



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y
TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CAPTADOR SOLAR
TIPO CPC PARA DESINFECCIÓN DE AGUA APLICADO A
COMUNIDADES RURALES**

**TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTORA EN
INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

P R E S E N T A:

TERESA HERNÁNDEZ ORTIZ

D I R E C T O R E S:

DRA. JOSEFINA VERGARA SÁNCHEZ DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ

C O M I T É T U T O R A L:

**Dr. Iván Salgado Tránsito
Dr. Carlos Antonio Pineda Arellano
Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña
Dr. Mario Murillo Tovar
Dr. Cesar Torres Segundo**

Cuernavaca, Morelos.

Noviembre, 2022

DEDICATORIA

A Dios. Por permitirme llegar hasta este punto, darme salud para lograr mis objetivos, por su infinita bondad y amor.

A mis hijas Len y Asha, quienes han sido mi mayor alegría y motivación para nunca rendirme, gracias por tanto amor, este logro es por ustedes.

A mi familia Fita, Pipe, Mag y tío Sam por el apoyo incondicional, su presencia y el cariño que me brindaron para terminar este proyecto.

Este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Hitecma S.A. de C.V. en Ahuatenco, Edo. Mex., con el apoyo técnico del Mtro. José Alejandro Muñoz Hernández. Se realizó con el apoyo económico de la empresa Hitecma y con la beca de estudiante otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar este proyecto.

A la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería por permitirme realizar los estudios de Doctorado y al personal por las facilidades brindadas.

Al Mtro. José Alejandro Muñoz Hernández, por ser mi mayor benefactor, por su amistad y todo el tiempo que le dedicó a este proyecto.

A mis asesores la Dra. Josefina Vergara Sánchez y el Dr. Moisés Montiel González, por su amistad y apoyo en esta investigación.

Al comité revisor por su tiempo y comentarios para mejorar este trabajo.

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño, fabricación, caracterización y evaluación de un reactor de desinfección solar (SODIS), basado en un concentrador parabólico compuesto (CPC). El CPC tiene un factor de concentración de 1, construido en lámina de aluminio anodizado como superficie reflectiva. La fabricación del CPC se realizó con materiales de bajo costo, disponibles en el mercado local y asequible para el usuario final. El trabajo experimental se desarrolló en campo, en la comunidad rural de Ahuatenco, Estado de México. Utilizando agua proveniente del río que abastece a la comunidad, en condiciones como la consumen los habitantes. Se analizan 3 flujos de agua 5.3 L, 10.6 L y 16 L en los horarios 12:00, 13:00 y 14:00 h. Se analizaron los parámetros de bacterias coliformes totales y fecales en diferentes días. Se demuestra la eficacia del CPC para la desinfección mediante el método SODIS, debido a que se logró una remoción bacteriana del 100% de coliformes fecales y totales, utilizando un caudal de 5.3 L/h en un periodo de 1 hora. La implementación y operación de la tecnología desarrollada elimina los microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales, en consecuencia, se mejora la calidad de vida de la comunidad rural y también contribuye con 6 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, de la agenda 2030.

ÍNDICE	Página
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 ALCANCE	5
1.6 OBJETIVOS	5
1.6.1 Objetivo general	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 ESTRUCTURA GENERAL DE LA TESIS	6
CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL	7
2.1 TIPOS DE ENERGÍA	7
2.2 ENERGÍAS RENOVABLES Y LIMPIAS	8
2.3 OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE	9
2.4 ENERGÍA SOLAR	12
2.4.1 Generalidades del sol	12
2.4.2 Energía solar en el mundo	26
2.4.3 Desarrollo histórico y aplicaciones de energía solar	29
2.5 EL AGUA	31
2.5.1 Generalidades del agua	31
2.5.2 El agua en México	33
2.5.3 Contaminación del agua	35
2.5.4 Tecnologías solares para desinfección de agua	39

