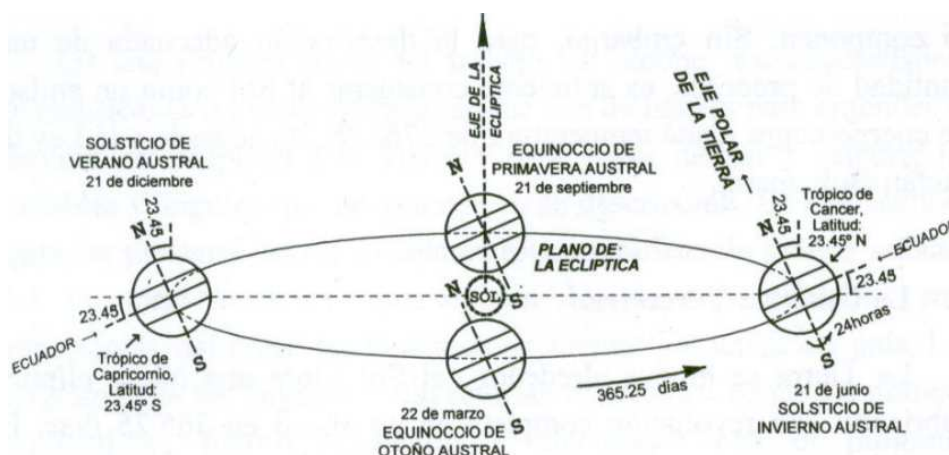


Figura 2.4: Movimiento de la tierra en la eclíptica

su parte, la Tierra gira sobre su propio eje como se muestra en la Figura 2.4 llamado eje polar, completando una revolución en un día o en 24 horas. El eje polar de la Tierra tiene una inclinación fija de $23^{\circ}27'$ (23.45°) respecto al eje de la eclíptica o recta normal a ésta; ver la Fig. 5. La rotación de la Tierra en torno a su eje polar define el movimiento aparente diario del Sol en el cielo, mientras que la posición de su eje respecto al Sol determina las trayectorias estacionales de éste sobre el horizonte.

2.1.5. La declinación solar

El ángulo entre el eje polar de la Tierra y la normal a la eclíptica es una invariante, así como también el ángulo diédrico equivalente formado por el plano ecuatorial de la Tierra y el plano de la eclíptica.

Sin embargo, el ángulo definido por la recta que une los centros del Sol y de la Tierra y la intersección del plano normal a la eclíptica sobre esta recta con el plano ecuatorial de la Tierra, varía cada día, y en los hechos, en cada instante; ver la Figura 2.5. Este ángulo se llama la declinación solar S y tiene un valor máximo de $+23.45^{\circ}$ en el solsticio de invierno austral (solsticio de verano boreal), y valor mínimo de -23.45° en el solsticio de verano austral (solsticio de invierno boreal). Es igual a cero en los equinoccios, tanto en el equinoccio de primavera austral, cuando el Sol pasa del solsticio de invierno austral al solsticio de verano austral, como en el equinoccio de otoño austral, cuando el Sol pasa del solsticio de verano austral al solsticio de invierno austral. En el hemisferio norte (boreal), el equinoccio de otoño austral es conocido como el equinoccio venial. Para describir mejor los movimientos diario y estacional del Sol respecto a un observador que se encuentra sobre un lugar sobre la Tierra, es conveniente adoptar el punto de vista ptolemáico, es decir,

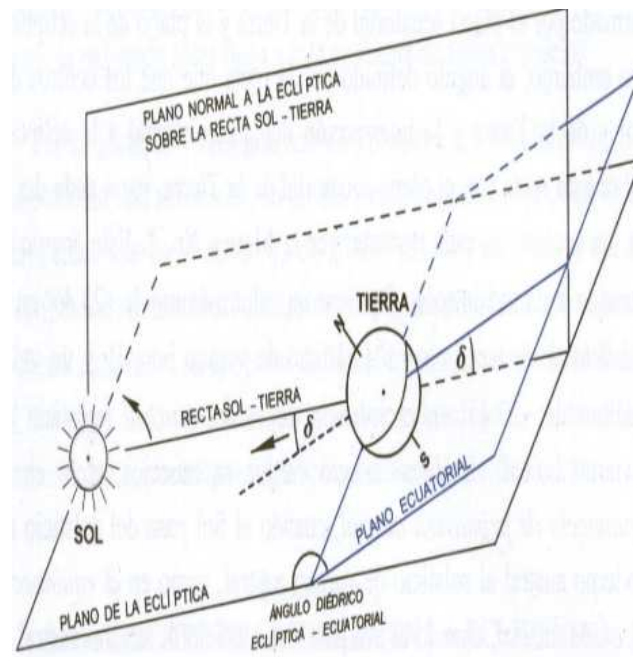


Figura 2.5: Definición de la declinación solar δ

usar un sistema de coordenadas que esté fijo con la Tierra y respecto al cual el Sol se mueve sobre trayectorias circulares. Esta es una aproximación aceptable en vista de que la excentricidad de la órbita terrestre es muy pequeña.

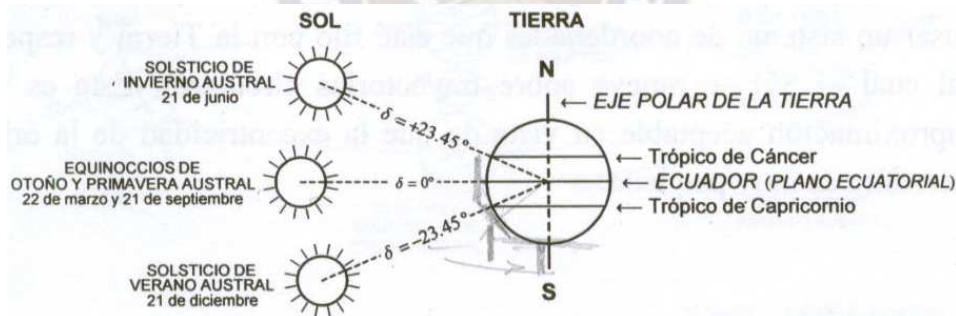


Figura 2.6: Variación de la declinación solar δ respecto al plano ecuatorial de la tierra

Desde este punto de vista, la declinación solar describe el desplazamiento angular del Sol respecto al plano ecuatorial de la Tierra y es, por tanto, el ángulo diédrico que forma este plano con la recta que une los centros del Sol y la Tierra, ver las Figura [2.5](#) y [2.6](#).

Bajo esta óptica se observa de una manera más clara y directa, que la declinación solar varía desde $+23^\circ 27'$ ($+23.45^\circ$) en el trópico de Cáncer correspondiente al solsticio de invierno austral, hasta $-23^\circ 27'$ (-23.45°) en el trópico de Capricornio correspondiente al solsticio de verano austral, siendo nula en los equinoccios australes de primavera y de otoño. Nótese que la declinación se mide a partir del ecuador y es positiva cuando el Sol está en el hemisferio norte y negativa cuando el Sol está en el hemisferio sur. Al ángulo complementario de la declinación solar se llama distancia polar.

Debido a que la variación de la declinación solar ocurre en el lapso de seis meses desde

su valor mínimo hasta su valor máximo, se puede considerar que este ángulo es constante para intervalos de tiempo relativamente pequeños, del orden de un día, por ejemplo.

El valor aproximado correspondiente a cada día del año (para un año normal de 365 días), puede ser calculado mediante la ecuación de Cooper, que dice:

$$\delta = 23,45 * \text{sen}\left(\frac{360}{365} * (284 + n_d)\right)$$

La Figura 2.7, muestra la curva de esta ecuación para un período anual, la misma que permite la determinación gráfica aproximada de la declinación solar δ .

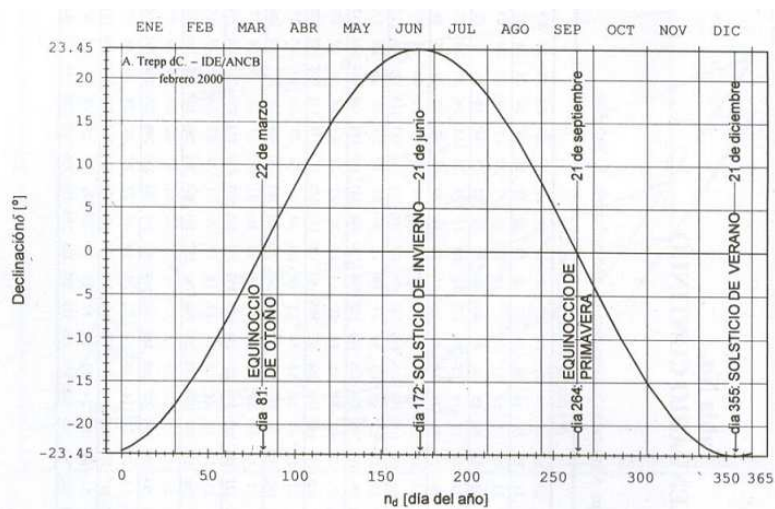


Figura 2.7: Relación de Cooper entre la declinación solar δ y del día del año n_d (para el año normal de 365 días en el hemisferio sur)

2.1.6. La medición del tiempo

En la descripción del movimiento del Sol respecto a la Tierra, se hace necesario contar con una referencia temporal que permita determinar, para todo instante, los valores de las variables que lo caracterizan. Por tanto, es pertinente efectuar una revisión del concepto de la medición del tiempo.

El transcurso del tiempo se mide básicamente en horas solares, siendo ésta una unidad que permite la cuantificación numérica de los lapsos o intervalos de tiempo. El tiempo solar se basa combinadamente en la rotación de la Tierra alrededor de su eje y en su revolución alrededor del Sol. Un ciclo aparente completo del Sol respecto a un observador que se encuentra fijo sobre la Tierra, define el día solar verdadero y todo tiempo referido a esta unidad está dado en términos de tiempo solar verdadero T también llamado tiempo local aparente. La duración del día solar verdadero no es constante a lo largo del año, sino que varía debido a las irregularidades en el movimiento y velocidad de la Tierra que se originan principalmente en la inclinación del ecuador terrestre respecto a la eclíptica, en la elipticidad de la órbita terrestre y en ciertas fluctuaciones en la posición del eje polar de la Tierra. El día solar medio es el promedio de la duración de los días solares verdaderos tomado en el transcurso de un año y define el “día reloj”, que tiene la duración de 24 horas.

Todo tiempo medido en esta unidad está dado en términos de tiempo solar medio t . Las correcciones diarias al día solar medio para obtener el día solar verdadero, pueden ser calculadas mediante la ecuación tiempo que da, en minutos, las diferencias entre estos dos tiempos.

$$E_d = 9,87 * \text{sen}(2\gamma) - 7,53 * \text{cos}(\gamma) - 1,5 * \text{sen}(\gamma)[\text{min}]$$

Donde:

$$\gamma = \frac{360}{364}(n_d - 81)[^\circ]$$

Matemáticamente, la relación es:

$$T = t[h] + E_d[\text{min}][h]$$

Estos valores pueden ser también obtenidos gráficamente de la curva que representa a esta ecuación y que puede estar referida a los días del año en forma corrida o mensual. La Fig. 9, expone esta curva.

Por otro lado, el tiempo u hora oficial h de un sitio sobre la Tierra es el tiempo relativo a un meridiano de referencia L_{ref} que define el huso horario o la zona de tiempo local. Para Bolivia, el meridiano de referencia es el $L_{ref} = 60^\circ$ Oeste (que pasa muy cerca al Oeste de Roboré, provincia de Chiquitos, departamento de Santa Cruz).

El paso del Sol sobre el meridiano del sitio $L_{sit} \neq L_{ref}$ ocurre antes o después del tiempo oficial y la diferencia de tiempo está determinada por la velocidad de rotación del Sol que es de 4 minutos (de tiempo solar medio t por cada grado de longitud).

En efecto:

$$\frac{24[h]}{360^\circ} = \frac{1440[\text{min}]}{360^\circ} = 4\left[\frac{\text{min}}{^\circ}\right]$$

Si el paso del Sol sobre el meridiano del sitio L_{sit} tiene lugar antes de su paso sobre el meridiano de referencia L_{ref} entonces el tiempo de corrección es negativo, y viceversa. Por tanto, la relación entre la hora o tiempo oficial h y el tiempo solar medio t es la corrección por latitud Δt_L :

$$\Delta t_L = 4\frac{\text{min}}{1^\circ} * (L_{ref} - L_{sit}[^\circ])[\text{min}]$$

En resumen, la posición del Sol en el cielo puede estar dado respecto a un sitio determinado en términos de la hora oficial del sitio h , del tiempo solar medio del sitio t , o del tiempo solar verdadero T , también llamado tiempo local aparente. Estos tres tiempos se relacionan entre sí como se indica en la Figura [2.8](#)

El tiempo solar medio t y la hora oficial h mediante la corrección por latitud:

$$t = h[h] + 4\frac{\text{min}}{1^\circ} * (L_{ref} - L_{sit}[^\circ])[h]$$

El tiempo solar verdadero o tiempo local aparente T y el tiempo solar medio t a través de la ecuación del tiempo E_d :

$$T = t[h] + E_d[min][h]$$

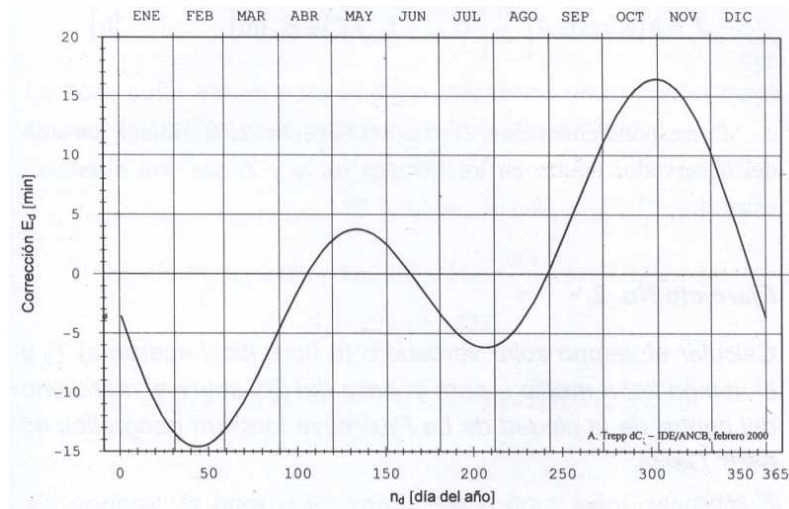


Figura 2.8: Tiempo solar medio para obtención del tiempo solar verdadero

El tiempo solar verdadero o tiempo local aparente T y la hora oficial h por intermedio de la corrección por longitud t_L y la ecuación del tiempo E_d

$$T = h[h] + 4 \frac{min}{1^\circ} * (L_{ref} - L_{sit} [^\circ] + E_d[min][h])$$

Correspondientemente, el paso del Sol sobre el meridiano del sitio del observador ocurre en los tiempos h_0 , t_0 y T_0 que son diferentes entre sí.

2.1.7. El ángulo horario

En general, el ángulo horario es una magnitud que expresa en términos espaciales (angulares) el tiempo que transcurre entre dos instantes, por ejemplo $(\tau_1 - \tau_2)$ entre los instantes caracterizadores por los índices 1 y 2. En tal sentido, se define como ángulo horario ω del sol al ángulo que forma el meridiano del sitio del observador con el meridiano que ubica al Sol en un instante dado. En otras palabras, este ángulo es medido desde el instante $\tau_1 = \tau_{sitio}$ en que el Sol está sobre el sitio del observador, hasta el meridiano que ubica al Sol en otro sitio y otro instante $\tau_2 = \tau$ cualquiera; o, lo que es equivalente, por la diferencia de tiempo $\tau_{sitio} - \tau$ entre esos dos instantes.

El instante τ_{sitio} en el que el Sol está sobre el sitio del observador, o el medio día solar, es el instante de referencia para la medición del ángulo horario. Pero puesto que, por una parte la hora oficial h no permite determinar directamente el instante del paso del Sol sobre el meridiano del sitio; y por otra, puesto que el medio día solar en términos del tiempo solar verdadero o tiempo local aparente T es diferente para cada día del año, conviene expresar el instante de referencia τ_{sitio} , en términos del tiempo solar medio t y caracterizarlo por el símbolo t_0 , es decir, de manera que sea $\tau_{sitio} = t_0$.

Es evidente que el instante τ ubica en términos temporales al Sol en algún meridiano diferente al del observador. Por tanto, el ángulo horario ω relaciona los tiempos t_0 del paso meridiano y τ de un instante cualquiera de la posición del Sol, medidos en horas, a

través de la ecuación:

$$\omega = \frac{360^\circ}{24[h]} * (t_0 - \tau)$$

$$\omega = 15 \frac{^\circ}{min} * (t_0 - \tau)[h][^\circ]$$

Consecuentemente, ω toma el valor 0° en el medio día solar, o cuando $\tau = t_0$ y varía 15° cada hora. Se lo mide desde el meridiano del lugar, ya sea en sentido retrógrado al movimiento del Sol desde 0° hasta $+180$, que corresponde en tiempo solar medio a lapsos desde 0 hasta -12 horas; o en sentido progresivo con el movimiento del Sol desde 0° hasta -180 que corresponde a lapsos de tiempo solar medio de 0 a $+12$ horas. En otras palabras, el ángulo horario es positivo en las mañanas y negativo en las tardes. Figura 2.8 a 12.

Para valores de $\tau = \tau_p$ correspondientes a las horas oficiales en punto h_p es decir para:

$$\tau_p = h_p + (L_{ref} - L_{sit})[h]$$

Los ángulos horarios ω_p tienen valores que son múltiplos de 15° .

2.1.8. La posición del sol respecto a un observador sobre la tierra.

La descripción del movimiento del Sol respecto a un observador que se encuentra sobre la superficie de la Tierra, puede ser efectuada mediante las relaciones angulares que existen entre la posición del Sol en el cielo y las coordenadas del observador sobre la Tierra.

Desde la perspectiva ptoloméica adoptada, se puede establecer las relaciones buscadas a partir de un sistema de referencia formado por la esfera terrestre, sobre cuya superficie se halla el observador y en torno a la cual, y de manera concéntrica, se encuentra la esfera celeste que contiene las trayectorias del Sol. Ver la Fig. 10. Que describe la situación para un observador ubicado en el hemisferio Sur, como es el caso de un punto en el territorio boliviano. Un círculo mayor cualquiera sobre la esfera celeste, lleva el nombre de gran círculo.

En todo momento, a la posición del observador sobre la superficie de la tierra, le corresponde un punto sobre la esfera celeste, que se llama el cénit del observador. Este es el punto de intersección entre la prolongación del radio terrestre a través del punto del observador, con la esfera celeste. El punto ubicado diametralmente opuesto al cénit del observador se llama el nadir del observador. Debido a que el radio de la Tierra es muy pequeño comparado con el radio de la esfera celeste, el horizonte celeste del observador puede ser tomado como igual al gran círculo sobre el plano que pasa por el centro de la Tierra y que es normal a la recta que une el cénit con el nadir (en rigor, este plano es tangente a la Tierra en el punto del observador).

Las prolongaciones del eje polar de la Tierra hacia ambos extremos, definen los polos norte y polo sur del observador en sus intersecciones respectivas con la esfera celeste, así como también el eje celeste de la tierra. El plano normal al eje celeste de la Tierra y que pasa por su centro, define en su intersección con la esfera celeste el gran círculo del ecuador celeste o ecuador de la esfera celeste.

La recta tangente a la Tierra en el punto del observador y contenida el plano del meridiano de éste, define el eje celeste del observador. Sin embargo, desde el punto de vista de la esfera celeste, se puede asumir que este eje pasa por el centro de la Tierra, ya que

el radio de ésta es muy pequeño comparado con el de la esfera celeste. Las intersecciones del eje celeste del observador con la esfera celeste, determinan el sur celeste y el norte celeste del observador respectivamente. Nótese que estas direcciones son de naturaleza geográfica y que son diferentes de las que tienen un origen magnético. La proyección radial del paralelo terrestre del observador sobre la esfera celeste, define paralelo celeste del observador. Este círculo pasa por el cénit del observador en la esfera celeste.

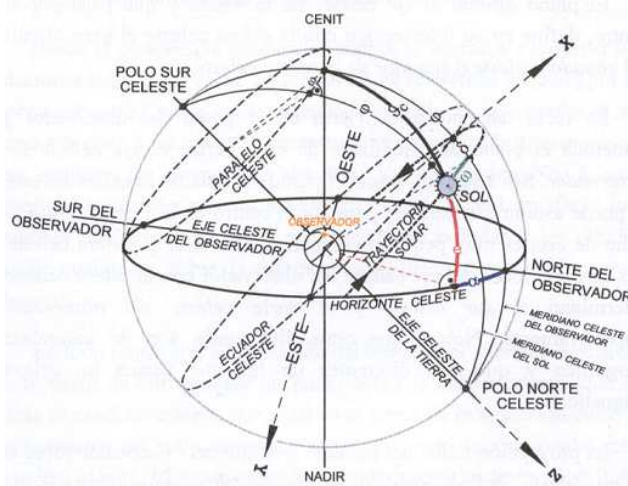


Figura 2.9: Movimiento aparente del sol en la esfera celeste para un observador ubicado en el hemisferio sur.

La latitud geográfica φ y la longitud geográfica L_s del observador fijan la posición de éste sobre la superficie de la Tierra, sobre la Tierra, la latitud (p es el ángulo comprendido entre la recta de intersección de los planos ecuatorial y meridional del observador y la recta que une el centro de la Tierra con éste, ver las Figura 2.10 y 2.11) Sobre la esfera celeste, la latitud correspondiente es el ángulo formado por la intersección de los planos celestes ecuatorial y meridional del observador con la recta cenital, ver la Figura 2.9. Tiene valores positivos para observadores ubicados en el hemisferio norte y negativos para observadores del hemisferio sur y varía entre -90° y $+90^\circ$. La Longitud L es el ángulo diédrico entre el plano meridional de referencia de Greenwich (latitud 0°) y el plano meridional del sitio del observador. Se la cuenta positiva de 0° a $+180^\circ$ hacia el Este del plano de referencia y negativa hacia el Oeste, de 0° a -180° .

El ángulo cenital ϑ_c también llamado distancia cenital, es el ángulo que ubica al Sol sobre su meridiano y se extiende entre la recta cenital del sitio y, en principio, la línea que une al observador con el Sol. Sin embargo, debido a la relación de radios indicada anteriormente, este ángulo es prácticamente igual al comprendido entre la recta cenital y la línea que une el Sol con el centro de la Tierra. Sus valores varían entre 0° si el Sol está en el cénit (en latitudes que lo permiten) en cierto día del año, y 90° a la salida o puesta del Sol.

La elevación solar e , también llamada altura solar es la elevación en términos angulares del Sol sobre el horizonte celeste del observador. Sus valores varían entre 0° a la salida y puesta del Sol, y 90° si el Sol está en el cénit en cierto día del año (en latitudes que lo permiten). La elevación solar e es el ángulo complementario del ángulo cenital ϑ_c .