2.5.5 Desinfección de agua	44
2.6 MÉTODO SODIS	46
2.7 ESTUDIOS TEÓRICO-EXPERIMENTALES DE CPCs	50
CAPÍTULO 3. DISEÑO TEÓRICO DEL CPC	54
3.1 COLECTORES CPC	54
3.2 ECUACIONES PARA EL DESARROLLO DEL CPC	56
3.3 TRUNCAMIENTO Y FACTOR DE CONCENTRACIÓN	59
3.4 SUPERFICIE REFLECTORA Y RECEPTOR	61
3.5 BALANCE ENERGÉTICO DEL CPC	64
CAPÍTULO 4. DISEÑO EXPERIMENTAL	67
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	67
4.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE AGUA.	70
4.3 PROTOTIPO CPC	73
4.3.1 Dimensionamiento	73
4.3.2 Equipo de manufactura	79
4.4 PRENSA DE CONFORMADO	81
4.5 MATERIALES Y EQUIPOS	85
4.6 CONSTRUCCIÓN DEL CPC	85
4.7 INSTRUMENTACIÓN	93
4.8 TRAZADO DE RAYOS	97
4.9 ANÁLISIS DE SOMBRAS	98
4.10 OPERACIÓN DEL CPC	99

CAPÍTULO 5. RESULTADOS	102
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE COSTOS	117
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS	123

No.	LISTA DE FIGURAS	Página
2.0	Desarrollo sostenible	10
2.1	Objetivos de Desarrollo Sostenible	12
2.2	Radiación solar que llega a la tierra	13
2.3	La Tierra orbitando al Sol	14
2.4	Declinación solar	15
2.5	Movimiento de la tierra respecto al sol	15
2.6	Espectro electromagnético de la radiación solar	17
2.7	Radiación recibida por una superficie	18
2.8	Espectro electromagnético solar extraterrestre	19
2.9	Inactivación del ADN	22
2.10	Formación de dímeros en el ADN	23
2.11	Radiación y daño al ADN	23
2.12	Consumo de energía en el mundo	27
2.13	Radiación solar anual del mundo	28
2.14	Radiación global media	29
2.15	Gráfico distribución del agua en la Tierra	31
2.16	Número de meses en los cuales la escasez de agua es mayor al 100%	33
2.17	Disponibilidad anual media de agua en México	34
2.18	Principales causas de defunción	37
2.19	Tipos de captadores solares	41
2.20	Clasificación de captadores Solares y su temperatura	42
2.21	Concentrador de foco puntual	43

2.22	Foco lineal	43
2.23	Concentrador sin imagen	44
2.24	Tipos de Colectores	48
2.25	SODIS, sinergia entre temperatura y radiación UV	49
3.0	Reflexión de luz solar sobre el reactor CPC	55
3.1	Parábolas que forman el CPC	55
3.2	Obtención de la curva del CPC	57
3.3	Descripción del CPC en coordenadas X y Y	58
3.4	Truncamiento de un CPC	59
3.5	Semiángulo máximo de aceptación	60
3.6	Reflectancia espectral de diferentes metales	62
3.7	Transmitancia de diferentes materiales	63
4.0	Mapa satelital de la ubicación de Ahuatenco	67
4.1	Ubicación del Río de abastecimiento de Ahuatenco	68
4.2	Arroyo de Ahuatenco	69
4.3	Llegada del agua al deposito	69
4.4	Depósito de agua, comunidad Ahuatenco	69
4.5	Muestras de tanque y pozo	72
4.6	Modelo isométrico en 3D	75
4.7	Cálculo de parabola e involuta	76
4.8	Trazo de involuta de CPC	77
4.9	Gabinete de soporte	77
4.10	Estructura de soporte	78
4.11	Soporte del CPC	78
4.12	Ensamble general y mecanismos de variación de ángulo	79
4.13	Mecanismo se sellado	79
4.14	Roladora	80
4.15	Dobladora	80
4.16	Cizalla	80
4.17	Máquina de soldadura microalambre	80
4.18	Fresadora de superficies	81