El acimut solar α es el ángulo comprendido entre la recta norte del eje celeste del observador y la proyección perpendicular de la recta que une los centros de la Tierra

y el Sol, sobre el plano del gran círculo del horizonte celeste. Tiene valores positivos hacia el Este y valores negativos hacia el Oeste del eje celeste del observador. Es 0° al norte y $\pm 180^\circ$ al sur, por lo tanto, varía entre 0° y $\pm 180^\circ$. Desde el punto de vista de la trigonometría esférica, el acimut solar es el ángulo diédrico medido en el cénit entre el plano del meridiano celeste del observador y el plano definido por el gran círculo que pasa por el cénit y el Sol.

Como se puede ver en la Figura 2.9, en cualquier punto de la trayectoria solar, el ángulo de declinación solar δ es el ángulo comprendido entre la recta que une los centros del Sol y la Tierra y la proyección normal de esta recta sobre el plano del ecuador celeste. Como ya se explicó anteriormente, la declinación solar varía entre -23.45° desde el hemisferio sur hasta $+23.45^\circ$ en el hemisferio norte.

El ángulo horario es el ángulo definido por las rectas de intersección que resultan del corte del plano ecuatorial celeste con los planos de los meridianos del Sol y del observador. Se lo mide a partir del mediodía solar medio y varía en 15° por hora; es igual a 0° en el medio día solar medio, positivo en la mañana y negativo en la tarde. En la trigonometría esférica, el ángulo horario es el ángulo medido en cualquier polo celeste entre los planos definidos por los meridianos del observador y del Sol. Puede ser también identificado sobre el plano del paralelo celeste; ver las Figura 2.9, 2.10 y 2.11

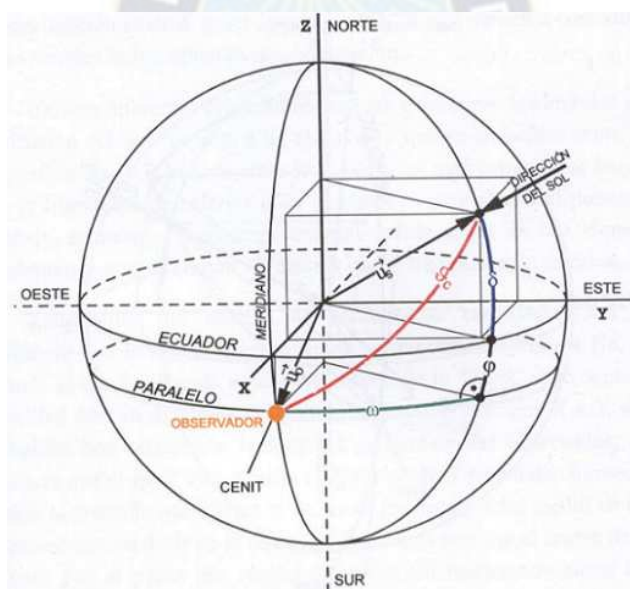


Figura 2.10: Determinación del ángulo cenital ϑ_c en la esfera geodésica unitaria.

2.1.9. La ubicación del sol mediante la elevación y el acimut

La posición del Sol en el cielo respecto a un observador que se encuentra sobre la superficie de la Tierra está en todo momento determinada por el conocimiento de los valores de los ángulos cenital ϑ_c o de la elevación solar e y del acimut solar α . Estos ángulos constituyen las variables dependientes de la cinética solar, cuyos valores están en función de la latitud geográfica φ del observador, de la declinación solar δ y del ángulo horario ω , que vienen a constituir las variables independientes del movimiento.

Existen diferentes procedimientos para determinar los ángulos de ubicación del Sol respecto a un observador que se encuentra sobre la superficie de la Tierra, de entre los

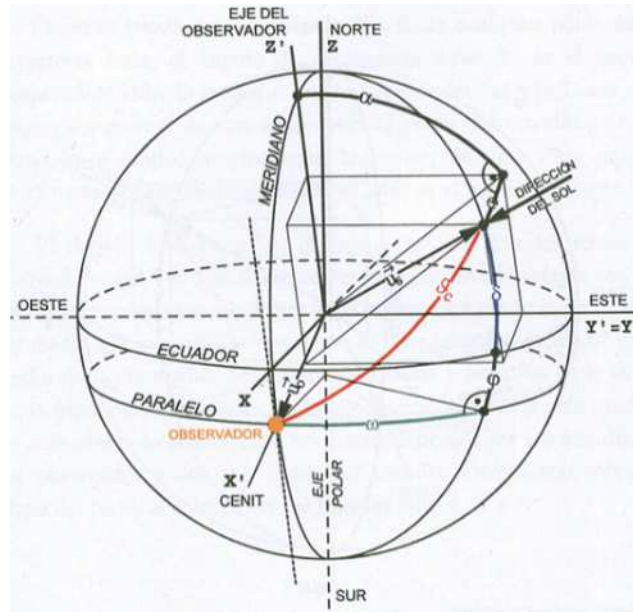


Figura 2.11: Determinación del ángulo acimutal α en la esfera geodésica unitaria.

cuales, los más comunes se basa en la trigonometría esférica o en el álgebra vectorial. En el presente trabajo, se recurre al álgebra vectorial debido a que es una técnica matemática más difundida y conocida que la trigonometría esférica.

Considérese un sistema de coordenadas cartesiano (X, Y, Z) solidario con la esfera terrestre, como se indica en la Figura 2.9 donde el eje Z coincide con el eje celeste de la Tierra, cuyo sentido positivo está en dirección del polo norte celeste. Los ejes X e Y son elegidos con relación a la longitud geográfica del observador, de manera que el eje Y indica hacia el Este y el eje X perpendicularmente hacia la posición que adopta el Sol en el medio día solar medio en los equinoccios, es decir en la dirección de la recta que une el centro de la Tierra con el punto que resulta del cruce del meridiano celeste del observador con el gran círculo del ecuador celeste.

Como se puede apreciar en la Figura 2.10 en este sistema de referencia y sobre la esfera geodésica unitaria, las componentes del vector unitario \vec{u}_s que apunta desde el centro de la Tierra hacia el Sol, están dadas por:

$$\vec{u}_s = (x_s, y_s, z_s)$$

$$\vec{u}_s = (\cos \delta * \cos \omega, \cos \delta * \sin \omega, \sin \delta)$$

Análogamente, las componentes del vector unitario \vec{u}_0 que fija la posición del observador sobre la esfera geodésica unitaria, son:

$$\vec{u}_0 = (x_0, y_0, z_0) = (\cos \varphi, 0, \sin \varphi)$$

El ángulo comprendido entre estos dos vectores es el ángulo cenital ϑ_c que puede ser calculado recurriendo al producto escalar entre ambos, en efecto:

$$(\vec{u}_s * \vec{u}_0) = |\vec{u}_s| * |\vec{u}_0| \cos \vartheta_c = \cos \vartheta_c = (\cos \delta * \cos \omega * \cos \varphi + 0 + \sin \delta * \sin \varphi)$$

Como la elevación solar e es el ángulo complementario del ángulo cenital ϑ_c se puede

escribir:

$$\cos \vartheta_c = \sin e$$

$$\sin e = (\cos \delta * \cos \omega * \cos \varphi + \sin \delta * \sin \varphi)$$

Se debe notar que, en todas las aplicaciones prácticas, el efecto de refracción óptica de la atmósfera tiene una influencia despreciable sobre el ángulo aparente de elevación solar, que es ligeramente mayor al calculado líneas arriba. Las diferencias varían desde 0' en el cénit, hasta unos 34' en el horizonte y son levemente dependientes de la presión y temperatura atmosféricas.

La ecuación anterior puede ser resuelta para determinar los ángulos horarios de la salida ω_{ss} y de la puesta ω_{ps} del Sol. Notar que estos ángulos son iguales, excepto por el signo, que es positivo para la salida y negativo para la puesta del Sol, es decir que $\omega_{ss} = -\omega_{ps} = \pm\omega_s$. En estos instantes la elevación solar e es nula, de manera que resulta:

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \delta * \sin \varphi}{\cos \delta * \cos \varphi} = -\tan \delta * \tan \varphi$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta * \tan \varphi)[\text{grados}]$$

De esta ecuación se puede calcular la duración astronómica del día $d = \omega_s$ en términos de ángulo horario y de su equivalente en tiempo:

$$d_{\text{angulo}} = 2\omega_s = 2 \arccos(-\tan \delta * \tan \varphi)[\text{grados}]$$

$$d_{\text{tiempo}} = \frac{2\omega_s[^\circ]}{15 \frac{^\circ}{h}} = \frac{1}{15} * \arccos(-\tan \delta * \tan \varphi)[\text{horas}]$$

La determinación del ángulo acimutal solar a , puede ser efectuada recurriendo a un artificio matemático del álgebra vectorial efectuado sobre la esfera geodésica unitaria, ver la [2.11](#). Para ello conviene determinar las componentes del vector unitario \vec{f} , que ubica la dirección del Sol, por un lado respecto a un sistema de coordenadas nuevo (X', Y', Z') que está girado sobre el eje Y , cuyo eje X' coincide con la recta que une el centro de la Tierra con el observador y cuyo eje Z' es perpendicular a Y' , encontrándose ambos en el plano del meridiano del observador, y por otro, las componentes del mismo vector respecto al sistema de coordenadas original (X, Y, Z) , y luego compararlas. En efecto:

$$\vec{u}_s = (x'_s, y'_s, z'_s) = (\cos \vartheta_c, \sin \vartheta_c * \sin \alpha, \sin \vartheta_c * \cos \alpha)$$

$$\vec{u}_s = (x_s, y_s, z_s) = (\cos \delta * \cos \omega, \cos \delta * \sin \omega, \sin \delta)$$

Como los ejes Y' e Y coinciden, las componentes respectivas se identifican, es decir que:

$$y'_s = y_s$$

$$\sin \vartheta_s * \sin \alpha = \cos \delta \sin \omega$$

$$\cos e * \sin \alpha = \cos \delta * \sin \omega$$

De donde resulta la expresión para el cálculo del ángulo cenital α :

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta * \sin \omega}{\cos e}$$

2.1.10. Método gráfico para determinar la posición del sol.

Las ecuaciones de la elevación solar e y del acimut solar α permiten determinar con precisión la posición del Sol en el cielo en todo momento de cualquier día del año, sin embargo, para una cantidad de aplicaciones de ingeniería y de arquitectura, es suficiente obtener gráficamente los ángulos solares a partir de nomogramas adecuados. Estos están constituidos por diagramas o cartas solares que reproducen geoméricamente en ábacos las trayectorias del Sol a través de la representación gráfica de las ecuaciones en función de la declinación solar δ de la latitud del observador φ y del tiempo solar medio t representado por el ángulo horario ω .

Existen varios tipos de cartas solares que se diferencian entre sí por los sistemas de representación utilizados. Dentro de las más difundidas, se puede mencionar las cartas de proyección diédrica u ortogonal de Fisher y de Fisher-Mattioni que tienen sin embargo la desventaja de que es necesario construir una para cada día del año; las cartas de proyección cilíndrica que no son muy adecuadas para aplicaciones en sitios donde las trayectorias solares se desarrollan tanto al norte como al sur del cénit del observador, como es el caso para el territorio boliviano; o las cartas solares en proyección estereográfica de Whillier que reproducen las trayectorias solares de todo el año para una latitud determinada. Debido a la sencillez gráfica y fácil lectura de los ángulos solares que brindan estas cartas, han sido adoptadas en el presente trabajo para la representación gráfica de las trayectorias solares.

Las cartas solares de proyección estereográfica se basan en la proyección de la esfera sobre un plano, como se puede apreciar en la Figura 2.12. Para entender este procedimiento, considérese la trayectoria indicada por el Sol sobre la esfera celeste en el punto S. La proyección ortogonal de esta trayectoria sobre el plano tangente a la Tierra en el punto del observador O, describe el curso del Sol sobre este plano y se la llama la trayectoria solar plana. Sobre esta trayectoria, el punto A corresponde al acimut a la salida del Sol, y el punto B ubica el lugar que ocupa el Sol a cierta hora del día, que está plenamente caracterizado por el acimut solar α y la recta \overline{OB} , la misma que podría estar representada por la relación $\overline{OB} = \cos e$.

Siguiendo este procedimiento, es posible construir cartas solares que exponen sobre el plano el curso de las trayectorias solares para varios valores de la declinación solar S, es decir, las trayectorias planas para varios días del año. Ver la Figura 2.13.

En estos diagramas, el círculo exterior representa el horizonte del observador. En círculos concéntricos interiores y equiespaciados radialmente entre sí para lograr un mejor efecto visual, conviene representar los ángulos de elevación e . En este caso, sin embargo, los radios de las circunferencias no son los cosenos de las elevaciones correspondientes, sino que obedecen a una escala arbitraria adoptada por la proyección plana equidistante para conseguir una mayor comodidad visual. Por eso, según este procedimiento de construcción, las trayectorias solares sobre el plano no son estrictamente las proyecciones ortogonales planas del movimiento diurno del Sol en el cielo, sino sus representaciones.

Por otro lado, las líneas radiales indican los ángulos acimutales a en incrementos de 10° . Para facilitar una lectura más precisa de este ángulo, se ha incorporado una escala angular con pasos de 1° sobre el círculo del horizonte.

En la tabla al pie del diagrama están indicadas las trayectorias solares planas para diversos valores de la declinación solar δ y los días del año correspondientes. A mano

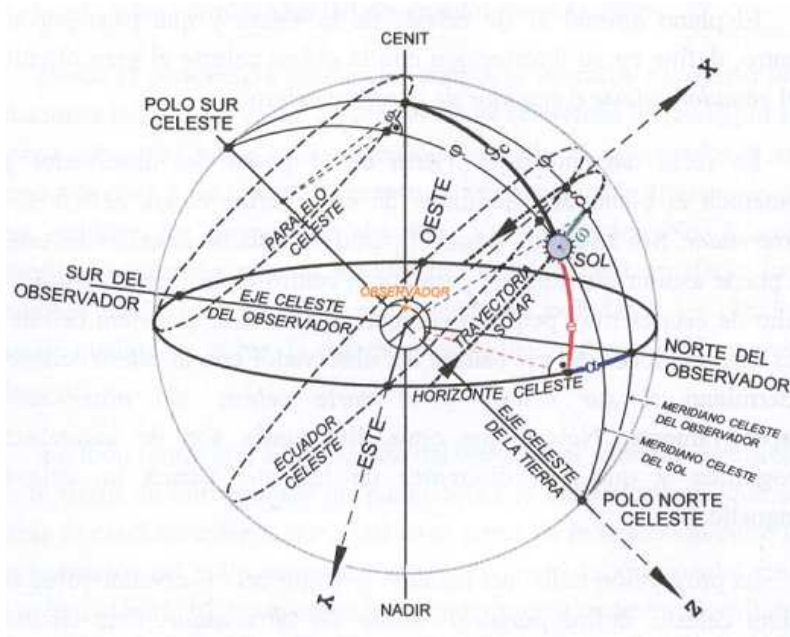


Figura 2.12: Movimiento aparente del sol en el cielo respecto a una superficie horizontal del hemisferio sur

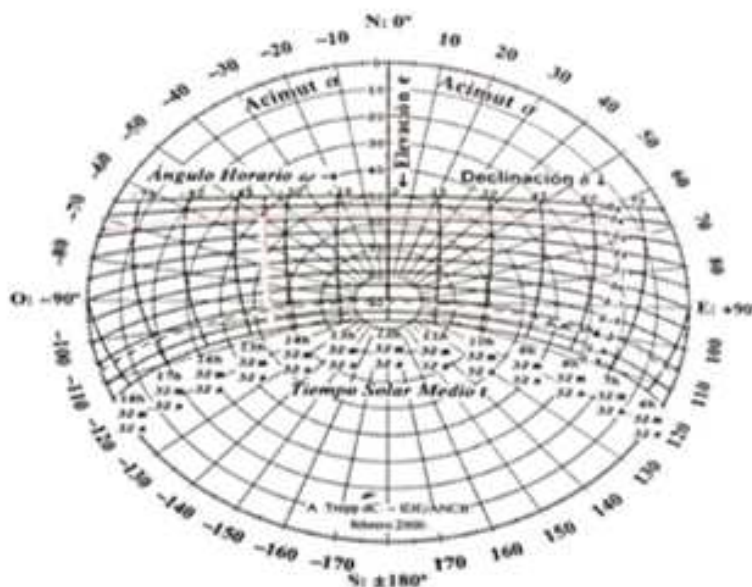


Figura 2.13: Ejemplo de la lectura de valores en las cartas solares La Paz-Centro Latitud 16°29'Sur, Longitud 68°08'Oeste

de esta tabla es posible encontrar la trayectoria solar de un día cualquiera del año por interpolación entre las dos trayectorias más cercanas luego de identificar previamente el número de día n_d y la declinación solar δ correspondientes (Figura 2.14 y curva de la Figura 2.7).

A su vez, las trayectorias solares planas están cruzadas por curvas isógonas de ángulo horario espaciadas en 15° (equivalentes a lapsos de 1 hora) entre sí. Conviene que estas

DECLINACIÓN Y TIEMPO ANUAL

$\delta_5 = +23.45^\circ$: 21 de junio (Solsticio de Invierno)
$\delta_4 = +20.00^\circ$: 20 de mayo y 23 de julio
$\delta_3 = +15.00^\circ$: 1 de mayo y 11 de agosto
$\delta_2 = +10.00^\circ$: 17 de abril y 26 de agosto
$\delta_1 = + 5.00^\circ$: 10 de marzo y 3 de octubre
$\delta_0 = 0^\circ$: 22 de marzo y 21 de septiembre (Equinoccios)
$\delta_{-1} = - 5.00^\circ$: 10 de marzo y 3 de octubre
$\delta_{-2} = -10.00^\circ$: 24 de febrero y 16 de octubre
$\delta_{-3} = -15.00^\circ$: 10 de febrero y 31 de octubre
$\delta_{\text{Lat}} = -16.48^\circ$: 5 de febrero y 5 de noviembre (Cenit)
$\delta_{-4} = -20.00^\circ$: 22 de enero y 19 de noviembre
$\delta_{-5} = -23.45^\circ$: 21 de diciembre (Solsticio de Verano)

Figura 2.14: Declinación y tiempo anual en la La Paz

isogonas estén consignadas en términos de tiempo solar medio t relativo al sitio del observador, donde el paso meridiano o medio día solar está en to que identifica a su vez el origen de medición del ángulo horario ω .

Nótese que la ventaja del manejo del tiempo a través del ángulo horario ω , radica en la independencia de las diferentes medidas del tiempo.

2.1.11. Cartas solares estereográficas de puntos seleccionados del territorio de Bolivia

Considerando que a cada punto de longitud y latitud geográfica le corresponde una carta solar, en esta parte del trabajo se presenta un conjunto de cartas solares que han sido calculadas y elaboradas para las ciudades capitales de departamento y para los puntos extremos boreal, austral, occidental y oriental del territorio nacional. La Tabla [2.1](#), consigna estas localidades y sus ubicaciones geográficas.

2.2. Colector solar y sus características

El desarrollo tecnológico actual permite aprovechar la energía del Sol para los usos más diversos. Las aplicaciones pueden ser agrupadas en: En este capítulo revisaremos las más importantes aplicaciones de la energía solar en diversas áreas. La energía solar se manifiesta en dos formas de la energía: la luminosa y la térmica. Dentro del alcance de este trabajo, nos referimos exclusivamente a la energía solar-térmica y de su aprovechamiento por medio de colectores solares. Estos colectores son dispositivos en los que la irradiación solar (directa o difusa) es captada para generar calor y aumentar la temperatura de un fluido o un ambiente dado. El sistema utilizado típicamente se compone de uno o más colectores, los cuales se conectan con un circuito que bien sea transporta al fluido en cuestión y le eleva la temperatura hasta el punto de uso o con un subsistema indirecto para que luego el calor sea transferido al ambiente deseado.

SITIO	Latitud Sur $\hat{\wedge}$		Longitud Oeste $\hat{\wedge}$		OBSERVACIONES
	[grad min]	[grad decim]	[grad min]	[grad decim]	
Cobija	11° 05'	11.08°	68° 52'	68.87°	Extremo Norte
Trinidad	14° 51'	14.85°	64° 57'	64.95°	
La Paz - Centro	16° 29'	16.48°	68° 08'	68.13°	
Cochabamba	17° 27'	17.45°	66° 09'	66.15°	Extremo Oeste
Charaña	17° 36'	17.60°	69° 27'	69.45°	
Santa Cruz	17° 47'	17.78°	63° 10'	63.17°	
Oruro	17° 57'	17.95°	67° 07'	67.12°	Extremo Este
Puerto Suárez	18° 56'	18.93°	57° 50'	57.83°	
Sucre	19° 03'	19.05°	65° 13'	65.22°	
Potosí	19° 23'	19.38°	65° 45'	65.75°	Extremo Sur
Tarija	21° 33'	21.55°	64° 42'	64.70°	

$\hat{\wedge}$: Fuente: Montes de Oca, Geografía y Recursos naturales de Bolivia, 3ra Edición, 1997.

Cuadro 2.1: Localidades cálculo de trayectorias solares

2.2.1. Colector según su temperatura

El colector solar puede ser clasificado según su temperatura de operación como colector de alta, media o baja temperatura.

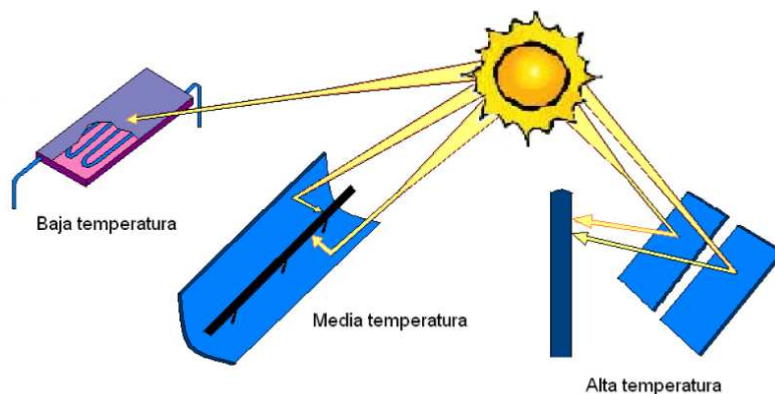


Figura 2.15: Colectores según su temperatura

2.2.1.1. Bajo (Menos de 100°C)

Los colectores de baja realizan la captación de forma directa, sin concentración de los rayos solares. Además, la temperatura del fluido a calentar está siempre por debajo del punto de ebullición del agua. Según los materiales y técnicas de captación empleadas se pueden distinguir tres tipos de colectores de baja temperatura: colectores de caucho (25°C-35°C), de placa plana, y de tubos de vacío (50°C-70°C).

2.2.1.2. Media (Entre 100 y 400°C)

Los colectores de media tienen un bajo índice de concentración de los rayos solares, consiguiendo, de este modo, temperaturas más elevadas al aumentar la radiación por

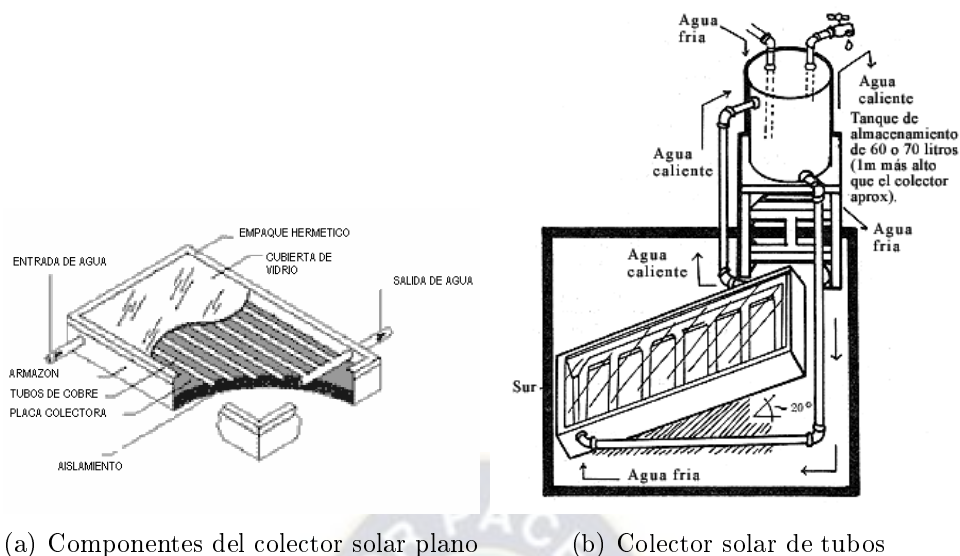


Figura 2.16: Colector solar menor a 100°C

unidad de superficie. La temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 100°C-400°C. Los más representativos son los colectores cilíndrico – parabólicos.

Deben orientarse continuamente al sol de manera precisa mediante un mecanismo de seguimiento adecuado. El acabado de las superficies que constituyen el sistema óptico debe ser de buena calidad y ha de mantener sus propiedades por largos períodos de tiempo sin ser deteriorado por los agentes exteriores.

Los materiales utilizados en el receptor (aislante térmico, fluido de trabajo, tubos absorbentes y cubiertas) deben aguantar perfectamente las altas temperaturas que se alcanzan.

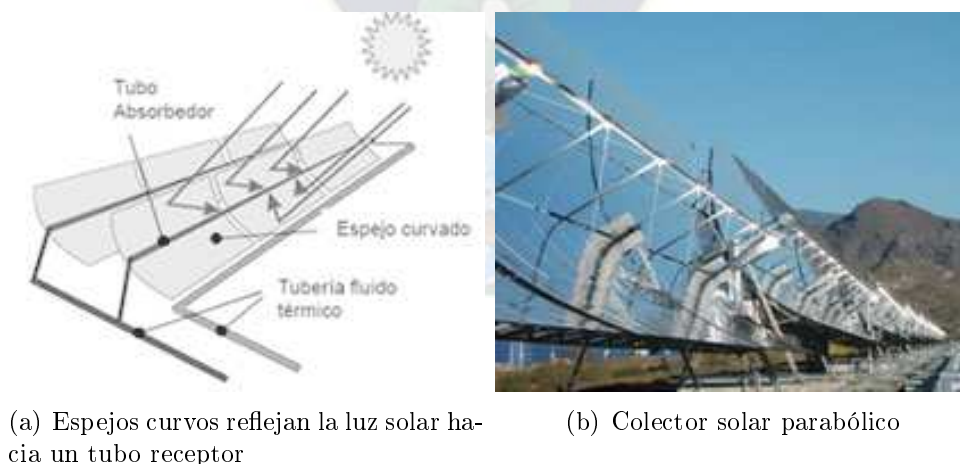


Figura 2.17: Colector cilíndrico-parabólico 100°C < 400°C

2.2.1.3. Alta Temperatura (Mas de 400°C)

Los colectores de alta temperatura tienen un alto índice de concentración de la radiación solar, consiguiendo temperaturas de trabajo por encima de 400°C. En la actualidad

se utilizan sólo en instalaciones de ensayo y demostración aplicadas a la generación eléctrica, el ensayo de materiales industriales, la desalinización de agua marina por evaporación, etc. Los más representativos son los heliostatos y los discos parabólicos.

Los heliostatos son espejos muy pulidos que focalizan la radiación solar concentrándola en un receptor situado en la parte superior de una torre, para lo cual están dotados de un preciso mecanismo de seguimiento solar. En la torre, el receptor convierte la radiación en calor, alcanzándose temperaturas superiores a 1000°C .

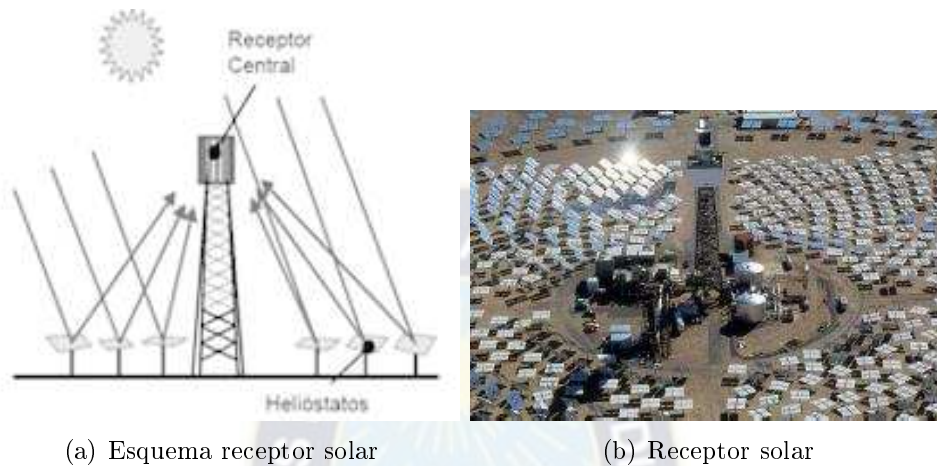


Figura 2.18: Colector cilíndrico-parabólico $100^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C}$

Los discos parabólicos están formados por una superficie reflectora en forma de paraboloide que concentra los rayos solares sobre un receptor puntual que contiene un gas (helio, aire), consiguiendo elevar su temperatura hasta 900°C .

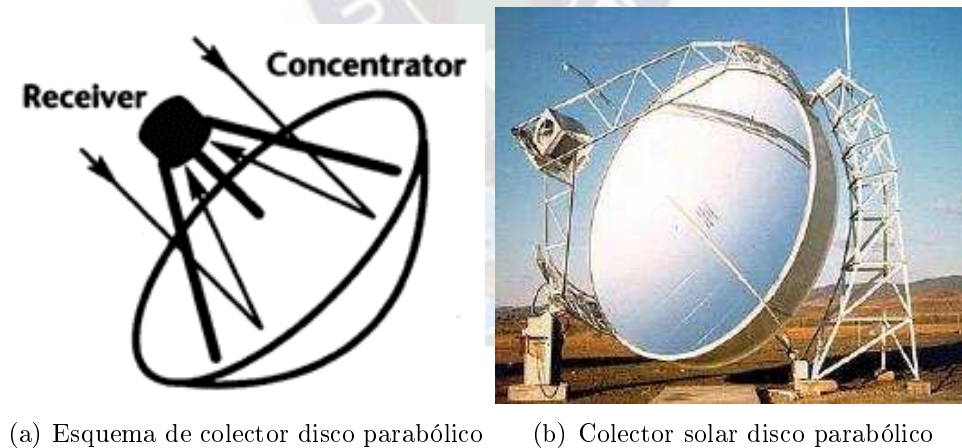


Figura 2.19: Colector disco parabólico hasta 900°C

2.2.2. Criterios de clasificación de los colectores

Hay varias maneras de clasificar a los colectores en los sistemas solares térmicos: de acuerdo al tipo de colector solar empleado, de acuerdo a la temperatura de operación que puede alcanzar el colector o de acuerdo a la aplicación final de la energía térmica obtenida. En cuanto a las aplicaciones de los colectores, son 3 los sistemas térmicos más desarrollados:

- Generación termo solar de potencia
- Calor solar para procesos industriales
- Calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios.

De estas tres categorías, la de calentamiento solar de agua y acondicionamiento de espacios es la que ha alcanzado un grado mayor de madurez, con aplicación en una escala muy significativa en varios países del mundo. Asimismo, de estas categorías la de calor solar para procesos industriales es la que está menos investigada. En algunos casos las tecnologías solares implicadas en la generación del calor de procesos son las mismas que para el calentamiento de agua, sin embargo, todavía es necesario trabajar en el desarrollo de colectores e investigación sobre la integración de sistemas para poder generalizar este tipo de aplicaciones en el caso de temperaturas superiores a los 120 °C. También existen los sistemas de cogeneración, donde se produce simultáneamente potencia eléctrica y calor para procesos industriales.

Por el lado de la concentración de la radiación solar existen básicamente dos tipos de colectores solares, los que no concentran una imagen y los que concentran una imagen.

- No forman imagen o no focalizantes (nonimaging collectors). Un colector que no concentra imagen tiene usualmente un área de absorción (también llamada área de la imagen o área de zona focal) cercana al área de intercepción. Tienen la gran virtud de lograr la concentración de energía solar sin el uso de un sistema de seguimiento, disminuyendo el costo del sistema de concentración de energía solar, lo cual hace muy atractivos a estos equipos en diversas aplicaciones solares.
- Forma imagen o focalizantes (imaging collectors) Un colector concentrador de imagen usualmente tiene una superficie reflectante cóncava y focaliza la radiación incidente en un área pequeña, incrementando el flujo radiactivo. Enfocan directamente al sol durante toda la trayectoria diaria. Por lo tanto, en la mayoría de las aplicaciones usan un sistema de seguimiento del disco solar.

En función al movimiento de rotación del colector se pueden clasificar en estacionarios, rastreo alrededor de un eje y rastreo alrededor de dos ejes. Otra clasificación de los colectores es en cuanto al índice de concentración (C), que es la razón entre el área de interceptación o entrada (A_{ent}) y el área de absorción o salida (A_{sal}) de un colector y es una propiedad relevante e intrínseca de cada uno de ellos. Puede ser definida como:

$$C = \frac{A_{ent}}{A_{sal}} = \frac{\text{Área de apertura o entrada}}{\text{Área de absorción o salida}}$$

Mientras mayor sea el factor de concentración solar de un colector, mayor es la temperatura alcanzable, pero a la vez más complicado el seguimiento del movimiento aparente del Sol. Esto obviamente encarece al sistema, por lo que es importante relacionar cada aplicación con el tipo de colector adecuado.

- Sin concentración ($C = 1$)

Dentro de este grupo se tienen: placa plana (flat plate collector) (FPC), colector de tubos al vacío (evacuated tube collector) (ETC) y algunos colectores cilindro parabólico compuestos (CPC).

- Con concentración ($C > 1$)

Dentro de este grupo se tienen: colectores cilindro parabólico (parabolic trough collector. PTC), colector parabólico compuesto (compound parabolic collector) (CPC), reflector de Fresnel lineal (linear Fresnel reflector) (LFR), reflector de disco parabólico (parabolic dish reflector) (PDR) y colector de campo de helióstatos (heliostat field collector) (HFC).

Seguimiento	Tipo de colector	Tipo de absorbente	Ratio de concentración	Rango de temp. (°C)
Estacionario	Plano (FPC)	Plano	1	30-80
	Tubo Evacuado (ETC)	Plano	1	50-200
Un Eje	Parabólico Compuesto (CPC)	Tubular	1-5	70-240
	Reflectores Fresnel (LFR)	Tubular	5-15	70-290
	Cilindro Parabólico (PTC)	Tubular	10-40	60-250
	Cilíndrico (CTC)	Tubular	15-45	70-290
En Dos Ejes	Disco Parabólico (PDR)	Focal	10-50	70-290
	Helióstatos (HFC)	Focal	100-1000	100-500
	Horno Solar	Focal	100-1500	150-2000
			1500-5000	600-3000

Cuadro 2.2: Clasificación de colectores solares y sus ratios de concentración

2.2.3. Almacenamiento del colector

Para la circulación de agua caliente existen dos sistemas de almacenamiento.

2.2.3.1. Sistema Abierto

Llamado también sistema directo, el agua se calienta en el colector y se envía al depósito de almacenamiento. Ésta se ve reemplazada en el colector por agua fría que luego se calienta y así sucesivamente.

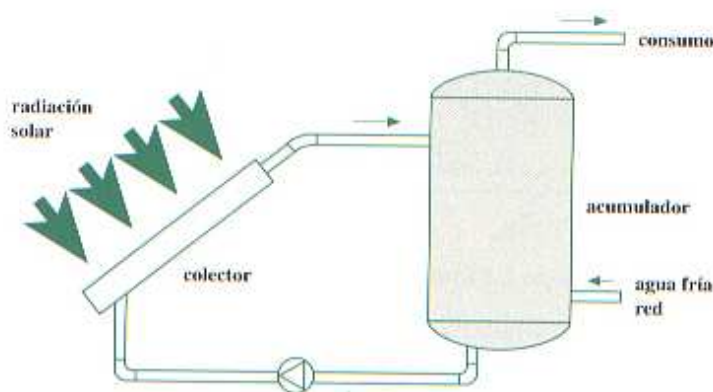


Figura 2.20: Colector con almacenamiento abierto

2.2.3.2. Sistema Cerrado

Llamado también sistema indirecto, el agua caliente procedente del colector puede también circular por un intercambiador de calor en el interior del depósito: al entrar en contacto con el agua fría del depósito cede sus calorías a través de la pared del intercambiador y vuelve a calentarse en el colector.

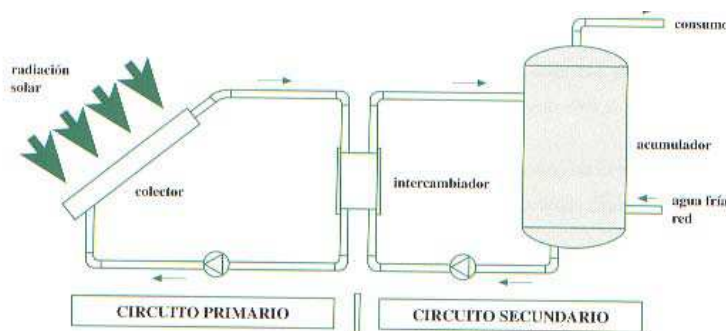


Figura 2.21: Colector con almacenamiento cerrado

2.2.4. Circulación de agua caliente

Las instalaciones solares pueden funcionar por dos sistemas distintos.

2.2.4.1. Termofisión

El calentamiento con termosifón consiste en instalar un tanque de almacenamiento de agua a una altura superior del colector. El agua caliente del colector, por ser menos densa, se desplaza hacia arriba y esta se almacena en el tanque. El tanque es aislado para mantener la temperatura del agua para su posterior uso. Por gravedad, el agua fluye luego hacia las salidas de agua caliente en la residencia.

Para que este sistema funcione, es absolutamente necesario que el acumulador este más alto que los paneles solares.

A medida que la diferencia de altura es mayor, la circulación es más rápida.

Los sistemas de circulación natural son de funcionamiento totalmente automático, ya que el fluido caliente se acumula en la parte superior y el frío en la parte inferior.

Ventajas:

- Se puede mencionar que es un sistema simple, de fácil instalación
- Tiene un precio bajo. Desventajas:
- Depende de la presión de agua de ingreso a la residencia para la circulación de agua por el colector.
- Si entra aire al sistema se interrumpe el flujo de agua. Depende totalmente de la radiación solar para la disponibilidad de agua.
- Al estar expuesto el tanque al ambiente exterior está sujeto a una mayor pérdida del calor almacenado.

- La temperatura del agua no tiene control.
- Necesita de un elemento adicional para calentamiento con gas o electricidad.
- Necesita de un elemento adicional para calentamiento con gas o electricidad
- El colector debe encontrarse próximo y por debajo del tanque de almacenamiento (mínimo 40cm).

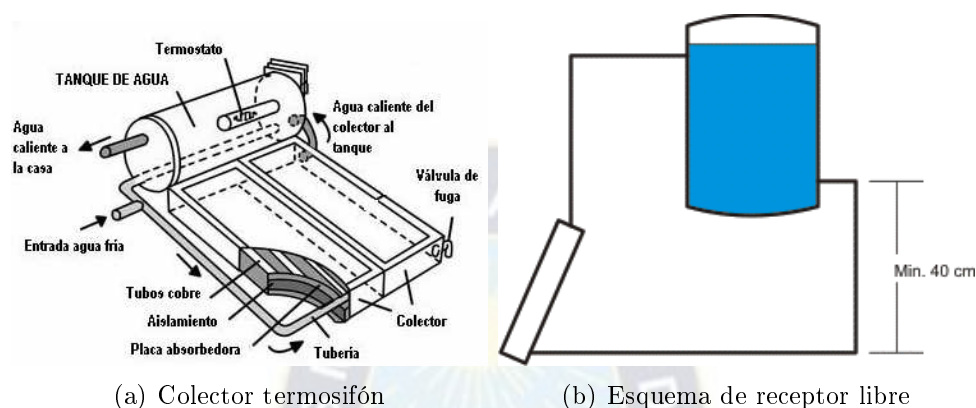


Figura 2.22: Sistema solar residencial tipo termosifón

2.2.4.2. Bomba

El sistema de calentamiento de agua por bomba comprende: colectores solares en el techo, tanque de almacenamiento, bomba de circulación, termostato eléctrico o equipo de calentamiento adicional, sistema de control de temperatura y presión y tanque de expansión para sistemas con líquido anti- congelante. Es el sistema común de agua caliente en las residencias, con la importante diferencia que la fuente de calor proviene del Sol y no de un termostato eléctrico o calefón de gas. Mediante la instalación de la bomba de circulación podemos controlar muy efectivamente el rendimiento del colector ya que, como hemos visto anteriormente, la bomba se activa cuando la diferencia de temperatura entre la salida del agua caliente del colector y la de entrada de agua fría al tanque excede un valor, que por lo general es entre 10 y 20°C.

Ventajas:

- El tamaño del tanque de almacenamiento puede ser más grande que el termosifón y no afecta la estética de la residencia.
- El uso de un elemento de calentamiento de respaldo mediante termostato, calefón o caldero, permite disponer de agua caliente en situaciones de baja radiación solar. En casos en que se requiere una temperatura más alta que la normal, se puede calentar en dos etapas: con calentamiento solar hasta cierta temperatura y luego con el equipo de respaldo.
- La eficiencia en el aprovechamiento solar es alta.
- El mantenimiento es más fácil pues está ubicado en un sitio de mayor acceso que el techo.

- El tanque de almacenamiento no requiere un aislamiento adicional porque está al interior de la vivienda. Desventajas
- Requiere de energía adicional para el funcionamiento de la bomba y, en ciertos lugares, no disponen de servicio eléctrico. En esos casos se puede instalar un pequeño panel fotovoltaico para suministrar la energía de la bomba que es una carga pequeña y funciona en corriente directa. Otras desventajas son que la instalación es más compleja que el termosifón y su costo es más alto.

Desventajas

- Requiere de energía adicional para el funcionamiento de la bomba y, en ciertos lugares, no disponen de servicio eléctrico. En esos casos se puede instalar un pequeño panel fotovoltaico para suministrar la energía de la bomba que es una carga pequeña y funciona en corriente directa. Otras desventajas son que la instalación es más compleja que el termosifón y su costo es más alto.

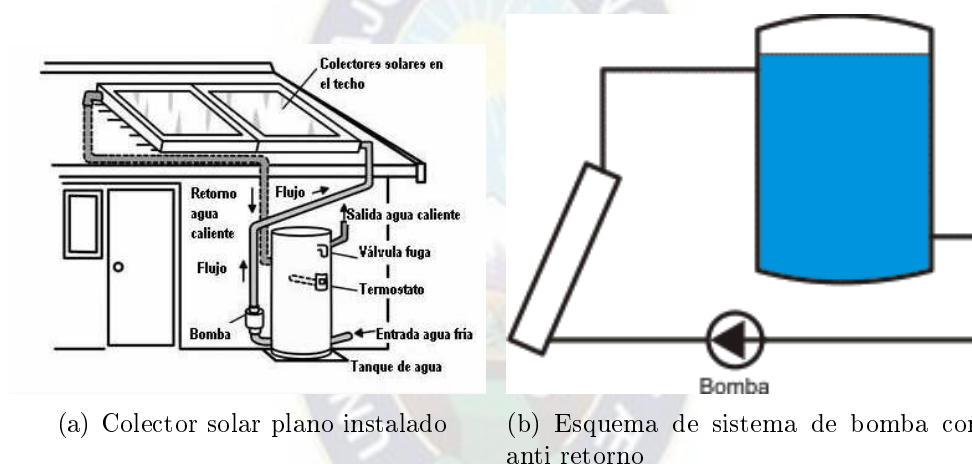


Figura 2.23: Sistema solar residencial tipo termosifón

2.2.5. Rotación de ejes en sistema de coordenadas

Para la rotación de ejes obtendremos la ecuación de la figura

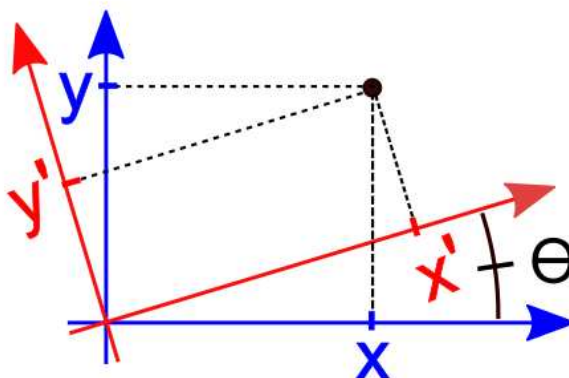


Figura 2.24: Rotación de Coordenadas

De la figura 2.24 las ecuaciones que definen la transformación en dos dimensiones, que hace girar los ejes xy en el sentido contrario a las agujas del reloj a través de un ángulo θ en los ejes $x'y'$, se deducen de la siguiente manera:

Dado el sistema xy , el punto P tiene las coordenadas polares (r, α) . Luego, en el sistema $x'y'$, P tendrá coordenadas polares $(r, \alpha - \theta)$.

Entonces, se tiene que:

$$x = r \cos \alpha \quad (2.1)$$

$$y = r \sin \alpha \quad (2.2)$$

$$x' = r \cos(\alpha - \theta) = r \cos \alpha \cos \theta + r \sin \alpha \sin \theta \quad (2.3)$$

$$y' = r \sin(\alpha - \theta) = r \sin \alpha \cos \theta - r \cos \alpha \sin \theta \quad (2.4)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.1) y (2.2) en las ecuaciones (2.3) y (2.4), se obtiene

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2.5)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2.6)$$

Las ecuaciones (2.3) y (2.4) se pueden representar en forma de matriz como

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

que es la ecuación matricial estándar (2.7) de una rotación de ejes en dos dimensiones

La transformación inversa es:

$$x = x' \cos \theta - y' \sin \theta \quad (2.8)$$

$$y = x' \sin \theta + y' \cos \theta \quad (2.9)$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

2.3. Alternativas de solución

Muchos tipos de concentradores son posibles para incrementar la radiación sobre los receptores. Estos pueden ser refractores o refractarios. Pueden ser cilíndricos para enfocar sobre una línea o circular para enfocar en un solo punto. Los receptores pueden ser cóncavos o convexos.

Los ejemplos de las cuatro configuraciones son mostrados a continuación.

2.3.1. Colector plano

El primero es un receptor plano con reflectores planos. La relación de concentración para este tipo de colector son relativamente bajas con un máximo valor menor o igual a uno. Algunos componentes difusos de la radiación incidente en el reflector serían adsorbidos en el receptor. Estos colectores pueden ser vistos como colectores planos con radiación incrementada.