4.19	Torno	81
4.20	Patrón de prensa	82
4.21	Estructura de soporte	82
4.22	Molde base de curvatura	83
4.23	Estructura de PTR	84
4.24	Prensa de conformado	84
4.25	Cortes de lámina de aluminio	86
4.26	Aproximación del perfil: a), b) y c)	86
4.27	Ajuste: a) y b)	87
4.28	Perfiles teóricos	88
4.29	Fabricación de la charola para los canales	89
4.30	Estructura de soporte: a) y b)	89
4.31	Montaje en la estructura	90
4.32	Coples de PVC	90
4.33	Tubos de vidrio	90
4.34	Fontanería con PVC	91
4.35	Preparaciones para sensores	91
4.36	Instalación hidráulica a), b) y c)	92
4.37	Colocación de termómetros	93
4.38	Termómetros Toopske	93
4.39	Flujómetro utilizado	94
4.40	Bomba de agua sumergible	94
4.41	Medidor de radiación	95
4.42	Sensor UV	95
4.43	Multímetro	96
4.44	Medidores de radiación y multímetro	96
4.45	Sensor UV	96
4.46	Sensor UV y multímetro	97
4.47	Termómetro	97
4.48	Sombreamiento a las 3 de la tarde en las cuatro estaciones del año	99
5.0	Gráfica de la radiación Solar de Ahuatenco	103

5.1	CPC instalado a 18.9° sur	104
5.2	Trazo de rayos para el 21 de enero	106
5.3	Trazo de rayos para el 21 de diciembre	106
5.4	Trazo de rayos para el 21 de septiembre	107
5.5	Trazo de rayos para el 16 de mayo	108
5.6	Trazo de rayos para el 21 de junio	108
5.7	Temperatura inicial y final para 5.3 L	111
5.8	Cantidad de bacterias posterior a la desinfección para 5.3 L	111
5.9	Temperatura inicial y final para 10.6 L	112
5.10	Cantidad de bacterias posterior a la desinfección para 10.6 L	113
5.11	Temperatura inicial y final para 16 L	114
5.12	Cantidad de bacterias posterior a la desinfección para 16 L	115
5.13	Eficiencia del CPC	116

No.	ÍNDICE DE TABLAS	Página
2.1	Desarrollo histórico de la energía solar	30
2.2	Principales enfermedades transmitidas por el agua	38
2.3	Temperatura a la que se eliminan algunos contaminantes	40
2.4	Temperaturas para Eliminación de Microorganismos	49
4.0	Valores permitidos de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994	71
4.1	Resultados del análisis preliminar de agua	73
4.2	Especificaciones del CPC	74
4.3	Coordenadas XY del CPC	75
4.4	Materiales utilizados en la prensa de conformado	81
4.5	Materiales utilizados en la construcción del CPC	85
4.6	Diseño de experimento	99
5.0	Promedio de resultados para el flujo 5.3 L	110
5.1	Promedio de resultados para el flujo 10.6 L	112
5.2	Promedio de resultados para el flujo 16 L	113
5.3	Porcentaje de remoción bacteriana	115

6.0	Costo de la prensa de conformado	118
6.1	Costo de construcción del CPC	119
6.2	Costo de instrumentación y análisis de muestras	120

NOMENCLATURA

C	Factor de concentración (adimensional)
L	Longitud (m)
UTN	Unidad Nefelométrica de Turbidez (adimensional)
θ	Ángulo de inclinación (°)
φ	Ángulo de truncamiento (°)
A	Área (m)
A_{ent}	Área de apertura (m)
A_{sal}	Área de salida (m)
θ_{ent}	Ángulo de entrada (°)
I_o	Irradiación (kW/m ²)
A_r	Área de apertura (m)
G_d	Radiación solar directa (W/m ²)
G_{dif}	Radiación solar difusa (W/m ²)
T_a	Temperatura ambiente (°C)
T_c	Temperatura absorbedor (°C)
U_c	Coefficiente global de transferencia de calor (W/m ² °C)
η	Eficiencia óptica (adimensional)
q_u	Calor útil (J)
q_{abs}	Calor del absorbedor (J)
η_c	Eficiencia instantánea (adimensional)
m	Masa (m)
Q	Calor útil (W)
\dot{m}	Flujomásico (kg/s)
ΔT	Cambio de temperatura (°C)
c	Capacidad calorífica (J/kg °C)