Esto no ocurre en el colector plano donde la transformación de la energía solar en energía térmica se efectúa en la misma superficie que recibe la radiación.

- La segunda muestra un reflector de sección parabólica el cual podría ser una superficie cilíndrica (con un receptor tubular) o una superficie de revolución (con un receptor esférico o semiesférico) colectores cilíndricos de este tipo an sido estudiados con mayor detalle están siendo usados en aplicaciones experimentales.
- El tercero vemos el reflector parabólico un reflector fresnel, el cual es un conjunto de reflectores planos sobre un sistema de posicionamiento continuo puede ser reemplazado por su equivalente refractante.
- El cuarto los paneles del reflector pueden ser individualmente montados y ajustados en posición.

2.3.2. Colector cpc

Los colectores concentradores pueden ser de varios tipos:

2.3.2.1. Parabólicos (Por reflexión)

El colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc.) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y que merced a la propiedad de la parábola que dice que cuando los rayos son paralelos al eje de la misma se concentran en el foco de ella, dichos rayos inciden en un elemento receptor ubicado en el foco, que contiene el fluido a calentar.

2.3.2.2. Parabólicos (Por refracción)

El colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto, donde se encuentra el elemento receptor que contiene el fluido a calentar.

2.3.2.3. Parabólico compuesto (C.P.C.)

El colector está formado por dos parábolas dispuestas de tal manera que ambos ejes forman con la vertical el mismo ángulo f . Se demuestra que existe una vinculación entre la concentración C del colector y dicho ángulo.

2.3.2.4. Colector cpc trapecio o en v

La superficie del colector CPC TRAPECIO se observa que el reflector interior de aluminio anodizado, que en la parte inferior tiene la forma de trapecio (también puede tener la forma de una W).

En la parte superior hay un vidrio que permite el paso de la radiación solar, que en forma directa o luego de una o dos reflexiones incide en una tubería metálica con revestimiento selectivo por donde circula el fluido a calentar, rodea a esta tubería una manga de plástico especial que hace disminuir las pérdidas térmicas por convección en el espacio entre la tubería y el vidrio.

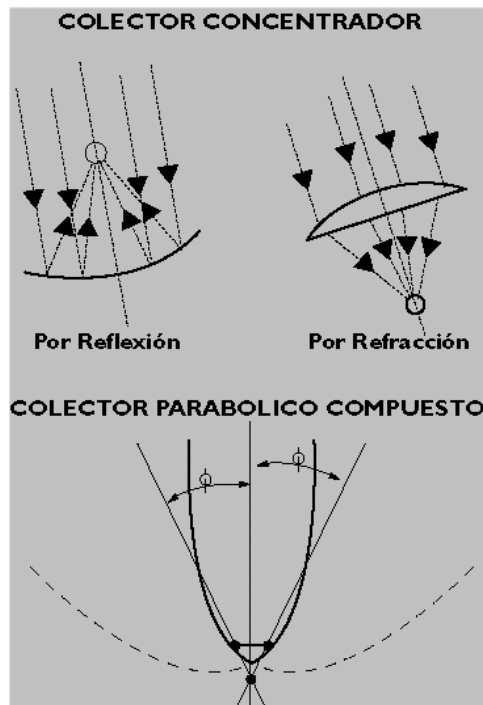


Figura 2.25: Colector parabólica

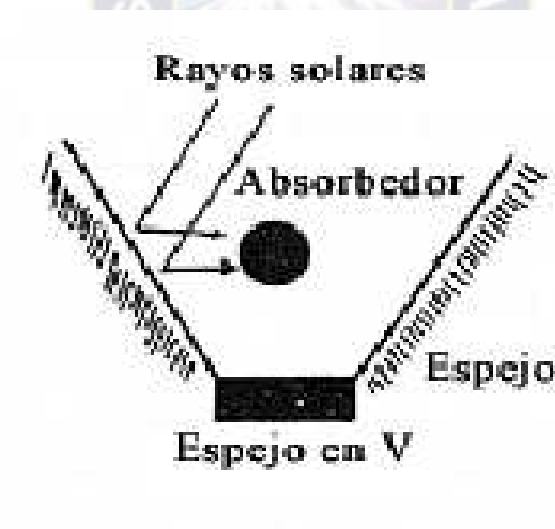


Figura 2.26: Colector CPC trapecio

2.3.2.5. Colector CPC truncado

El concentrador parabólico compuesto es un sistema en forma de barco en el que las paredes tienen un perfil determinado.

El perfil del concentrador CPC está compuesto por dos porciones de parábola simétricas en las que los ejes están inclinados un ángulo con respecto al eje de simetría del sistema de forma tal que el foco de una de ellas se encuentra en el extremo de la otra.

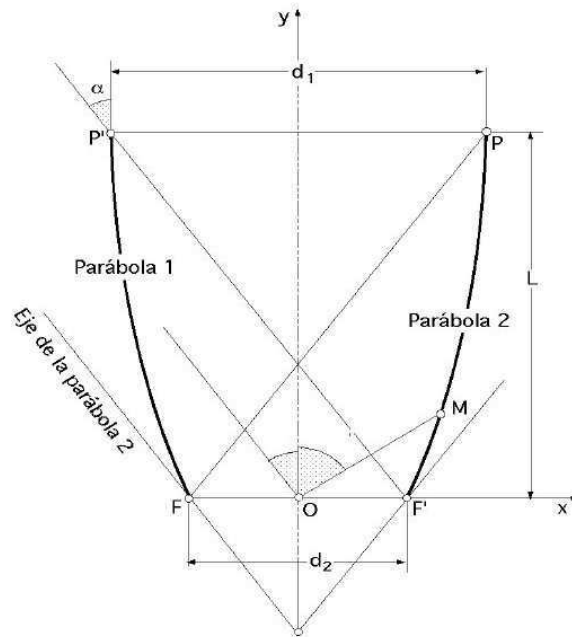


Figura 2.27: Diseño básico CPC

Un esquema de un CPC en general se muestra gráficamente de cómo se puede utilizar este tipo de colector como un sistema para calentar un determinado fluido de trabajo. En la misma figura se pueden apreciar las principales variables en el estudio de este tipo de colector. Para este caso en la base del CPC se coloca el absorbedor que será el encargado de transportar la energía recibida por el sistema.

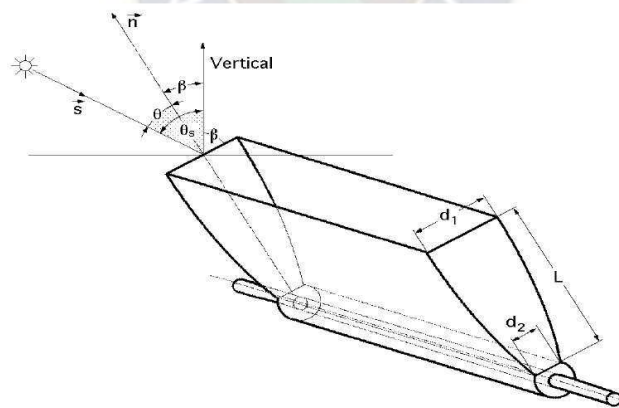


Figura 2.28: Esquema de CPC como colector

La principal dificultad de este tipo de colectores es obtener una superficie espejada con la forma determinada de una parábola, este problema puede ser resuelto empleando superficies facetadas así de forma muy sencilla se facilita la construcción de este tipo de colector.

2.3.2.6. Colector CPC integrado

La óptica tipo CPC diseñada para esta configuración. Recolecta toda la luz que ingresa por la apertura de entrada contenida entre los puntos 21P y 22P y la concentra sobre el receptor. Los espejos están moldeados con involutas hacia la superficie externa.

Los rayos del borde para el receptor 24 son tangentes a él y son reflejados por el espejo como rayos nuevamente tangentes a él.

Esta óptica logra el grado máximo de concentración de la radiación incidente sobre el receptor, sin ninguna pérdida óptica (geométrica), habrá algo de pérdida en el factor de concentración, pero igualmente se recolectará toda la radiación, entonces se perderá algo de radiación.

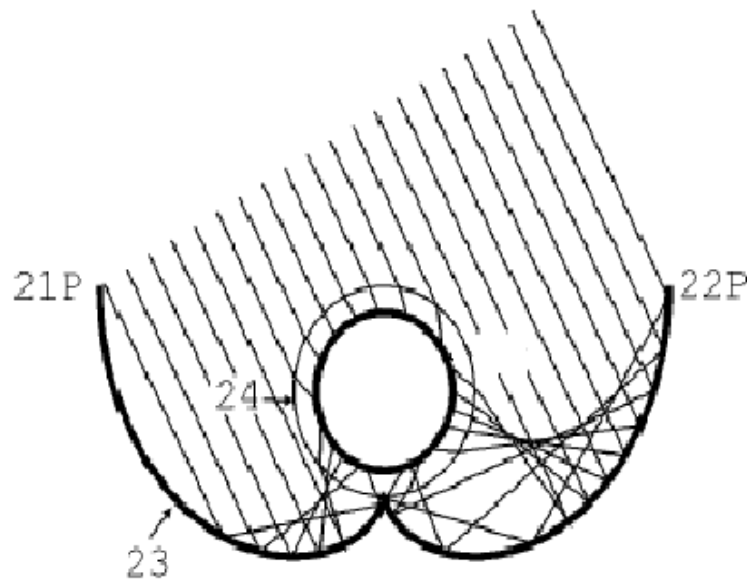


Figura 2.29: CPC (Parabólico compuesto) diseñada para el absorbedor

Estos colectores tienen la capacidad de reflejar al foco lineal toda la radiación incidente que captan. Usando múltiples reflexiones internas, cualquier radiación solar que entre al colector dentro de su ángulo de aceptación, llega a la superficie absorbente que está en el fondo del colector.

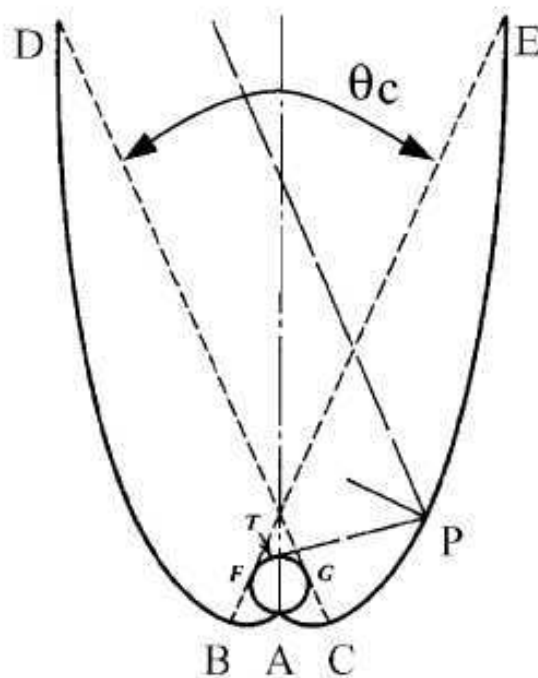


Figura 2.30: CPC (Colector CPC)

Los fluidos para colectores que cuentan con tubos de cobre, generalmente son de agua y algún tipo de aceite

2.4. Elección del colector solar

Hemos visto que las máximas temperaturas que se podían obtener con el uso de paneles solares planos, en condiciones de rendimiento aceptable, difícilmente superaban los 100°C , por lo que su empleo quedaba limitado.

Si, aplicamos una serie de procedimientos, impedimos al máximo que este panel plano tenga pérdidas de energía (por ejemplo, aislamiento térmico, con varias cubiertas, etc.), observaremos que su temperatura máxima está limitada por la irradiación.

En efecto si la irradiación aumenta, su temperatura máxima aumentará también, y al revés ocurrirá si la irradiación disminuye.

Si se desean temperaturas más elevadas, la única manera de lograrlo es aumentar la irradiación I . La irradiación, está fijada por la constante solar y no es modificable. Cada de superficie expuesta al sol recibe una determinada potencia. Sin embargo, mediante lentes o espejos podemos conseguir que en determinadas zonas del espacio el valor de la irradiación sea muy superior a la constante solar. La posibilidad de obtener distintas temperaturas al variar el valor de la radiación hace que se puedan realizar muchos procesos que son inviábiles a las temperaturas de un panel plano.

Existen muchas aplicaciones, donde se necesita que la energía sea liberada a altas temperaturas. Esto no se puede lograr con los colectores solares planos debido a las características propias de este tipo de colectores, ya que la radiación solar es una energía de baja intensidad.

El colector parabólico compuesto CPC este tipo de colectores se pueden obtener altas temperaturas de operación, la construcción de este tipo de colector solar es más minuciosa

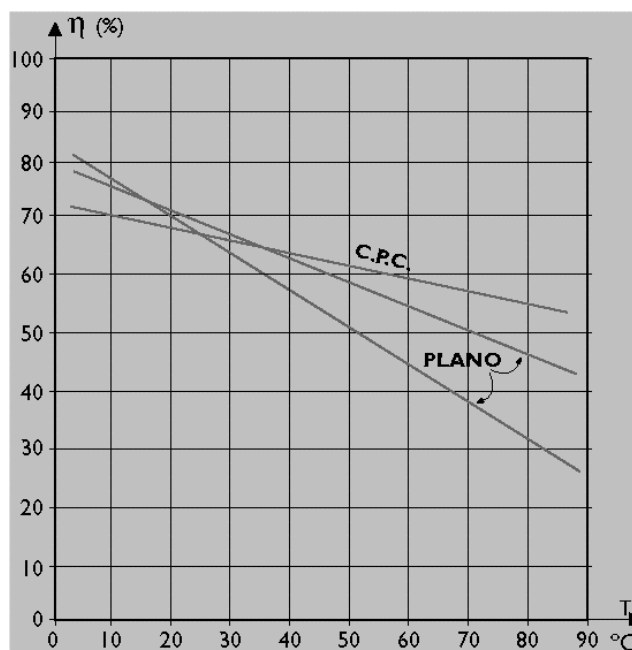


Figura 2.31: Rendimiento de colector CPC y colector plano

más detallado comparado con los colectores solares planos. Deben orientarse continuamente al sol de manera precisa mediante un mecanismo apropiado debido a que este tipo de colectores utilizan únicamente la energía solar directa. Por otra parte, el acabado de las superficies que constituyen el sistema óptico no solo debe ser de buena calidad, sino que debe mantener sus propiedades por largos periodos de tiempo sin ser deterioradas por el polvo, lluvia y medio ambiente, donde generalmente existen componentes oxidantes y corrosivos. También la demanda de los materiales en el receptor (aislante térmico fluido de trabajo, tubos absorbentes cubierta) son mayores en este tipo de colectores, debido a que es ahí donde se obtienen las altas temperaturas, son aplicables a nivel industrial pero no a nivel doméstico.

En la figura [2.31](#) se observa que varía el rendimiento de colector plano, colector de tubos de vacío y colector compuesto C.P.C.

En resumen, esto ha dado cabida a que se trabaje en el colector parabólico compuesto concentrado fijos. Estos no tienen las desventajas de los de enfoque, aunque solo permiten incrementos moderados de la intensidad de la radiación solar.

Capítulo 3

Ingeniería del proyecto

3.1. Parámetros de diseño

En un uso diario de agua por una familia de 5 personas se muestra mediante una tabla [3.1](#) el consumo del agua.

USO DIARIO DE AGUA COLECTOR SOLAR				
PUNTOS DE USO	TIEMPO DE USO[s]	TEMPERTURA [°C]	VOLUMEN DE CONSUMO [lt]	CAUDAL DE USO [lt/min]
FREGADERO	12	40	1	
DUCHA	180	40	22.5	
CONSUMO PARA 1 PERSONA			23.5	7.34
CONSUMO PARA 5 PERSONAS			117.5	36.72
CONSUMO IDEAL			120	

Cuadro 3.1: Consumo de agua

3.2. Sistemas y subsistemas

A continuación se desarrollaran los análisis y estudios necesarios en la elaboración del presente trabajo.

3.2.1. Sistema mecánico

La estructura es la base fundamental para el colector y ello se realizara en función al volumen requerido por la tabla [3.1](#) así también considerando los ángulos de inclinación por la latitud.

3.2.1.1. Sistema geométrico

El sistema geométrico nos ayudara a calcular la posicion de la parábola en función a sus focos. Para concentrar el calor en un solo punto se realizara haciendo un estudio geométrico tal como se muestra en el Colector CPC integrado [2.3.2.6](#)

3.2.2. Sistema térmico

Tiene la misión de elevar la temperatura del agua a 40 °C aprovechando el nuevo sistema mecánico para aumentar su rendimiento al colector solar.

3.3. Análisis previos al diseño

A continuación se desarrollaran los análisis y estudios necesarios en la elaboración del presente trabajo.

Ya sea cualquier sistema que requiera energía solar será necesario saber la irradiación en el lugar que implementaremos la instalación del sistema colector solar parabólico compuesto.

Calculo de la Irradiancia

Formula de la variacion de la declinacion solar (3.1)

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\frac{360}{365} * (284 + h_d)\right) \quad (3.1)$$

El ángulo horario

Formula del angulo Horario (3.2)

$$\omega = \frac{360}{24[h]} * (t - \tau) \quad (3.2)$$

$t_0 =$ instante de referencia en terminos del tiempo solar medio

$\tau =$ Tiempo temporales al sol (Diferencia al del observador)

Cálculo ángulo cenial

$$\begin{aligned} \cos \vartheta_c &= \sin e \\ \sin &= \text{elevacion solar} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Cálculo de la elevación solar

$$\sin e = \cos \delta * \cos \omega * \cos \varphi + \sin \varphi * \sin \delta \quad (3.4)$$

Datos

Tomamos como parametro el dia 21 de junio a las 08:00 que segun en la tabla 2.1 el $h_d = 172$

Para la ciudad de La Paz se toma $16^{\circ} 29'$

Remplazando:

$$\omega = \frac{15}{1h} * (8 - 12)$$

$$\omega = -60^{\circ}$$

$$\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365}(284 + n_d)\right]$$

$$\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365}(284 + 172)\right]$$

$$\delta = 23,45^{\circ}$$

$$16^{\circ} + 29' * \frac{1^{\circ}}{60'} = 16,08^{\circ}$$

$$\varphi = 16,08^{\circ}$$

utilizando la ecuacion 3.4

$$\sin e = \cos 23,45^{\circ} * \cos(-60^{\circ}) * \cos 16,08^{\circ} + \sin 16,08^{\circ} * \sin 23,45^{\circ}$$

$$\sin e = 0,5510$$

$$e = 33,43^{\circ}$$

Irradiacion en cielo despejado

$$I_D = A_{exp}\left[-\frac{P}{P_0} * \frac{B}{\cos \vartheta_c}\right]$$

Presión atmosferica de la localidad y una presión atmosferica estandar

$$\frac{P}{P_0} = \exp(-0,0001184 * \text{Altitud en metros sobre el nivel del mar})$$

$$= \exp(-0,0001184 * 3600)$$

$$= \exp(-0,426)$$

$$I_D = 1,088 * \exp\left[-\exp(-0,426) * \frac{0,205}{\cos(90 - 23,45)}\right]$$

$$I_D = 854,07 \frac{W}{m^2}$$

El promedio desde las 6:00-18:00 de I_D .(Tabla 2.1)

$$I_D = 797,69 \frac{W}{m^2} \quad (3.5)$$

3.3.1. Sistema térmico

Tiene la misión de elevar la temperatura del agua a 40 °C aprovechando el nuevo sistema mecánico para aumentar su rendimiento al colector solar.

Ademas área restringida tiene un ancho de 1.75[m] y una altura del tubo colector de 1,26[m].

3.3.1.1. Cálculo del área

$$\begin{aligned} \text{Area} &= \text{Altura} * \text{Ancho} \\ \text{Area} &= (1,26 * 1,84)[m^2] \\ \text{Area} &= 2,32[m^2] \end{aligned} \tag{3.6}$$

3.3.1.2. Cálculo del Volumen

Obteniendo los datos en la tabla 3.1 calculamos el volumen de un tubo colector.

$$\begin{aligned} Vol_{cilindro} &= \pi r^2 h \\ Vol_{cilindro} &= \pi(12,70)^2 * 1260[mm^3] \\ Vol_{cilindro} &= 638451,42[mm^3] \end{aligned}$$

llevando a litros

$$\begin{aligned} Vol_{cilindro} &= 638451,42[mm^3] * \frac{1[cm^3]}{1000[mm^3]} * \frac{1[lit]}{1000[cm^3]} \\ Vol_{cilindro} &= 0,638[lit] \end{aligned}$$

Como el volumen hallado es de un tubo colector y es totalmente mínimo al valor requerido se añadiran 6 tubos colectores más para así aumentar el volumen.

$$\begin{aligned} Vol_{cilindro} &= 0,638[lit] * 7 \\ Vol_{cilindro} &= 4,47[lit] \end{aligned}$$

Aumentando mas colectores influirá en aumentar la estructura y el peso y esto no será tomando en cuenta el peso que se va incrementar apto considerando el peso aumentando por cada tubo colector por lo cual para llegar al volumen requerido se realizara por ciclos.

$$\begin{aligned} Num_{ciclos} &= \frac{Vol_{requerido}}{Vol_{cilindro}} \\ Num_{ciclos} &= \frac{120[lit]}{4,47[lit]} \\ Num_{ciclos} &= 26,85 \end{aligned}$$

En total se realizaran 27 ciclos.

3.3.1.3. Cálculo del calor útil

$$Q_{util} = m_{agua} * C_{agua} * (T_2 - T_1) \quad (3.7)$$

$$m_{agua} = \rho_{agua} * V_{agua} \quad (3.8)$$

reemplazando la ecuacion 3.8 en la ecuacion 3.7 obtenemos

$$Q_{util} = \rho_{agua} * V_{agua} * C_{agua} * (T_2 - T_1)$$

Considerando que el agua tiene densidad constante hasta los 40 °C, reemplazando los datos calculados

$$Q_{util} = 1 \left[\frac{kg}{lt} \right] * 4,47 [lt] * 4,187 \left[\frac{KJ}{kg^{\circ}C} \right] * (40 - 15)^{\circ}C$$

$$Q_{util} = 467,90 \left[\frac{KJ}{da} \right]$$

3.3.1.4. Cálculo del Tiempo de Calentamiento

Una vez calculada el volumen en Cálculo del Volumen 3.3.1.2 para este requerimiento de volumen calcularemos el tiempo.

$$t = \frac{Q_{util}}{Q_{abs}^{\circ}} = \frac{Calor Util}{Calor Absorvido por el colector} \quad (3.9)$$

$$Q_{abs}^{\circ} = \tau \alpha A I_D \quad (3.10)$$

$$\tau = Transmisividad del acristalamiento \simeq 0,9$$

$$\alpha = Absortividad de la placa de Absorcion \simeq 0,9$$

$$A = Area de la superficie del colector [m^2]$$

$$I_D = Aislamiento Solar o Irradiacin \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Reemplazando los datos ademas trabajando con el dato calculado de la Irradiación

$$Q_{abs}^{\circ} = 0,9 * 0,9 * 2,32 [m^2] * 797,64 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$= 1498,92 [W]$$

$$Q_{abs}^{\circ} = 1,50 \left[\frac{KJ}{s} \right]$$

Reemplazando en la ecuacion ??

$$t = \frac{467,90 [KJ]}{1,50 \left[\frac{KJ}{s} \right]}$$

$$t = 311,93 [s] * \frac{1 [h]}{3600 [s]}$$

$$t = 0,086 [h]$$

3.3.2. Sistema mecánico

Primeramente se realizará el cálculo del área del colector caracterizada por ser parabólico se calculará el perímetro en la sección [3.3.2.1](#)

3.3.2.1. Sistema geométrico

El sistema geométrico nos ayudara a calcular la posición de la parábola en función a sus focos.