S	Cantidad de energía en el absorbedor (W/m^2)
ρ	Reflectividad del espejo (adimensional)
τ	Transmisividad de la cubierta de vidrio (adimensional)
Y_{int}	Factor de interceptación (adimensional)
$f_{end\ loss}$	Factor de pérdidas (adimensional)
NPM	Número más probable (células que pueden crecer en un medio)
UFC	Unidades formadoras de colonias
pH	Acidez o alcalinidad de una solución
V	Volumen (L)
f	Flujo (L/h)
h	Tiempo (h)
BCTi	Bacterias coliformes totales inicial (NMP/100 mL)
BCTf	Bacterias coliformes totales final (NMP/100 mL)
BCFi	Bacterias coliformes fecales inicial (NMP/100 mL)
BCFf	Bacterias coliformes fecales final (NMP/100 mL)
RADglo	Radiación global (W/m^2)

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más graves y urgentes que tiene nuestro planeta es reducir la contaminación del agua, ya que la humanidad enfrenta una terrible escasez de agua potable. Esto se debe principalmente a los altos niveles de contaminación que están presentando las fuentes de agua debido al cambio climático, aumento de los períodos de sequías y toda la contaminación que genera la quema de combustibles fósiles, desechos provenientes de zonas industriales y a la descarga de los drenajes de las casas a los ríos, lagos, barrancas, lagunas, etc. Estas acciones están provocando que dispongamos de menos agua segura para el consumo, provocando que exista un riesgo de salud muy grande para varios sectores de la población.

Para hacer frente a este problema es necesario considerar el desarrollo de tecnologías innovadoras de bajo costo y bajo impacto ambiental. Entre estas tecnologías, destacan por su buena eficiencia energética las que utilizan la energía solar. Para hacer uso de ella los dispositivos que destacan son los captadores solares tipo CPC, estos concentradores solares son colectores de baja concentración, de óptica de no imagen, es decir, la radiación no se concentra en un punto geométrico, sino que se distribuye de forma similar en una región, se utilizan principalmente en calentamiento de agua porque tienen la capacidad de coleccionar tanto la componente directa, como la difusa de la radiación solar [Saettone et al., 2017].

En este trabajo se pretende demostrar que utilizando un concentrador solar tipo CPC, se puede desinfectar el agua en una comunidad rural, siendo esta una tecnología factible de fácil operación y poco mantenimiento.

1.2 ANTECEDENTES

El desarrollo de los captadores solares tipo CPC (Concentradores Parabólicos Compuestos), ha tenido un impulso notable en los últimos años, ya que debido a la contaminación y disminución del agua en el planeta se han buscado diversas alternativas sustentables. En la tabla 1.1, se describen las investigaciones más relevantes, que utilizan el método de desinfección solar del agua (SODIS) y CPCs.