Cálculo del foco

Teniendo como dato principal dato el radio del tubo del colector $r = 12,7[mm]$, poniendo la circunferencia del tubo colector en un plano cartesiano

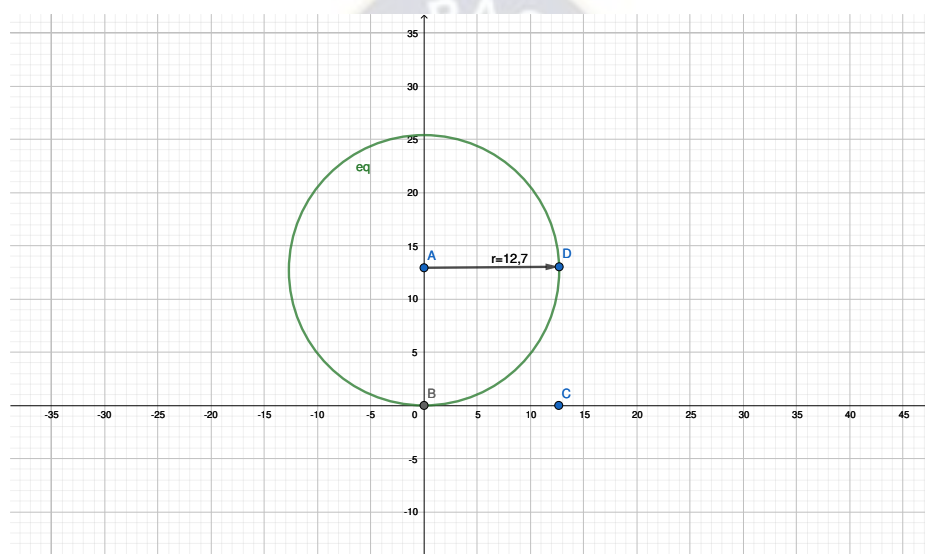


Figura 3.1: Circunferencia del tubo colector

En el punto D de la figura [3.1](#) se concentrará el punto de energía de la parábola, esto quiere decir que el foco de la parábola estará en el punto D y así también en el otro extremo del punto D.

Para ello calcularemos la distancia del origen del plano cartesiano al punto D, a ello llamaremos foco representada con F. (ver figura [3.2](#)).

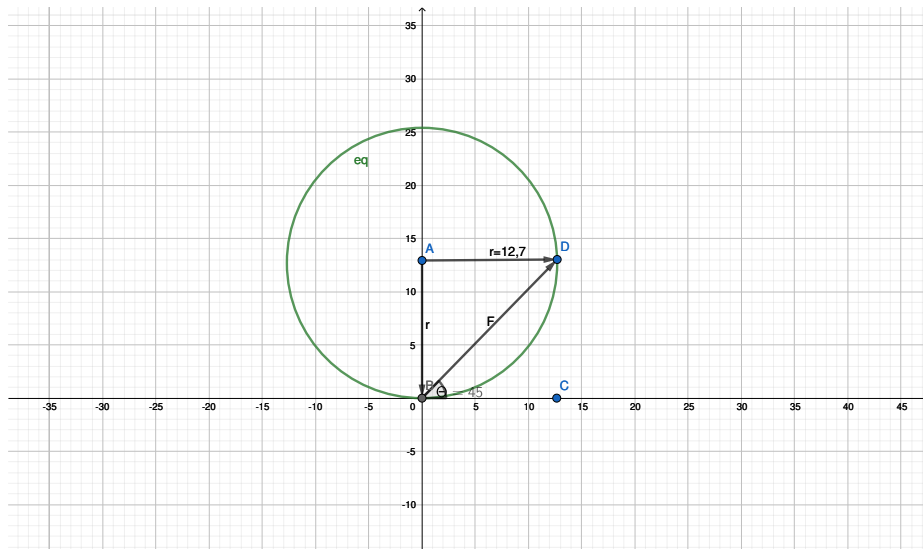


Figura 3.2: Circunferencia tubo colector con Foco

De la figura 3.2 en los puntos ABD se observa que es un triángulo rectángulo por lo cual calcularemos el foco y el ángulo θ :

Cálculo del foco:

$$F^2 = r^2 + r^2 \quad (3.11)$$

$$F = \sqrt{2r^2}$$

$$F = \sqrt{2}r$$

$$F = \sqrt{2} * 12,7$$

$$F = 17,96$$

Para hallar el ángulo θ en la figura 3.2 se observa que los puntos DC son iguales a los puntos AB por lo cual $DC=r$.

$$\tan \theta = \frac{r}{r} \quad (3.12)$$

$$\tan \theta = 1$$

$$\theta = \tan^{-1}(1)$$

$$\theta = 45^\circ$$

Cálculo de Foco 1 (F1) y Foco 2 (F2)

Utilizando las ecuaciones (2.8) y (2.9) calcularemos los valores de F_1 y F_2 en el sistema cartesiano no rotado(ver figura 3.3).

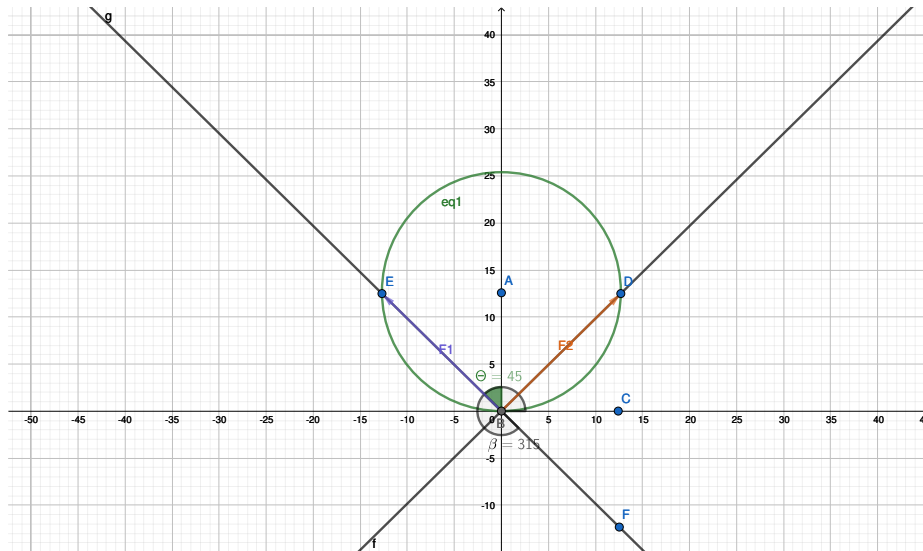


Figura 3.3: Focos para la primera y segunda parábola

Tomando en cuenta que el valor hallado F en la ecuación (3.11) es el valor de la hipotenusa del triángulo rectángulo en el sistema cartesiano no rotado en cambio en el sistema cartesiano rotado sería el valor del nuevo eje y' y en $x' = 0$.

Con esto calculamos los valores de X, Y con las ecuaciones (2.8) y (2.9) para $F_1(0, 17,96)$ y $\theta = 45$.

$$\begin{aligned}x &= 0 \cos(45) - 17,96 \sin(45) = x_1 = -12,7 \\y &= 0 \sin(45) + 17,96 \cos(45) = y_1 = 12,7 \\F_1(x_1, y_1) \\F_1(-12,7, 12,7)\end{aligned}$$

Ahora calculamos los valores de X, Y con las ecuaciones (2.8) y (2.9) para $F_2(0, 17,96)$ y $\theta = 315$ el valor del ángulo es debido a la posición del F_2 al encontrarse en el primer cuadrante y como el ángulo θ se desplaza en sentido de las manecillas del reloj tendrá que moverse hasta el tercer cuadrante más 45° (ver figura 3.3).

$$\begin{aligned}x &= 0 \cos(315) - 17,96 \sin(315) = -17,96 * \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = x_2 = 12,7 \\y &= 0 \sin(315) + 17,96 \cos(315) = 17,96 * \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = y_2 = 12,7 \\F_2(x_2, y_2) \\F_2((12,7), (12,7))\end{aligned}$$

se puede observar que los valores de F_2 son positivos y esto demuestra que están en el primer cuadrante

Cálculo de las ecuaciones parabólicas rotadas

Hallando la ecuación de la Primera Parabola:

$$F_1((-12,7), (12,7))$$

$$foco = f_1 = 17,96$$

$$\theta = 45^\circ$$

De la ecuación de rotación (2.5) y (2.6)

$$x' = x \cos(45^\circ) + y \sin(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{\sqrt{2}}{2}y$$

$$x' = \frac{\sqrt{2}}{2}(x + y) \tag{3.13}$$

$$y' = -x \sin(45^\circ) + y \cos(45^\circ) = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)x + \frac{\sqrt{2}}{2}y$$

$$y' = \frac{\sqrt{2}}{2}(-x + y) \tag{3.14}$$

Sea la ecuación algebraica de la parabola (3.15)

$$y' = \frac{x'}{4f_1} \tag{3.15}$$

reemplazando las ecuaciones (3.13) y (3.14) en (3.15) se obtiene:

$$\frac{\sqrt{2}}{2}(-x + y) = \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2(x + y)^2}{4 * 17,96}$$

$$(-x + y) = \frac{\sqrt{2}(x + y)^2}{8 * 17,96} \tag{3.16}$$

Ecuación parabolica con f_1

Con la ecuación (3.16) ya es una ecuación inclinada 45° en el sentido contrario a las manecillas del reloj, graficando se obtiene la figura 3.4

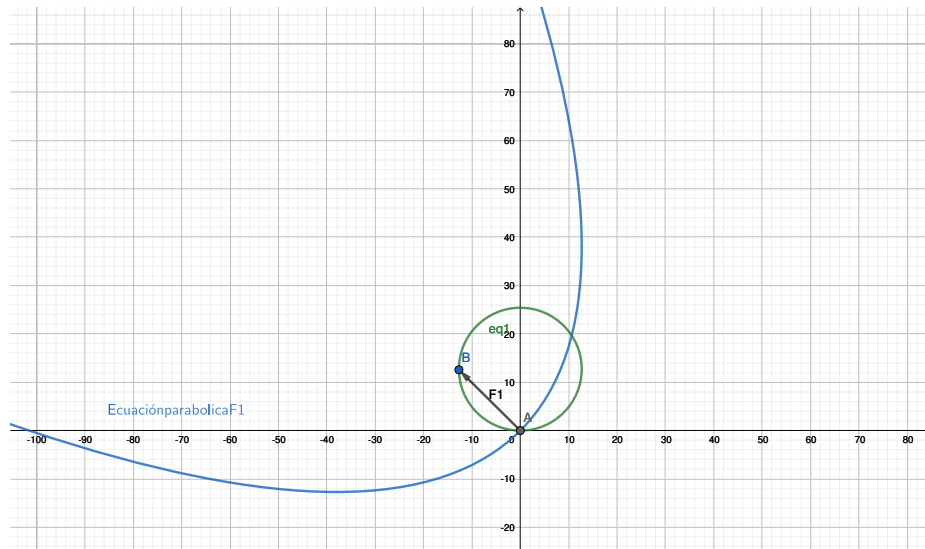


Figura 3.4: Ecuación de la parábola F_1 y la circunferencia

Hallando la ecuación de la Segunda Parábola:

$$F_1((12,7), (12,7))$$

$$foco = f_1 = 17,96$$

$$\theta = 315^\circ$$

De la ecuación de rotación (2.5) y (2.6)

$$x' = x \cos(315^\circ) + y \sin(315^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}x - \frac{\sqrt{2}}{2}y$$

$$x' = \frac{\sqrt{2}}{2}(x - y) \tag{3.17}$$

$$y' = -x \sin(315^\circ) + y \cos(315^\circ) = -\left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)x + \frac{\sqrt{2}}{2}y$$

$$y' = \frac{\sqrt{2}}{2}(x + y) \tag{3.18}$$

Sea la ecuación algebraica de la parábola (3.19)

$$y' = \frac{x'}{4f_2} \tag{3.19}$$

reemplazando las ecuaciones (3.17) y (3.18) en (3.19) se obtiene:

$$\frac{\sqrt{2}}{2}(x + y) = \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2(x - y)^2}{4 * 17,96}$$

$$(x + y) = \frac{\sqrt{2}(x - y)^2}{8 * 17,96} \tag{3.20}$$

Ecuación parabolica con f_2

Con la ecuación (3.20) ya es una ecuación inclinada 315° en el sentido contrario a las manecillas del reloj, graficando se obtiene la figura 3.5

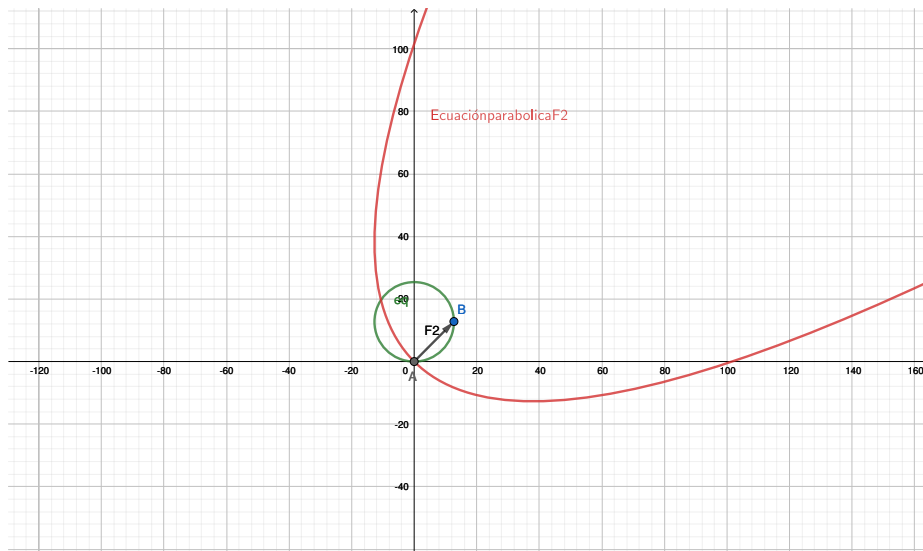


Figura 3.5: Ecuación de la parábola F_2 y la circunferencia

Intersectando ambas ecuaciones parabólicas (3.16) y (3.20) se observa la dirección de los focos el cual fue calculada para que intersecten en los extremos de la circunferencia el cual sería el tubo colector. (ver figura 3.6)

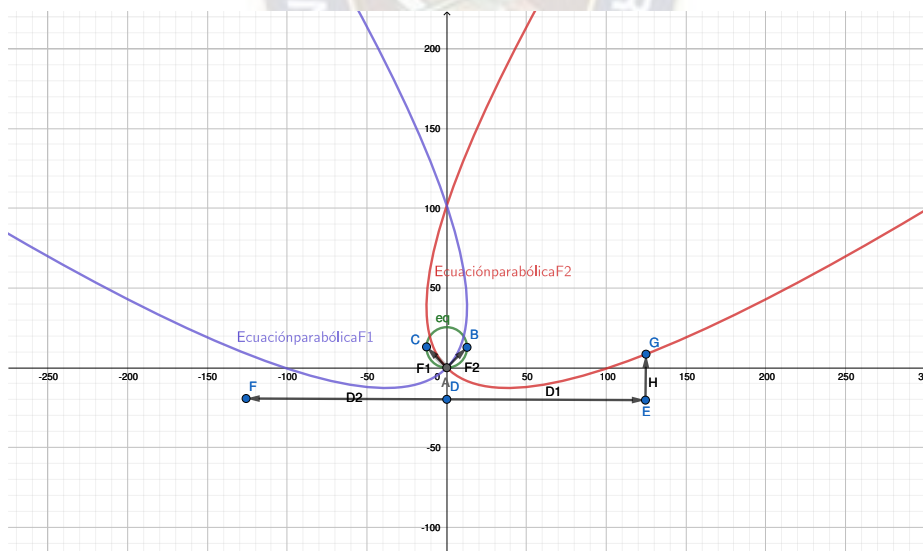
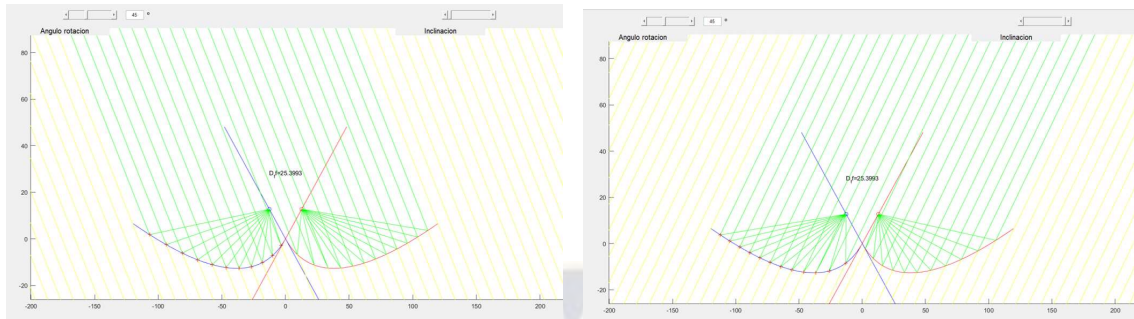


Figura 3.6: Intersección de las parábolas

Las variables D_1 Y D_2 son variables de la distancia el cual esta tiene una distancia de $D = 250[mm]$ al estar en el punto medio la circunferencia el valor de D_1 será la mitad de D por lo tanto tendremos que $D_1 = 125[mm]$ y $D_2 = 125[mm]$ (ver figura 3.6).

Simulación de los rayos solares en MATLAB

Con los cálculos realizados para hallar las nuevas ecuaciones (3.16) y (3.20) se diseñó un programa en MATLAB para ver el comportamiento de los rayos solares y que estos rayos solares intersecten en el punto del foco de las parábolas.



(a) Inclinación por la izquierda

(b) Inclinación por la derecha

Figura 3.7: Inclinación de los rayos solares en C.P.C.

En la figura 3.7 en la izquierda se muestra la simulación e inclinación de los rayos solares así también en la parte derecha la simulación de los rayos solares inclinados hacia la derecha.

Calculo de la longitud de curva

La longitud de curva viene dada por:

$$L = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + (y')^2} dx \quad (3.21)$$

Con el valor de la distancia de $x=125$ se calcula el valor de y en la ecuación (3.20).

$$(x + y) = \frac{\sqrt{2}(x - y)^2}{8 * 17,96}$$

$$(125 + y) = \frac{\sqrt{2}(125 - y)^2}{8 * 17,96}$$

Despejando el valor de Y se obtiene

$$y = 8,527$$

Para tener el valor de la longitud de curva los valores de X y Y se remplazaran en las ecuaciones (2.5) y (2.6).

$$x' = 125 \cos(315) + 8,527 \sin(315)$$

$$x' = 82,358$$

$$y' = -125 \sin(315) + y \cos(315)$$

$$y' = 94,417$$

Derivando la ecuación parabólica:

$$y' = \frac{2x}{4F}$$

$$y' = \frac{x}{4F}$$

Reemplazando en (3.21) con los valores hallados de x' como valor máximo de la integral y $x = 0$ para valor mínimo de la integral.

$$L = \int_0^{82,358} \sqrt{1 + \left(\frac{x}{4 * 17,96}\right)^2} dx$$

$$L = 131,15$$

Las unidades de este valor estan en mm por lo tanto la longitud hallada sus unidades de medida esta en mm

$$L = 131,15[mm]$$

3.3.2.2. Partes Mecánicas

Tubo circular

Con los cálculos realizados y el radio utilizado se diseña el tubo circular Figura 3.8 Plano CPC-CT-2.1.



Figura 3.8: Tubo Colector

Plancha del colector

Con la longitud de curva calculada se diseña la plancha con las medidas correspondientes tanto en ancho y largo CPC-PC-01.

Soporte plancha colector

Para que la plancha de colector esté con una base se considera una plancha con la inclinación de la parábola correspondiente Figura 3.3.2.2 Plano CPC-CP-03.

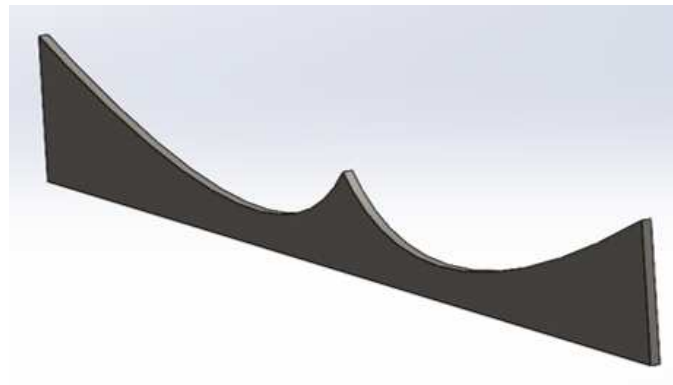


Figura 3.9: Soporte plancha colector

Estructura Superior Perfil T

La estructura superior se lo realiza con el objetivo de aprovechar su forma para poder soportar el vidrio Figura 3.3.2.2 Plano CPC-V-07.



Figura 3.10: Estructura Superior Perfil T

Plancha Base

Para poder cerrar y tenerlo herméticamente la estructura en la parte inferior se lo cierra con una plancha con la estructura del colector solar Figura 3.3.2.2 Plano CPC-P-06.

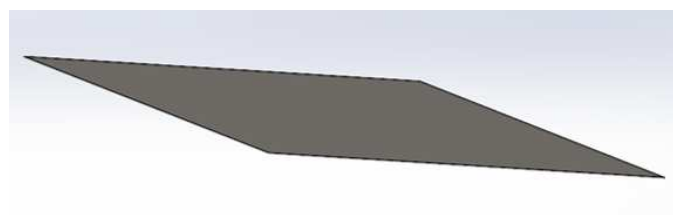


Figura 3.11: Plancha para la Base

Estructura de colector solar

Todo el conjunto del COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO se realiza con perfil Figura [3.3.2.2](#) Plano CPC-EC-08.



Figura 3.12: Estructura para el Colector solar

Ensamblaje con todas las piezas

Se utilizaron accesorios que se muestran a detalle en los planos, en la figura [3.3.2.2](#) se puede ver el colector solar con todas las piezas.



Figura 3.13: Ensamblaje del colector Solar

3.3.3. Cálculo de pérdidas del Colector

De la teoría tenemos la siguiente :

$$q_u = \frac{T_p - T_a}{2} = \tag{3.22}$$

$$T_p = 130 + 273 = 403[K]$$

$$T_a = 15 + 273 = 288[k]$$

$$T_c = 40 + 273 = 313[K]$$

Remplazando los datos en la ecuación (3.22)

$$\begin{aligned}
 q_u &= \frac{403 - 288}{2} = 236[K] \\
 h_{rp-c} &= \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} = 7,30 \frac{W}{m^2k} \\
 \sigma &= 5,6697 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4} \right] \\
 \varepsilon_p &= 0,95 \\
 \varepsilon_c &= 0,88
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Remplazando los datos en la ecuación (3.23)

$$\begin{aligned}
 h_{rp-c} &= \frac{5,6697 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2K^4} (403^2 + 313^2) (403 + 313) \right]}{\frac{1}{0,76} + \frac{1}{0,94} - 1} \\
 h_{rp-c} &= 7,66 \frac{W}{m^2k} \\
 h_{rc-s} &= \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_a^2) (T_c + T_a) \\
 h_{rc-s} &= 0,94 * 5,6697 * 10^{-8} (313^2 + 288^2) (313 + 288)
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

$$\begin{aligned}
 h_{rc-s} &= 5,79 \frac{W}{m^2k} \\
 h_{p-c} &= 1,161 \frac{\Delta T^{0,31}}{10,070} e^{0,00143305\bar{T}}
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta T &= T_p - T_c = 358[K] \\
 \bar{T} &= \frac{T_p + T_a}{2} = 90[K] \\
 h_{p-c} &= 1,161 \frac{90^{0,31}}{1,34^{0,070}} e^{0,00143305 * 358} \\
 hp - c &= 2,74 \frac{W}{m^2k} \\
 h_{viento} &= 5,7 + 3,8V
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

Remplazando los datos en la ecuación (3.26)

$$\begin{aligned}
 h_{viento} &= 5,7 + 3,8(6,4) \\
 h_{viento} &= 30,02 \frac{W}{m^2 \circ K}
 \end{aligned}$$

Remplazando los datos en la ecuación (3.25), (3.23), (3.26), (3.24)

$$\begin{aligned}
 U_f &= \left(\frac{1}{h_{p-c} + h_{rp-c}} + \frac{1}{h_{viento} + h_{rc-s}} \right)^{-1} = 8,06 \frac{W}{m^2K} \\
 T_c &= T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{p-c} + h_{rp-c}} \\
 T_c &= 403 - \frac{8,06(403 - 288)}{2,74 + 7,66} \\
 T_c &= 313,85[K]
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

Con este nuevo valor para T_c se procede a calcular de nuevo desde el segundo hasta el séptimo paso, obteniéndose en una segunda iteración

$$\begin{aligned}h_{rp-c} &= 7,66 \frac{W}{m^2 K} \\h_{rc-s} &= 5,79 \frac{W}{m^2 K} \\h_{p-c} &= 2,74 \frac{W}{m^2 K} \\U_t &= 8,06 \frac{W}{m^2 K} \\T_c &= 313,85 [K]\end{aligned}$$

Como este valor de T_c coincide con el anteriormente calculado, ya no es necesario continuar con la iteración, por lo tanto el coeficiente de pérdidas por la parte superior es:

$$U_t = 8,08 \frac{W}{m^2 K}$$

El coeficiente de pérdidas por la base es:

$$\begin{aligned}U_b &= \frac{K}{L} = \frac{0,03}{0,05} \\U_b &= 0,6 \frac{W}{m^2 K}\end{aligned}$$

De manera proporcional, el coeficiente de pérdidas por los lados es:

$$\begin{aligned}U_e &= \frac{KA_{LADOS}}{LA_{BASE}} = \frac{0,03 * 6 * 0,0718}{0,05 * 1,34 * 1,76} \\U_e &= 0,11 \frac{W}{m^2 K}\end{aligned} \quad (3.28)$$

Sumando las pérdidas

$$\begin{aligned}U_L &= U_t + U_b + U_e = 8,79 \frac{W}{m^2 K} \\U_L &= 8,79 \frac{W}{m^2 K}\end{aligned} \quad (3.29)$$

3.3.4. Cálculo de la eficiencia

Las pérdidas halladas serán la misma para un colector solar y un colector parabólico compuesto sin embargo para notar la diferencia se calcularán para ambos.

Eficiencia colector solar

La eficiencia de un colector de placa plana se define como:

$$n_{cs} = \frac{\text{Calor ganado por el agua}}{(\text{Irradiación solar})(\text{Área del absorbedor})} \quad (3.30)$$

$$Q_{UTIL} = Q_{GanadoAbs} - Q_{PerdidoAbs} \quad (3.31)$$

$$Q_{GanadoAbs} = \alpha \tau A I_D \quad (3.32)$$

$$Q_{PerdidoAbs} = U_L A (T_2 - T_1) \quad (3.33)$$

Remplazando las ecuaciones (3.32), (3.33) en (3.31) en (3.30) obtenemos:

$$n_{cs} = \frac{\alpha\tau AI_D - U_L A(T_2 - T_1)}{I_D A}$$

simplificando el Area

$$n_{cs} = \frac{\alpha\tau I_D - U_L(T_2 - T_1)}{I_D}$$

Con los cálculos realizados para I_D (3.5) además con los valores utilizados $\alpha = 0,9, \tau = 0,9$ y las temperaturas $T_1 = 15^\circ C, T_2 = 40^\circ C$ obtendremos:

$$n_{cs} = \frac{0,9 * 0,9 * 797,64 \frac{W}{m^2} - 8,79 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * (40 - 15)^\circ C}{797,64 \frac{W}{m^2}}$$

$$n_{cs} = 0,53$$

$$n_{cs} = 53\%$$

Eficiencia colector solar parabólico compuesto

La eficiencia de un colector solar parabólico compuesto se define como:

$$n_{cspc} = \frac{\text{Calor ganado por el agua}}{(\text{Irradiacion solar})(\text{Area del absorbedor})} \quad (3.34)$$

$$Q_{UTIL} = Q_{GanadoAbs} - Q_{PerdidoAbs} \quad (3.35)$$

Al ser un colector solar parabólico compuesto la eficacia del proceso apertura a receptor de la orientación de las superficies y sus propiedades radiactivas como la absorción y la reflectividad a ello se define la eficiencia óptica n_{ar} , con esto la radiación solar suministrada al receptor es

$$Q_{GanadoAbs} = n_{ar} AI_D \quad (3.36)$$

La eficiencia óptica esta dada por:

$$n_{ar} = \rho\gamma\tau\alpha F_e \quad (3.37)$$

Donde:

$\rho =$ Reflectividad del colector

$\gamma =$ Factor de interceptación

$\tau =$ Transmitancia

$\alpha =$ Grado de absorción

$F_e =$ Factor del rea del colector efectiva

Donde el factor del área del colector efectiva es:

$$F_e = \frac{A_e}{A} \quad (3.38)$$

$A_e =$ Area efectiva

$$A_e = A - A_r \quad (3.39)$$

Para el calor perdido se tomará el área receptora menor A_r

$$Q_{PerdidoAbs} = U_L A_r (T_2 - T_1) \quad (3.40)$$

Remplazando las ecuaciones (3.36), (3.40) en (3.35) en (3.34) obtenemos:

$$n_{cspc} = \frac{n_{ar} A I_D - U_L A_r (T_2 - T_1)}{I_D A}$$

simplificando:

$$n_{cspc} = n_{ar} - \frac{U_L A_r (T_2 - T_1)}{A I_D}$$

Calculando el factor de area del colector (3.38) considerando el nuevo Area del Colector parabólico compuesto el nuevo ancho con la ecuación (3.21) la latura se mantendra el mismo asi tambien calculando el área del absorbedor(cilindro)

$$A_a = 1,8424 * 1,26 - 7(1,26 * \pi * \frac{0,0254}{2})$$

$$A_a = 2,3214 - 0,3519$$

$$A_a = 1,9695m^2$$

utilizando la ecuacion (3.38)

$$F_e = \frac{1,9695}{2,3214}$$

$$F_e = 0,8473$$

Calculando la eficiencia óptica con la ecuación (3.37) para mayor detalles Goswami et al. (2000), Kreith y Kreider (2011) y Duffie y Beckman (2006), además con los valores utilizados $\alpha = 0,9, \tau = 0,9$ y para los valores $\rho = 0,945 \gamma = 0,95$

$$n_{op} = 0,945 * 0,95 * 0,97 * 0,95 * 0,8473$$

$$n_{op} = 0,700$$

Con los cálculos realizados anteriormente y para I_D (3.5), U_L (3.29) además con los valores utilizados en las temperaturas $T_1 = 15^\circ C, T_2 = 40^\circ C$ obtendremos el rendimiento del colector parabolico compuesto (3.34):

$$n_{cspc} = 0,7 - \frac{8,79 \frac{W}{m^2 K} (313 - 288)^\circ k}{\frac{2,3214m^2}{0,3519m^2} * 797,64 \frac{W}{m^2}}$$

$$n_{cspc} = 0,65824$$

rendimiento porcentual $n_{cspc} * 100 \%$

$$\%n_{cspc} = 65,824 \%$$

3.4. Resumen de memoria de cálculos

Con nuestros parámetros de diseño de la tabla 3.1 se muestra la tabla 3.2 considerando diferentes valores:

CALOR UTIL DEL AGUA							
ITEM	DENSIDAD [Kg/lt]	VOLUMEN [lt]	CALOR ESPECIFICO Cp [KJ/KG°K]	TEMPERATURA 1 AMBIENTE [K]	TEMPERATURA 2 COLECTOR [K]	CALOR UTIL [KJ/Dia]	DE °C.-°K
6	1	4,47	4,187	288	313	467,81	273
7	1	4,47	4,187	288	313	467,81	273

Cuadro 3.2: Calor útil de agua

Con este calor útil se muestra en la tabla 3.5 el tiempo de calentamiento:

TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL AGUA											
ITEM	CALOR ABSORVIDO [W]	TRANSMISIVIDAD [t]	ABSORTIVIDAD DE LA PLACA [α]	AREA COLECTOR [m2]	AISLAMIENTO SOLAR G [W/m2] PROM	TIEMPO DE CALENTAMIENTO [s]	TIEMPO DE CALENTAMIENTO [Hr]	VOLUMEN COLECTOR [lt]	TIEMPO DE CALENTAMIENTO [min]	CAUDAL DEL COLECTOR EN UN CICLO [lt/s]	FLUJO MASICO DEL COLECTOR [kg/s]
6	1.629,99	0,97	0,95	2,22	797,64	287,00	0,08	4,47	4,78	0,02	0,02
7	1.700,60	0,97	0,95	2,31	797,64	275,08	0,08	4,47	4,58	0,02	0,02

Cuadro 3.3: Tiempo de calentamiento de agua

Aparte de estos cálculos se necesita calcular los coeficiente de perdidas del colector que se muestra a continuación en la tabla 3.4

COEFICIENTE DE PERDIDIA DEL COLECTOR																		
ITEM	TEMP. PLACA ABSORCION Tp [°K]	εg	εp	σ [W/m2k4]	hrp-c [W/m2K]	hrc-s [W/m2K]	hpc [W/m2K]	hviento [W/M2k]	Ut [W/m2K]	CONDUCTIVIDAD VIDRIO [W/mk]	ESPESOR VIDRIO [m2]	Ub [W/m2K]	Ue [W/m2K]	Uf [W/m2K]	F	F"	FLUJO DE AGUA TUBO [Kg/s]	FR
1	403,00	0,95	0,88	0,00	7,66	5,79	2,74	30,02	8,06	0,03	0,05	0,60	0,11	8,77	0,72	0,73	0,01	0,81

Cuadro 3.4: Coeficiente de perdida del colector

Mostrado estos resultados calculamos el rendimiento del colector:

RENDIMIENTO														
ITEM	TRANSMISIVIDAD [t]	ABSORTIVIDAD [α]	ID [W/m2]	T.AMB. T1 [K]	T.COLECTOR T2 [K]	UL [W/M2k]	Reflectividad colector [f]	Factor interceptacion [Y]	Factor colector efectiva [Fe]	Area colector [m2]	Area Colector efectiva [m2]	REND. OPTIMO	REND. PLANO [ncs]	REND. CPC[n]
1	0,97	0,95	797,64	288	313	8,77	0,94	0,95	0,85	2,31	1,97	0,70	0,65	0,66

Cuadro 3.5: Rendimiento de colector parabólico compuesto

3.5. Planos

Mostrando en la tabla 3.6 memoria de cálculos conjuntamente con el código de plano donde estos planos se muestra en anexos.

UMSA INGENIERIA MECANICA			MEMORIA DE CALCULOS				
			Proyecto		Responsable		
			COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO		Alcides Valentin Guzman Rodriguez		
N°	N° Plano	Codigo de pieza	Denominacion	Marca [material]	°N Pzs	Modelo	Caracteristicas de Pieza
1	I-2	CPC-VI-001	COLECTOR PARABOLICO	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	
2	II-2	CPC-VI-001	COLECTOR PARABOLICO	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	1340x71,80 mm
3	I-1	CPC-PC-01	PLANCHA COLECTOR	ASTM A36 STEEL	7	RECTANGULAR	1200x22,18 mm
4	I-6	CPC-CT-02	TUBO CIRCULAR	2,0060 (Cu-ETP)	7	CIRCULAR	1325,40 mm
5	II-6	CPC-CT-2.1	TUBO CIRCULAR	2,0060 (Cu-ETP)	10	CIRCULAR	D25,40x1260 mm
6	III-6	CPC-CT-2.2	TUBO CONECTOR	2,0060 (Cu-ETP)	2	CIRCULAR	D25,40x210 mm
7	IV-6	CPC-CT-2.3	TUBO DE 1"	2,0060 (Cu-ETP)	2	CIRCULAR	D25,40x210 mm
8	V-6	CPC-CT-2.4	CODO DE 1"	2,0060 (Cu-ETP)	2	CIRCULAR	D25,40x22mm
9	VI-6	CPC-CT-2.5	T DE 1"	2,0060 (Cu-ETP)	12	CIRCULAR	D25,40x23mm
10	I-1	CPC-CP-03	SOPORTE PLANCHA COLECTOR	ASTM A36 STEEL	21	RECTANGULAR	2x250mm
11	I-1	CPC-ES-04	ESTRUCTURA SUPERIOR PERFIL T	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	1340x1760x20mm
12	I-1	CPC-P-05	PLATINA DE 1"3mm	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	1658,40x3mm
13	I-1	CPC-P-06	PLANCHA BASE	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	1740x1320 mm
14	I-1	CPC-V-07	VIDRIO COLECTOR	A-GLASS FIBER	1	RECTANGULAR	E3x1320x1740 mm
15	I-1	CPC-EC-08	ESTRUCTURA DE COLECTOR SOLAR	ASTM A36 STEEL	1	RECTANGULAR	E50,80x1340x1760 mm
16	I-1	CPC-S-09	SOPORTE DEL CODO 1"	ASTM A36 STEEL	14	RECTANGULAR	29,40x3x2 mm

Cuadro 3.6: Memoria de cálculos del colector solar



Capítulo 4

Costos

4.1. Costo de materiales

COSTO DE MATERIALES						
*N	DENOMINACION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO \$us.	COSTO Bs.	OBSERVACIONES
1	Plancha colector 1200x250x1 mm	Mt	1	41.67	290.00	
2	Tubo circular D25,40x1260x2 mm	Mt	1	5.75	40.00	Barra de 5,5 m de largo.
5	Codo de 1" D25,40x22x2mm	Pza	2	7.18	50.00	
6	T de 1" D25,40x23x2mm	Pza	12	5.75	40.00	
7	Soporte plancha colector 250x27,97x2mm	Mt	1	11.49	80.00	
8	Estructura superio perfil T 1340x1760x20mm	Mt	2	33.76	235.00	
9	Platina de 1" 1658,40x50,80x3mm	Mt	1	20.11	140.00	Barra de 6 m de largo.
10	Plancha bases 1740x1320x1 mm	Rollo	1	44.54	310.00	
11	Vidrio colector 1740x1320x2 mm	Pza	1	58.91	410.00	
12	Estructura colector solar 1760x1340x50,80 mm	Mt	1	8.62	60.00	Barra de 6 m de largo.
13	Soporte de codo 1" 35,40x33x2xR14,70 mm	Pza	1	8.62	60.00	
14	Soporte de codo 1" LATERAL 33,90x33x2xR14,70 mm	Pza	1	8.62	60.00	
VARIOS						
15	Pintura Anticorrosiva	Lt	1	3.74	26.00	
16	Disco de corte 9"	Pza	2	4.31	60.00	
17	Oxigeno	Pza	1	2.3	16.01	Botellon
18	Hojas de Sierra	Hoja	5	1.5	52.20	
19	Lija N°80-100-120	Rollo	2	0.8	11.14	
20	Electrodo AWS E 7018	Kg	1	4.02	28.00	
21	Sikaflex 221	Pza	4	33.05	132.18	
22	Aislamiento lana de vidrio	Rollo	1	81.93	81.93	Rollo 50x1200x2400 mm
TOTAL				386.67	2,182.45	

Cuadro 4.1: Costo de materiales

4.2. Costo mano de obra

Costo de Alquiler de Maquinas y Herramientas		
*N	Maquina - Herramienta	Bs. /hora
1	Amoladora	4.87
2	Taladro	4.87
3	ROMI D600	15.00
4	Arco - Soldador	4.87
TOTAL/hora		29.62
TOTAL/semana		947.71
Costo Mano de Obra		
*N	Maquina - Herramienta	Bs. /hora
1	Tecnico Soldador	15.45
3	Ayudante de Corte, amolado y pintor	9.88
TOTAL/hora		25.33
TOTAL/Semana		810.70

Cuadro 4.2: Costo Mano de Obra

4.3. Costo Factura de luz

FACTURA DE ENERGIA ELECTRICA			
			G-PD-BT
Cargo Fijo	Bs./mes		32.547
Cargo por Energía			
0 - 50 kWh	Bs./kWh		0.908
ITEM	kWh	ET Bs.	Importe Bs.
CARGO MINIMO/FIJO		32.547	32.55
ENERGIA 1ER RANGO	42	0.908	38.00
		TOTAL MES	70.55
		TOTAL ANUAL	846.60

Cuadro 4.3: Costo Factura de Luz

4.4. Costo Factura de agua

FACTURA AGUA			
		EMPRESA	
Cargo Fijo	Bs./mes	22.320	
Cargo de agua			
0 - 100000	Bs./m3	0.326	
ITEM	m3	ET Bs.	Importe Bs.
CARGO MINIMO/FIJO		22.320	22.32
RANGO 1	28	0.326	9.13
		TOTAL MES	31.45
		TOTAL ANUAL	377.38

Cuadro 4.4: Costo Factura de Agua

4.5. Costo Total

DETALLE	Total Bs.
Costo de Materiales	2,182.45
Costo de Maquinaria y Herramienta	947.71
Costo de Mano de Obra	810.70
Costo de Servicios Basicos	102.00
Costo de Capacitacion	696.00
COSTO NETO TOTAL	4,738.86
DETALLE	Total Bs.
Costo Neto Total	4,738.86
Margen de Utilidad (30% Sobre el Costo Neto)	1,421.66
Costo Imprevisto (10% Sobre el Costo Neto)	473.89
PRECIO	6,634.41
DETALLE	Total Bs.
Precio	6,634.41
IVA (13% Sobre el Precio)	862.473243
IT (3% Sobre el Precio)	199.032287
PRECIO	7,695.92

Cuadro 4.5: Costo Total

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Las evaluaciones técnicas y económicas del proyecto muestran resultados satisfactorios habiéndose cumplido los objetivos iniciales del proyecto.
- Mediante el desarrollo y análisis de la transferencia de calor de un colector parabólico, se ha establecido una relación entre la capacidad de generación de agua caliente es mayor en comparación a la regla empírica. El valor empírico es de 53 % de rendimiento, mientras que el estudio concluye un valor de 0.66 % de rendimiento. Las ventajas son evidentes puesto que menor área representa menor costo de materiales, fabricación, transporte, montaje y mantenimiento.
- Se ha desarrollado el modelado matemático por ordenador para la transferencia de calor del colector solar parabólico compuesto, mediante el uso del software MatLab versión 10 se resuelve el sistema de ecuaciones no lineales que gobiernan la transferencia de calor mediante la aplicación de métodos numéricos el cual da como resultado la gráfica de distribución de temperaturas y también se establecen las variables termodinámicas.
- Se han desarrollado los planos de manufactura para un colector solar parabólico compuesto de 120 [litros] de capacidad.
- El colector solar parabólico compuesto fue diseñado para soportar cargas térmicas mayores a las especificadas, puede trabajar en la condición de inclemencias de tiempo extremas y se garantiza el funcionamiento y la fiabilidad.
- El tiempo de fabricación del colector solar parabólico compuesto estimado es de 4 días de trabajo considerando un rango de seguridad en el rendimiento de trabajo de los técnicos y ayudantes del 75 %.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación de este colector solar parabólico compuesto a nivel L a Paz puesto que después de realizar el respectivo estudio técnico y económico se ha evidenciado la ventaja de ésta equipo de agua caliente.

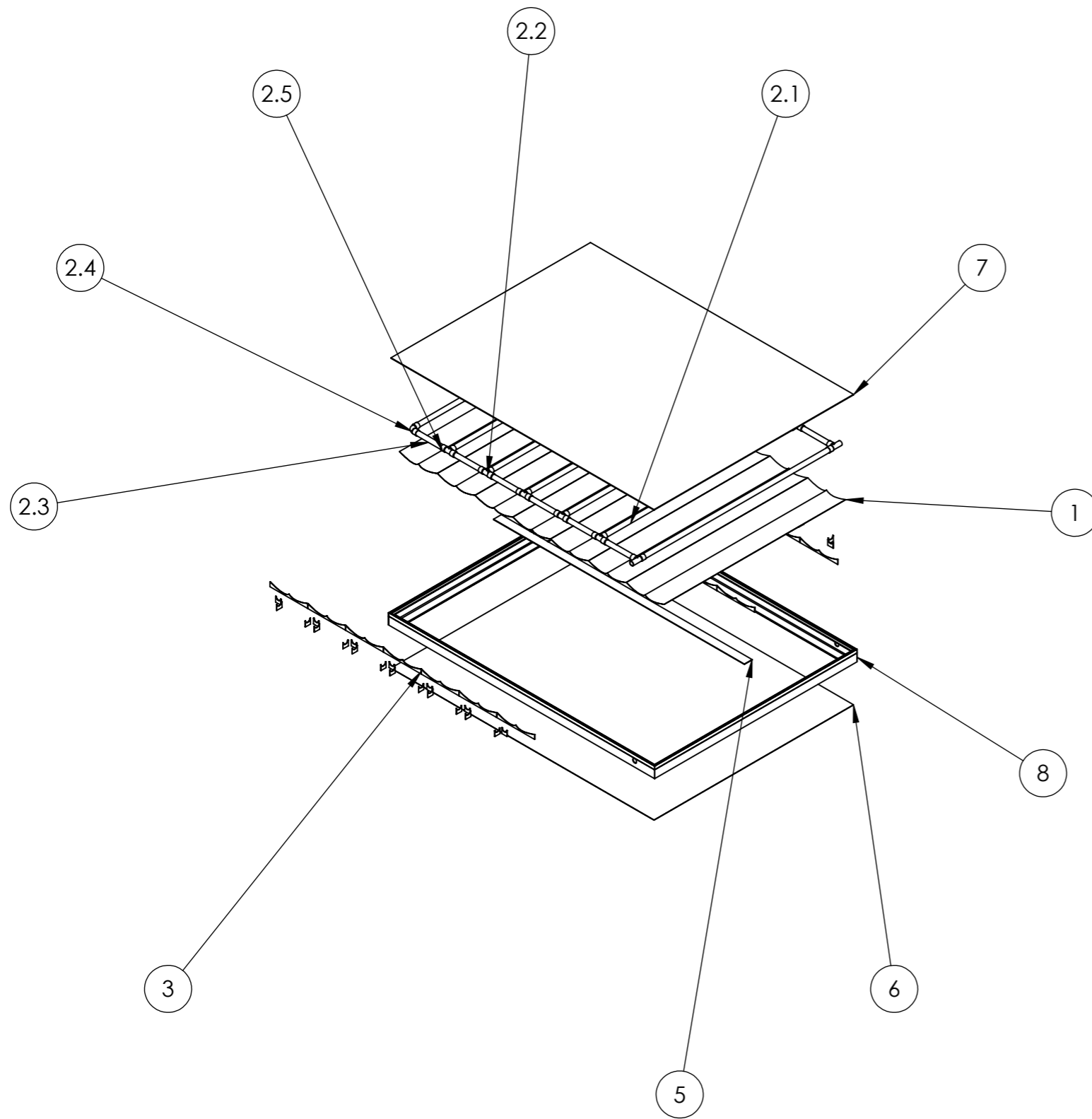
- En la parte técnica, es necesario mencionar que la prueba y ajuste del equipo antes de la operación es una tarea que necesita ser realizada por personal capacitado en soldadura y manipulación de equipos. Así también se debe realizar la capacitación del personal técnico en los campos de operación y mantenimiento del equipo. De esta forma se asegura un funcionamiento continuo y libre de fallas.