Tabla 1.1. Antecedentes de método SODIS y CPCs

AÑO	ESTUDIO
1966	El concentrador parabólico compuesto (CPC) fue desarrollado simultáneamente en Estados Unidos por Hinterberger y Winston, en la URSS por Baranov y Melnikov, en Alemania por Ploke
1985	El profesor Aftim Acra de la American University de Beirut, inicia la investigación sobre la desinfección solar del agua
1991	Un equipo EAWAG/SANDEC inició pruebas de laboratorio y campo para evaluar el potencial de SODIS
1996	Ronnelid y Karlsson estudiaron las propiedades ópticas y térmicas de los CPCs
2002	Rincón et al., diseñan un nuevo canal de CPC, para incrementar el radio de concentración solar
2010	Gill y Price instalan un CPC en una aldea rural en Kenia logrando resultados preliminares en la desinfección de agua en una presa
2011	Polo-López et al., Utiliza un CPC automatizado para eliminar <i>E. coli</i> en 2.5 L de agua en condiciones controladas
2012	Gómez Couso et al., hicieron una comparación de diferentes reactores solares CPCs para la desinfección de diferentes enteropatógenos en agua doméstica. Los reactores solares utilizaron el método SODIS en la Plataforma Solar de Almería, España
2013	Garrido et al., evaluaron el método SODIS en la desinfección del agua del Río Chirgua para abastecimiento en Venezuela. Se trataron muestras de 2 L de agua durante 6 horas aplicando SODIS. Concluyen que fue una desinfección de 100 % para coliformes fecales
2014	Nalwanga et al., realizan la Evaluación de la desinfección solar de <i>E. coli</i> en la región subsahariana en condiciones de campo utilizando un reactor discontinuo de vidrio de borosilicato de 25 L equipado
2018	Strauss et al., utiliza un CPC para desinfección del agua de lluvia, Mencionan que redujo eficazmente el nivel de contaminación microbiana
2019	Aboushi et al., realizaron una investigación experimental utilizando tres unidades de tratamiento mediante SODIS para investigar el efecto de aumentar la parte UV del espectro para acelerar la desinfección del

	agua contaminada, concluyen que el método SODIS es prometedor para desinfectar agua contaminada
2020	Martínez-García et al., a nivel piloto compararon un CPC de canal V para la desinfección solar de agua con un CPC canal parabólico. Mostraron que la eficiencia para la desinfección del agua es similar
2021	García-Gil et al., resumen el conocimiento actual de los parámetros que afectan la eficacia de SODIS y revisa los modelos cinéticos desarrollados para hacer que el proceso SODIS sea más seguro y rápido
2022	Mussengue et al., presentaron una revisión sistemática de bases de datos bibliográficas y de patentes sobre la tecnología SODIS para uso a gran escala. Uno de sus hallazgos es que la combinación de los sistemas de pasteurización solar (SOPAS) y SODIS fue beneficiosa para desarrollar sistemas mixtos para el suministro público de agua potable a gran escala

A pesar de estos pocos estudios a gran escala, la mayoría de los estudios experimentales que utilizan el método de desinfección solar del agua (SODIS) empleando CPC aún se realizan a nivel de laboratorio con agua sintética. Aún se necesita el desarrollo de estudios reales del agua a una escala relevante y en diferentes regiones del mundo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La escasez de agua potable es uno de los graves problemas que afronta la humanidad desde el año 2010 a nivel mundial. Esto se debe principalmente a la contaminación del agua generada al mezclarse con efluentes contaminados provenientes de zonas industriales y la descarga de los drenajes de las casas a ríos, lagos, barrancas, lagunas, entre otras, provocando que exista un gran riesgo de salud para varios sectores de la población. Por otro lado, otros factores que incrementan la escasez de agua potable en México es la explosión demográfica de zonas geográficas provocando que la población que ahí habita carezca de un adecuado abastecimiento de agua potable [Duran y Torres, 2006].

Debido a la contaminación de agua es necesario buscar alternativas para poder desinfectar el agua, buscar alternativas que sean económicas, abundantes, limpias y que preserven el equilibrio ecológico. Entre las fuentes alternativas se encuentran la energía solar, energía eólica y la energía geotérmica. La energía solar es inagotable, abundante, gratuita, no es contaminante y puede ser transformada en calor empleando captadores solares sencillos, los cuales se pueden fabricar con los materiales disponibles en el mercado.

Si pensamos en esa problemática es pertinente, viable y necesario contribuir a una parte de la solución, utilizando medios no contaminantes como la energía solar y así evitar que la contaminación se siga propagando en nuestro entorno. La mayoría de las investigaciones que utilizan la desinfección SODIS por medio de CPCs se realizan a nivel laboratorio con agua sintética, son escasos los trabajos para desinfectar agua de efluentes naturales y aplicados en comunidades rurales.