BIBLIOGRAFÍA

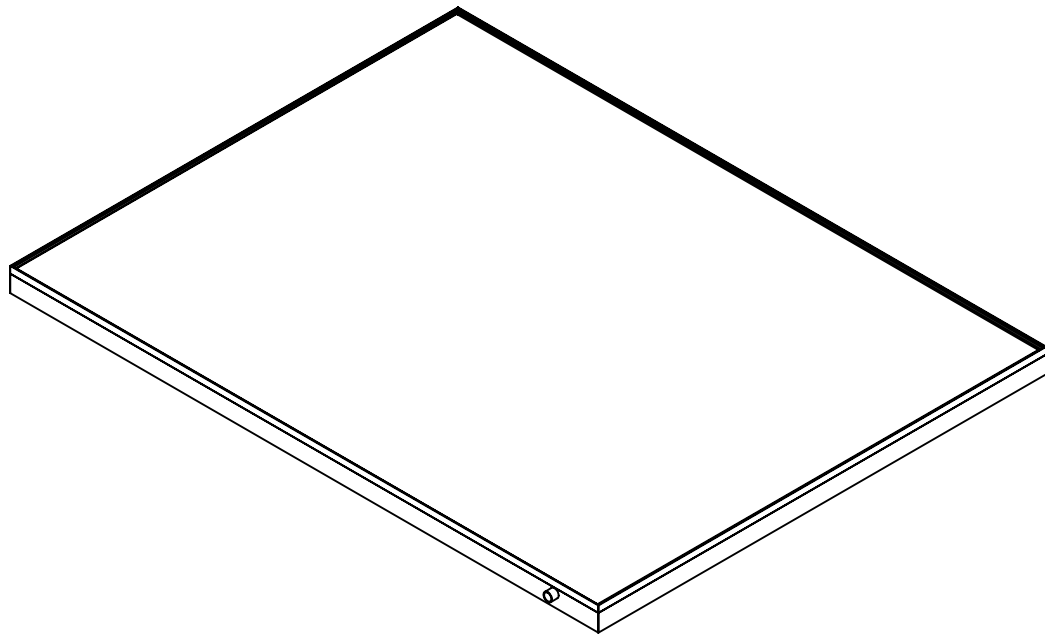
- <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/ingenieria-mecanica-y-electrica/tesis-el-colector-solar-termico-para-la-obtencion-de-agua-caliente-sanitaria/18484048>.
- Capítulo 8 energía solar y óptica sin imágenes para la producción de agua limpia Manuel Collares-Pereira INETI DER, IST, Lisboa, Portugal, correo electrónico: collares.pereira@ineti.pt.
- " DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN COLECTOR PA - RABOLICO COMPUESTO DE TUBOS EVACUADOS PARA APLICACIONES DE TEMPERATURAS INTERMEDIAS" TESIS DE GRADO Previa a la obtención del Título de: INGENIERO MECANICO PRESENTADA POR: RAUL PAREDES MIRANDA Guayaquil - Ecuador 1.988
- Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica ´ S. Tapia S. y J.A. del Rio P. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, ´ Privada Xochicalco s/n Colonia Centro, Temixco, 62580 Morelos, México, email: sts@cie.unam.mx, antonio@servidor.unam.mx Recibido el 15 de octubre de 2008; aceptado el 13 de mayo de 2009
- Colector Solar Parabólico Gómez Cuellar Alfredo alfredo_g_c@hotmail.com Pulido Granados Javier ingjjpg@hotmail.com González Rosas Francisco J. fgonzalez_rosas@hotmail.com
- CLASSIFICATION OF SOLAR COLLECTORS Žanis Jesko Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering Zanis.Jesko@llu.lv
- CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON POSICIONADOR ELECTRÓNICO. Oliver Diego González Rodríguez. oliverde@hotmail.com Hernando Martell # 520 col. Lomas del Paradero Universidad: Instituto Tecnológico De Estudios Superiores de Occidente, (ITESO).
- DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA César Antonio Echevarría López Piura, 02 de septiembre de 2011 FACULTAD DE INGENIERÍA Área Departamental de Ingeniería Mecánico-Eléctrica
- ANGULOS Y TRAYECTORIAS SOLARES EN EL TERRITORIO DE BOLIVIA. Instituto de energía académica nacional de ciencias de Bolivia LA PAZ octubre 2005
- CPC COM ABSORVEDOR V INVERTIDO E ESTACIONÁRIO OPERANDO EM MODO TERMOSIFÃO Chiguera Tiba, Bráulio B. Brandão e Naum Fraidenaich Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco Av. Prof. Luiz Freire, 1000 – CDU, CEP 50.740-540, Recife, Pernambuco, Brasil Phone:+55 81 3453 6019, Fax: +55 81 2126 8250 Email: tibasol@aol.com ou tiba@ufpe.br
- DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR Y ACOPLAMIENTO A UN DIGESTOR ANAEROBICO Aguayo, D.; Velazquez, N.*; Ojeda, S. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N Col. Insurgentes Este 21280. Mexicali, B.C. México.
- DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN CONCENTRADOR PARABOLICO COMPUESTO Javier Gutiérrez Ávila-javiguta12@yahoo.com.mx. Departamento de Metalmecánica. Instituto Tecnológico de Acapulco, Gro., México. Av. Instituto Tecnológico S/N. Cruceiro de Cayaco, Acapulco, Gro., México. C.P.39905. e-mail: Vicente Flores Lara-f117u2@yahoo.com Departamento de Metalmecánica. Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlax. México.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Titulación: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS, ESPECIALIDAD EN RECURSOS ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y EXPLOSIVOS PROYECTO FINAL DE CARRERA Dpto. de Física Aplicada a los Recursos Naturales DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY CARMEN PAREDES VELASCO SEPTIEMBRE 2012

Anexos



ITEM NO.	PART NUMBER	Material	QTY.
1	Plancha Colector	ASTM A36 Steel	7
2	ENSAMBLE DE TUBOS		1
2.1	TUBO CIRCULAR	2.0060 (Cu-ETP)	7
2.2	TUBO CONECTOR	2.0060 (Cu-ETP)	10
2.3	TUBO DE 1"	2.0060 (Cu-ETP)	2
2.4	CODO DE 1"	2.0060 (Cu-ETP)	2
2.5	T DE 1plg.	2.0060 (Cu-ETP)	12
3	Soporte Plancha Colector	ASTM A36 Steel	21
4	estructura superior perfil t	ASTM A36 Steel	1
5	platina de 1"3mm	ASTM A36 Steel	1
6	plancha base	ASTM A36 Steel	1
7	Vidrio Colector	A-Glass Fiber	1
8	ESTRUCTURA DE COLECTOR SOLAR	ASTM A36 Steel	1
9	SOPORTE DEL CODO 1"	ASTM A36 Steel	14
10	SOPORTE DEL CODO 1" LATERAL	ASTM A36 Steel	24

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA			
						COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO Ensamblaje			
NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE					
DRAWN				DIBUJADO	Alcidez Guzman				
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia				
APPV'D				APROBADO					
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-VI-001	COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO		A3	
Q.A				SUBSISTEMA					
				MATERIAL		ESCALA 1:25		HOJA 1 DE 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
 FACULTAD DE INGENIERIA
 INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA

	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia
APPV'D				APROBADO	
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-VI-001
Q.A				SUBSISTEMA	
				MATERIAL	

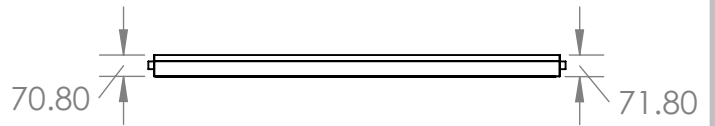
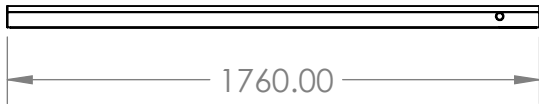
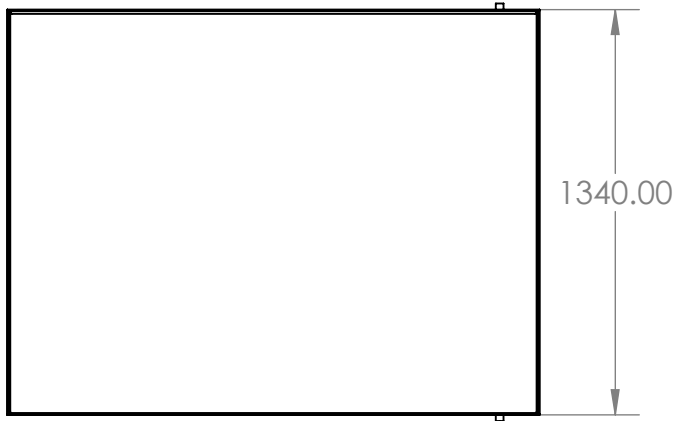
COLECTOR
 PARABOLICO
 Vista Isometrica

COLECTOR CILINDRICO
 PARABOLICO COMPUESTO

A4

ESCALA 1:50

HOJA 1 DE 2



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA

	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia
APPV'D				APROBADO	
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-VI-001
Q.A				SUBSISTEMA	
				MATERIAL	

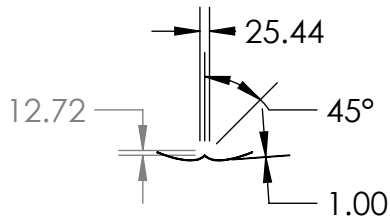
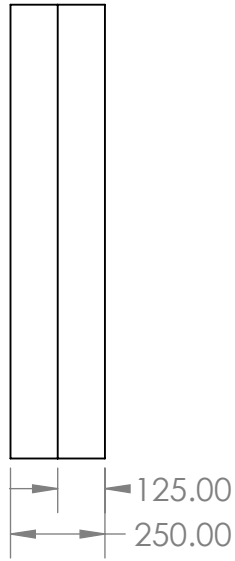
COLECTOR PARABOLICO
Dimensiones Generales para Instalacion

COLECTOR CILINDRICO
PARABOLICO COMPUESTO

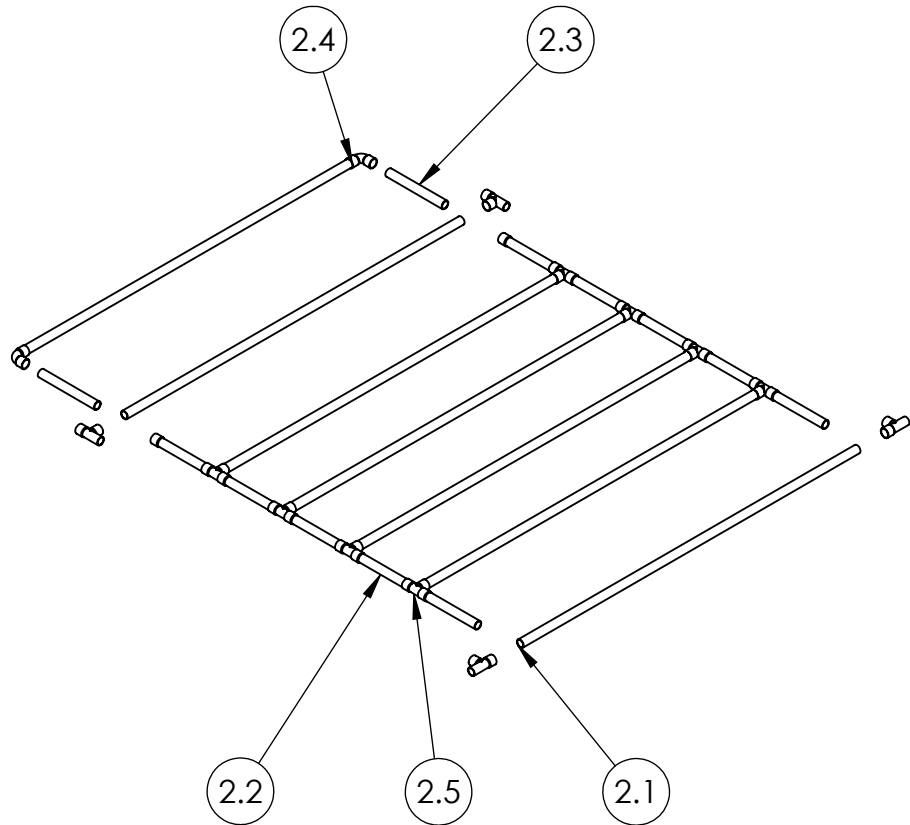
A4

ESCALA 1:33.3

HOJA 2 DE 2

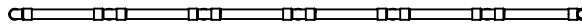
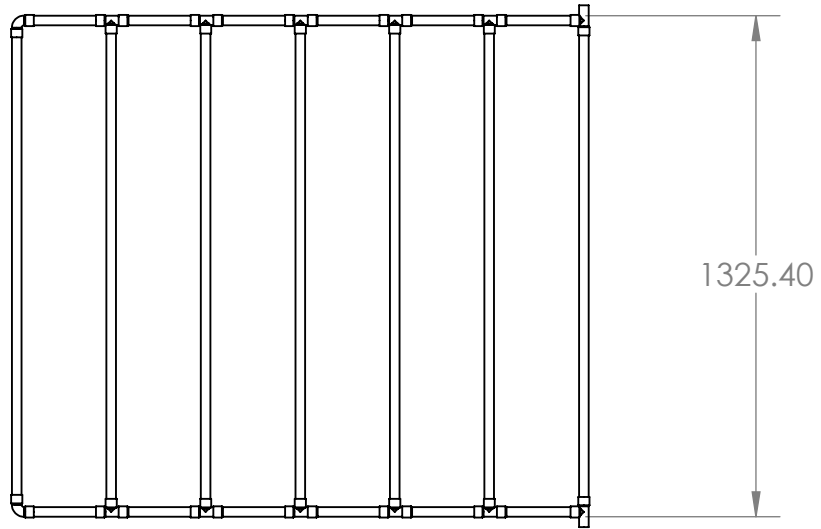


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING			REVISION		
						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA								
	NAME	SIGNATURE	DATE		FECHA		NOMBRE	PLANCHA COLECTOR COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO						
DRAWN				DIBUJADO			Alcides Guzman							
CHK'D				REVISADO			Edgar Tapia							
APPV'D				APROBADO										
MFG					CODIGO DE PLANO		CPC-PC-01							
Q.A					SUBSISTEMA			A4						
						MATERIAL ASTM A36 Steel			ESCALA 1:20			HOJA 1 DE 1		

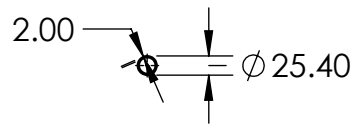
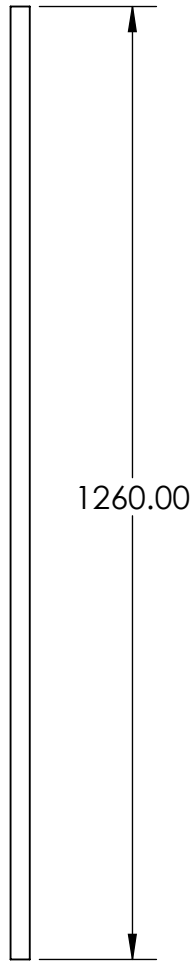


ITEM NO.	PART NUMBER	Material	QTY.
2.1	TUBO CIRCULAR	2.0060 (Cu-ETP)	7
2.2	TUBO CONECTOR	2.0060 (Cu-ETP)	10
2.3	TUBO DE 1"	2.0060 (Cu-ETP)	2
2.4	CODO DE 1"	2.0060 (Cu-ETP)	2
2.5	T DE 1plg.	2.0060 (Cu-ETP)	12

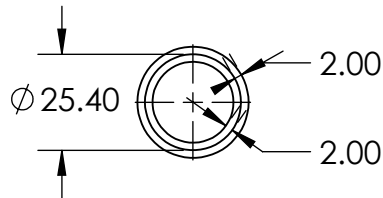
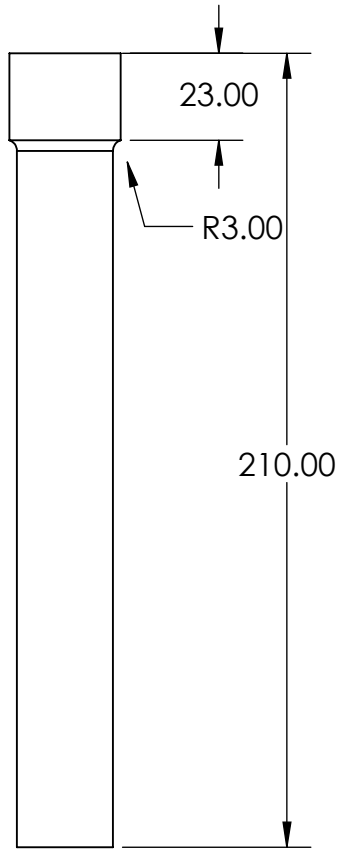
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
NAME		SIGNATURE		DATE		FECHA		NOMBRE	
DRAWN				DIBUJADO				Alcides Guzman	
CHK'D				REVISADO				Edgar Tapia	
APPV'D				APROBADO					
MFG				CODIGO DE PLANO		CPC-CT-02			
Q.A				SUBSISTEMA		CONEXIÓN TUBOS		ENSAMBLAJE DE TUBOS Detalle de Piezas COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO	
				MATERIAL		ESCALA 1:20			
								HOJA DE	



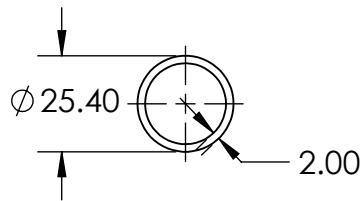
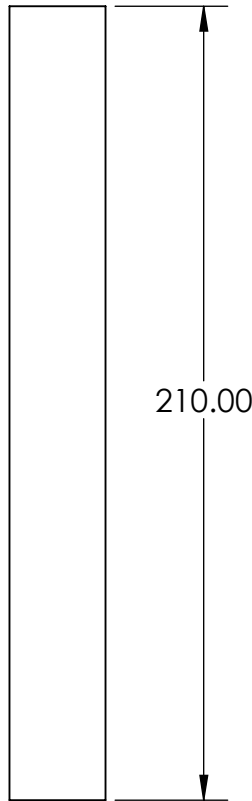
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						ENSAMBLAJE DE TUBO Dimensiones Generales Para Instalacion			
NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE	COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO				
DRAWN			DIBUJADO	Alcides Guzman					
CHK'D			REVISADO	Edgar Tapia					
APPV'D			APROBADO						
MFG			CODIGO DE PLANO	CPC-CT-02					
Q.A			SUBSISTEMA	CONEXIÓN TUBOS		ESCALA 1:20		A4	
			MATERIAL	2.0060 (Cu-ETP)	HOJA 1 DE 6				



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						TUBO CIRCULAR COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO			
NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE					
DRAWN			DIBUJADO	Alcides Guzman					
CHK'D			REVISADO	Edgar Tapia					
APPV'D			APROBADO						
MFG			CODIGO DE PLANO	CPC-CT-2.1					
Q.A			SUBSISTEMA						
			CONEXIÓN TUBOS						
			MATERIAL	2.0060 (Cu-ETP)	ESCALA 1:10		HOJA 2 DE 6		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA				
	NAME	SIGNATURE	DATE		FECHA	NOMBRE	TUBO CONECTOR				
DRAWN				DIBUJADO		Alcides Guzman					
CHK'D				REVISADO		Edgar Tapia					
APPV'D				APROBADO							
MFG				CODIGO DE PLANO		CPC-CT-2.2					
Q.A				SUBSISTEMA		CONEXIÓN TUBOS		COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO			A4
				MATERIAL	2.0060 (Cu-ETP)		ESCALA 1:2				



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA

	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia
APPV'D				APROBADO	
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-CT-2.3
Q.A				SUBSISTEMA	
				CONEXIÓN TUBOS	
				MATERIAL	2.0060 (Cu-ETP)

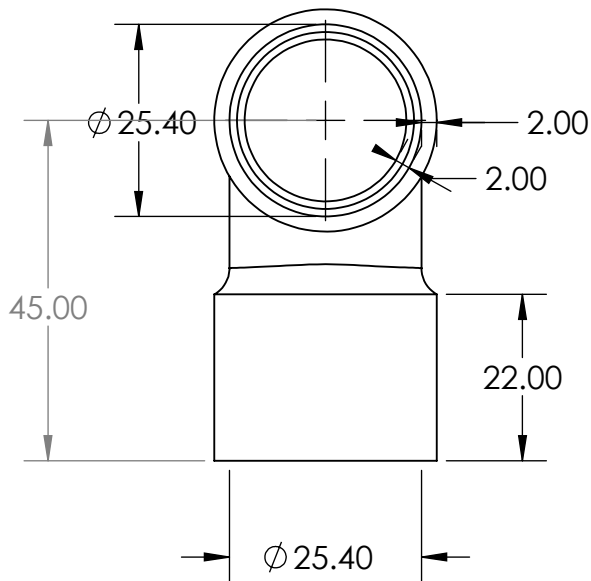
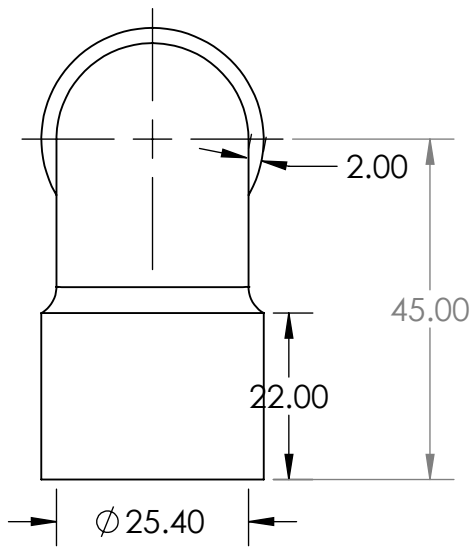
TUBO DE 1"

COLECTOR CILINDRICO
PARABOLICO COMPUESTO

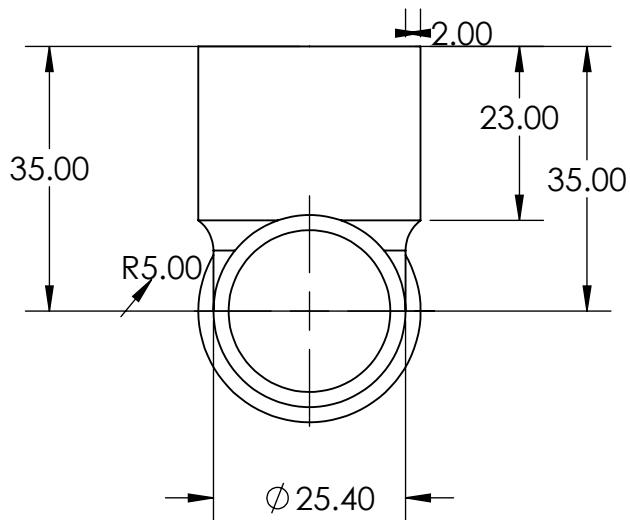
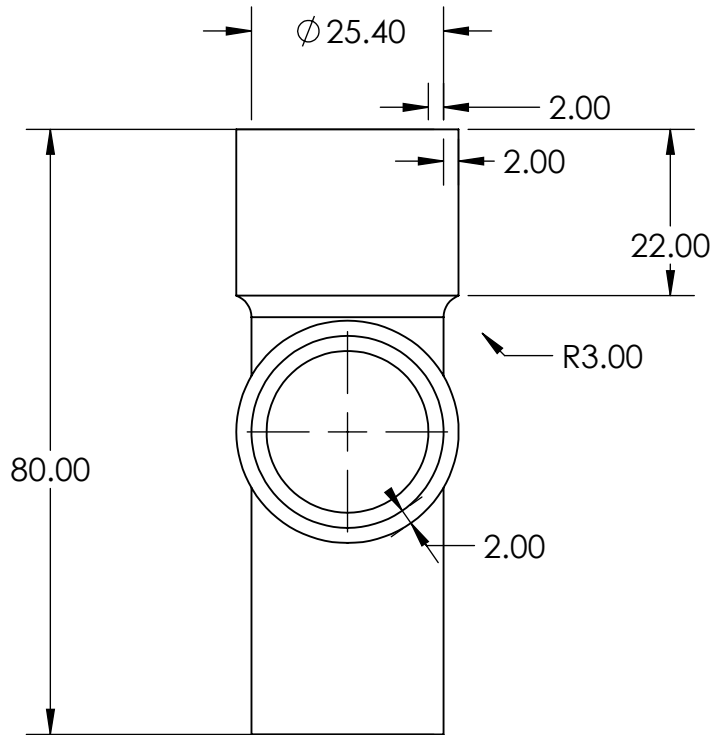
A4

ESCALA 1:2

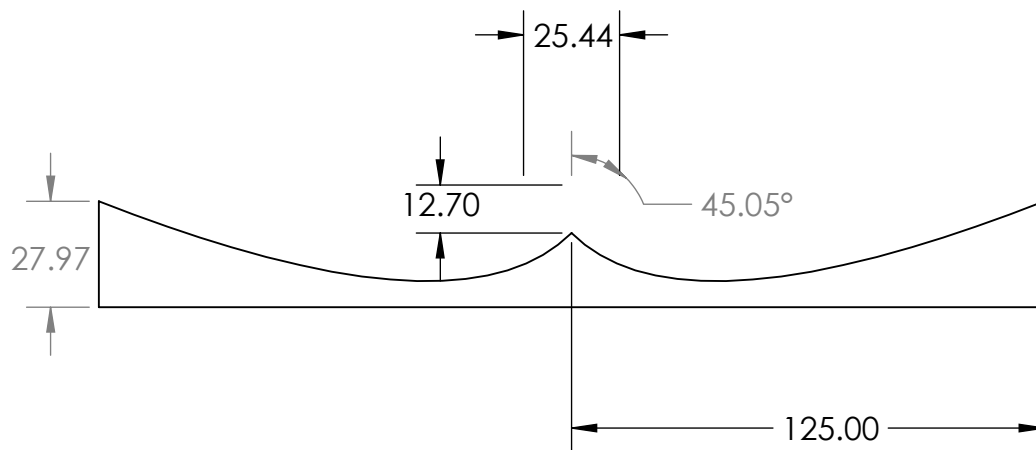
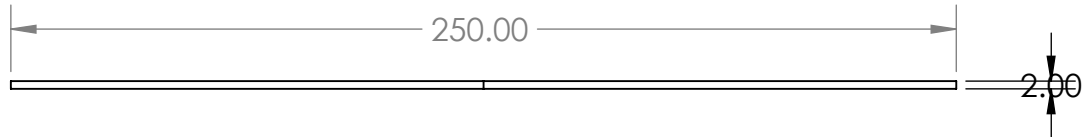
HOJA 4 DE 6



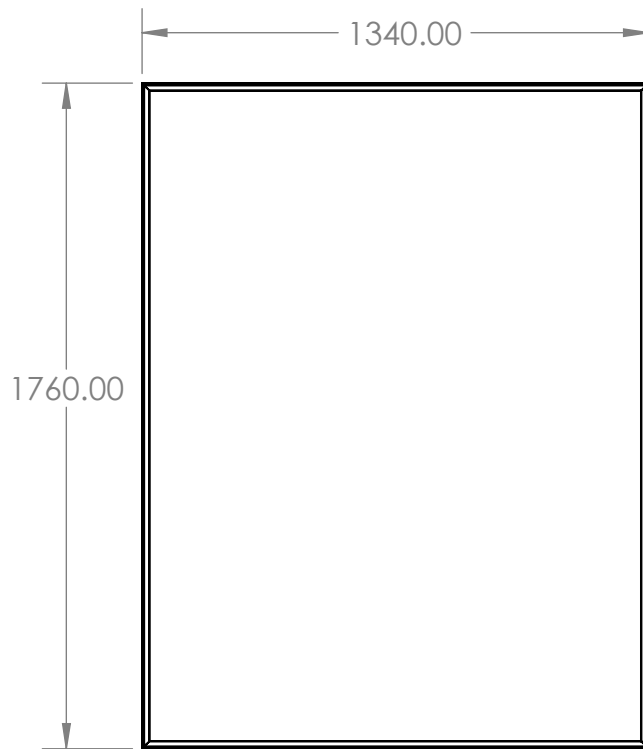
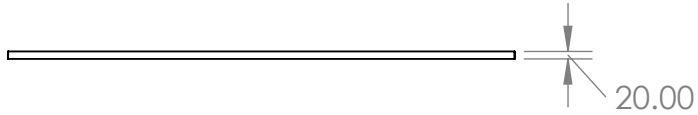
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA				
	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE	CODO DE 1"					
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman						
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia						
APPV'D				APROBADO							
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-CT-2.4						
Q.A				SUBSISTEMA	COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO						
				CONEXIÓN TUBOS							
			MATERIAL		2.0060 (Cu-ETP)		ESCALA 1:1		HOJA 5 DE 6		
										A4	



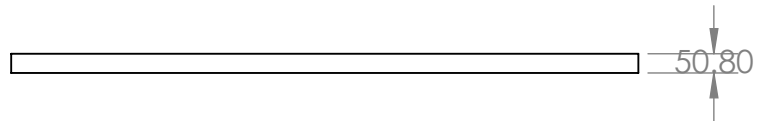
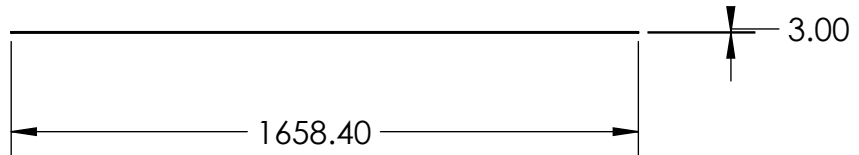
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA				
NAME		SIGNATURE		DATE		FECHA		NOMBRE		T DE 1"	
DRAWN						DIBUJADO		Alcides Guzman			
CHK'D						REVISADO		Edgar Tapia			
APPV'D						APROBADO					
MFG						CODIGO DE PLANO		CPC-CT-2.5			
Q.A						SUBSISTEMA		CONEXIÓN TUBOS		COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO	
						MATERIAL		2.0060 (Cu-ETP)			
								ESCALA 1:1		HOJA 6 DE 6	
										A4	



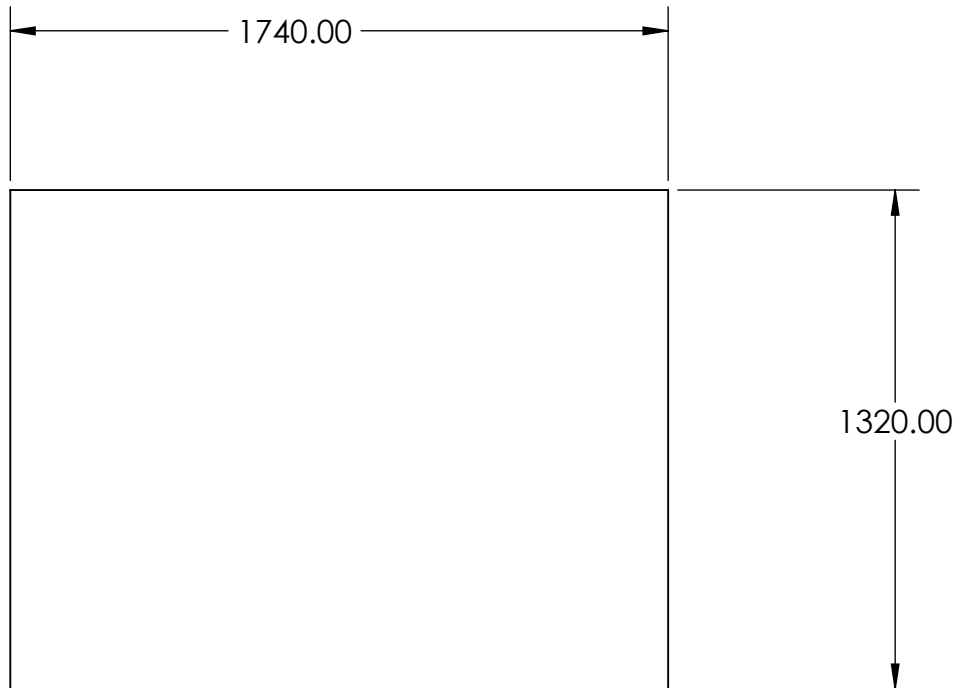
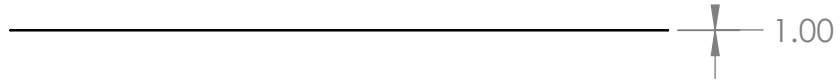
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
	NAME	SIGNATURE	DATE		FECHA	NOMBRE	SOPORTE PLANCHA COLECTOR				
DRAWN				DIBUJADO		Alcides Guzman					
CHK'D				REVISADO		Edgar Tapia					
APPV'D				APROBADO							
MFG				CODIGO DE PLANO		CPC-CP-03					
Q.A				SUBSISTEMA		SOPORTE PLANCHA		COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO			A4
						MATERIAL ASTM A36 Steel					



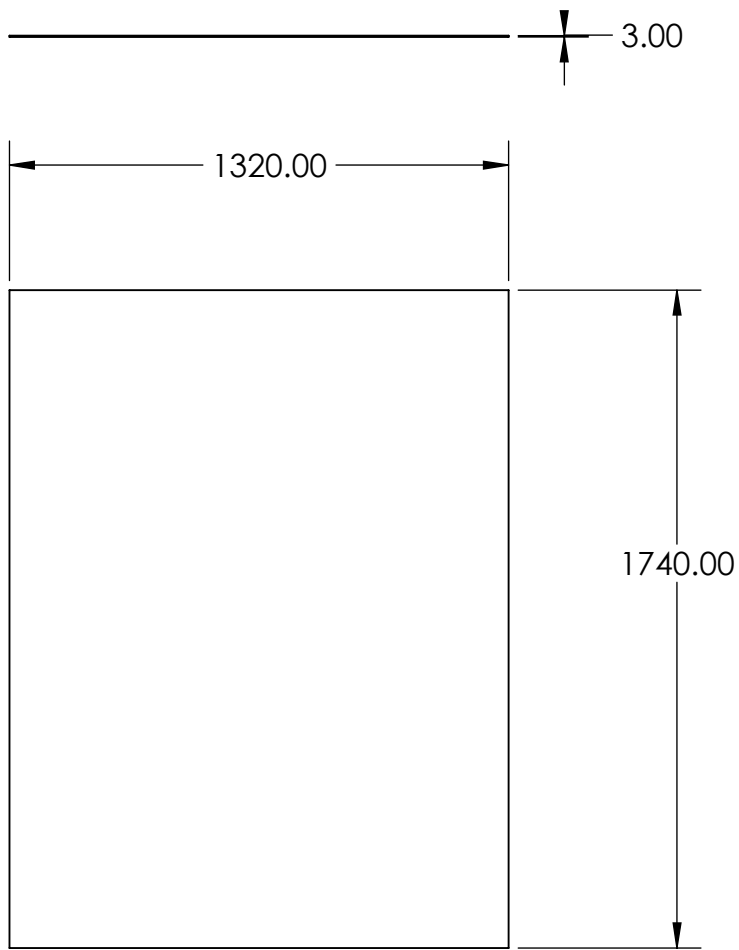
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						ESTRUCTURA SUPERIOR PERFIL T			
NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE					
DRAWN			DIBUJADO	Alcides Guzman					
CHK'D			REVISADO	Edgar Tapia					
APPV'D			APROBADO						
MFG			CODIGO DE PLANO	CPC-ES-04	COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO				
Q.A			SUBSISTEMA						
			ESTRUCTURA SUPERIOR						
				MATERIAL ASTM A36 Steel		ESCALA 1:20		HOJA 1 DE 1	



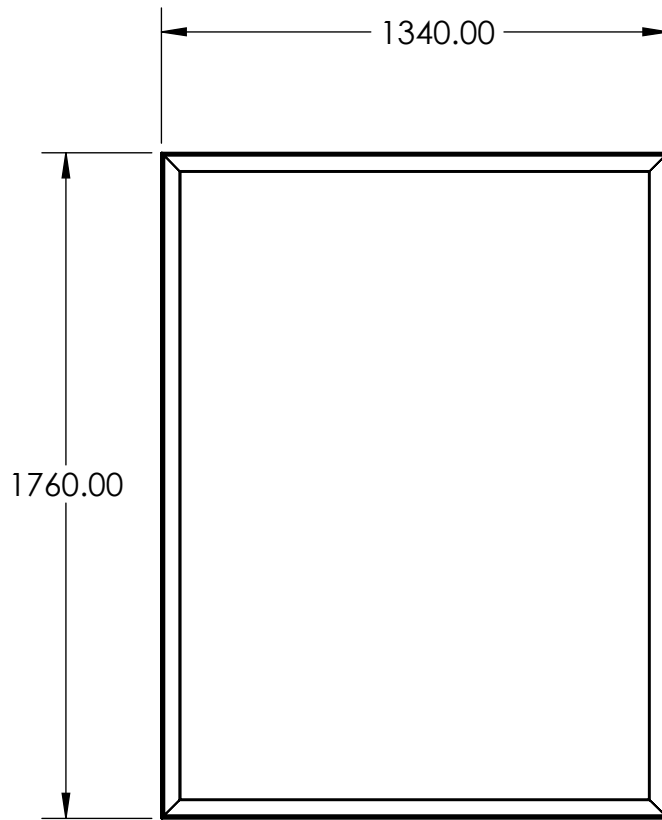
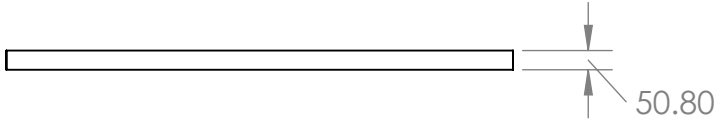
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						PLATINA DE 1"3mm			
	NAME	SIGNATURE	DATE		FECHA	NOMBRE	COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO		
DRAWN					DIBUJADO	Alcides Guzman			
CHK'D					REVISADO	Edgar Tapia			
APPV'D					APROBADO				
MFG					CODIGO DE PLANO	CPC-P-05			
Q.A					SUBSISTEMA	PLATINA	A4		
					MATERIAL	ASTM A36 Steel	ESCALA 1:20		
							HOJA 1 DE 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA			
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:						PLANCHA BASE			
NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE					
DRAWN			DIBUJADO	Alcides Guzman					
CHK'D			REVISADO	Edgar Tapia					
APP'VD			APROBADO						
MFG			CODIGO DE PLANO	CPC-P-06					
Q.A			SUBSISTEMA		COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO		A4		
			PLANCHA BASE						
			MATERIAL	ASTM A36 Steel	ESCALA 1:20		HOJA 1 DE 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECANICA			
TOLERANCES:						VIDRIO COLECTOR			
LINEAR:									
ANGULAR:						COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO			
	NAME	SIGNATURE	DATE		FECHA	NOMBRE	A4		
DRAWN				DIBUJADO		Alcides Guzman			
CHK'D				REVISADO		Edgar Tapia			
APPV'D				APROBADO					
MFG				CODIGO DE PLANO		CPC-V-07			
Q.A				SUBSISTEMA					
				VIDRIO					
				MATERIAL A-Glass Fiber					
						ESCALA 1:20	HOJA 1 DE 1		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA

	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia
APPV'D				APROBADO	
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-EC-08
Q.A				SUBSISTEMA	
				ESTRUCTURA COLECTOR	
				MATERIAL	ASTM A36 Steel

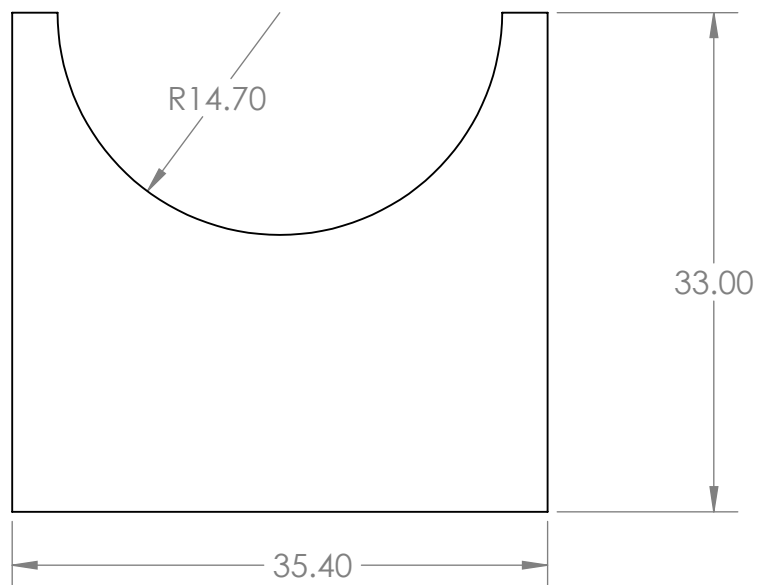
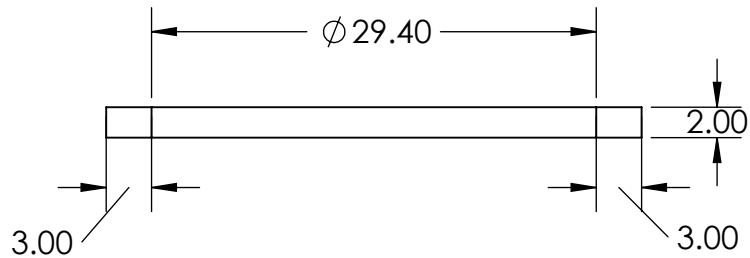
ESTRUCTURA DE
COLECTOR
SOLAR

COLECTOR CILINDRICO
PARABOLICO COMPUESTO

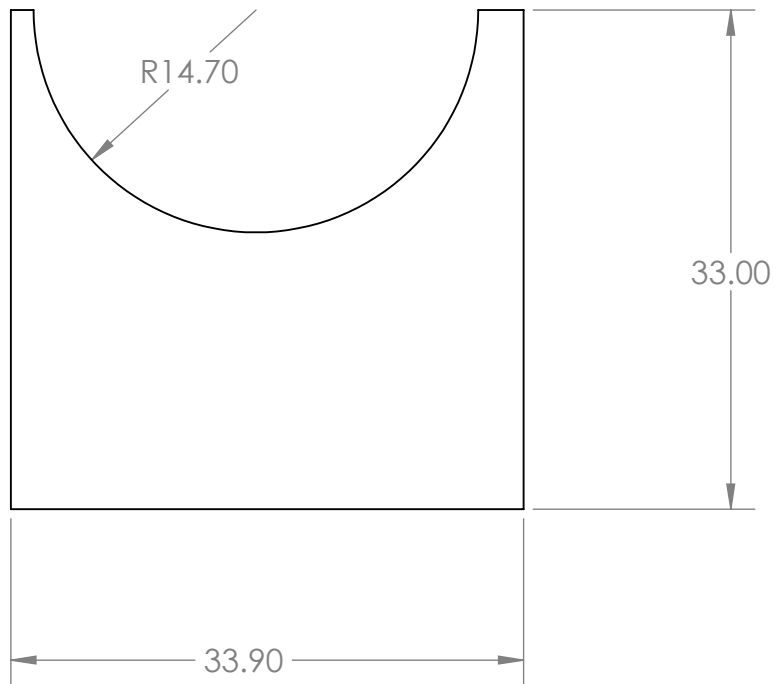
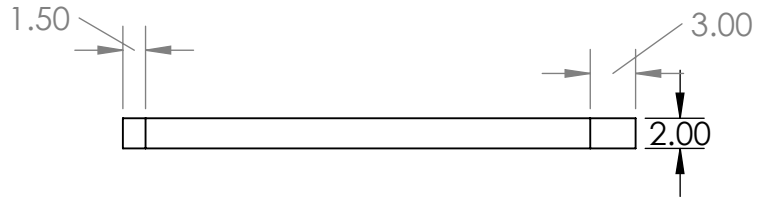
A4

ESCALA 1:20

HOJA 1 DE 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:			DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING			REVISION		
						UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA								
NAME			SIGNATURE			DATE			FECHA			NOMBRE		
DRAWN						DIBUJADO						Alcides Guzman		
CHK'D						REVISADO						Edgar Tapia		
APP'VD						APROBADO						SOPORTE DEL CODO 1"		
MFG						CODIGO DE PLANO			CPC-S-09					
Q.A						SUBSISTEMA			SOPORTE			COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO		
						MATERIAL			ASTM A36 Steel					
						ESCALA 2:1						HOJA 1 DE 1		
												A4		



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
							UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA MECANICA ELECTROMECHANICA				
	NAME	SIGNATURE	DATE	FECHA	NOMBRE	SOPORTE DEL CODO 1" LATERAL					
DRAWN				DIBUJADO	Alcides Guzman						
CHK'D				REVISADO	Edgar Tapia						
APPV'D				APROBADO							
MFG				CODIGO DE PLANO	CPC-SC-10	COLECTOR CILINDRICO PARABOLICO COMPUESTO					
Q.A				SUBSISTEMA							
				SOPORTE CODO							
				MATERIAL	ASTM A36 Steel	ESCALA 2:1			HOJA 1 DE 1		