Por tanto, en la presente investigación se diseña, fabrica, caracteriza y evalúa un Concentrador Parabólico Compuesto (CPC) para eliminar coliformes fecales en agua natural de río a través del efecto sinérgico de la temperatura y la radiación solar UV por proceso SODIS. Además, el estudio experimental se desarrolló bajo condiciones climáticas reales de operación y se aplicó en una comunidad rural mexicana. Siendo así, una alternativa amigable con el medio ambiente y confiable para desinfección del agua contaminada, de modo que se pueda ayudar a la población a tener una mejor calidad de vida al utilizar agua limpia.

1.4 HIPÓTESIS

El proceso de desinfección de agua puede llevarse a cabo por medio de una tecnología solar y obtener agua apta para consumo humano, aprovechando la radiación UV y el incremento de temperatura se promoverá la inactivación de los microorganismos, rompiendo las bases nitrogenadas del ADN por la absorción de dicha radiación.

1.5 ALCANCE

Esta investigación está orientada a evaluar el comportamiento y la eficiencia de un prototipo de desinfección solar tipo CPC, en las condiciones medioambientales propias de la localidad de Ahuatenco, Ocuilan, Estado de México. Las características de estudio en esta investigación son: la determinación de la cantidad de agua que puede suministrar al prototipo solar en función del tiempo, el área disponible, la temperatura y la radiación solar de la región en la que se instalará. El agua se analizará para que cumpla con la normatividad mexicana en cuestión de coliformes fecales y totales.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Diseñar, construir y operar, un sistema para desinfección de agua, utilizando un captador solar tipo CPC para su aplicación en comunidades rurales.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Investigar diferentes modelos de captadores solares para desinfección de agua.
2. Diseñar y construir el prototipo de captación solar para la desinfección de agua.
3. Realizar pruebas con el dispositivo a escala piloto y encontrar las condiciones óptimas de operación.
4. Determinar la factibilidad técnica y económica de la aplicación de este proceso probado en un ambiente real.

5. Evaluar las características bacteriológicas del agua, obtenida del proceso de desinfección de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

1.7 ESTRUCTURA GENERAL DE LA TESIS

En el capítulo 1, se plantearon las razones y justificaciones para realizar este proyecto con tecnologías solares, para hacer frente a una situación de contaminación que surge en un área rural.

El capítulo 2, explica las generalidades del sol, los tipos de energía, el impacto de la energía solar a lo largo de la historia en los captadores solares y como el método SODIS ayuda a la desinfección solar.

En el capítulo 3, se hace una reseña sobre las características de los CPCs, las ecuaciones que ayudan en su diseño y sus componentes.

El capítulo 4, plantea las especificaciones del diseño experimental del CPC, así como la metodología para evaluar la desinfección de agua.

En el capítulo 5, se presentan los resultados experimentales de la desinfección de agua en la comunidad de Ahuatenco.

El capítulo 6, explica el análisis de costos del CPC y muestra un panorama del por qué invertir en esta tecnología.

En el capítulo 7, se presentan las conclusiones de este proyecto y recomendaciones generales para realizar en un futuro.

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 TIPOS DE ENERGÍA

La energía proveniente de combustibles fósiles es la más utilizada actualmente a nivel mundial. Se obtiene de la combustión de ciertas sustancias (carbón, petróleo y gas natural) que se produjeron en el subsuelo el cual se generó por la acumulación de grandes cantidades de residuos orgánicos desde hace millones de años [De la Cuesta, 2012]. Se mencionan algunos tipos de energía, las cuales son: Energía Nuclear, Energía Geotérmica, Energía de Biomasa, Energía Hidráulica, Energía Eólica, Energía Undimotriz, Energía Mareomotriz.

- La energía nuclear se obtiene de la modificación de los núcleos de algunos átomos, transformando su masa en energía. Por lo tanto, no involucra combustión, pero sí produce otros subproductos agresivos para el ambiente como los residuos radiactivos [Ramírez Regalado, 2014].
- La energía geotérmica consiste en extraer calor del magma incandescente de la tierra por medio de vapor. Mediante procesos térmicos es posible generar electricidad, en las plantas llamadas geotérmicas, el aprovechamiento de esta no implica combustión alguna [Jara, 2016].
- La energía de la biomasa es la forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar, y proviene de la captación (bastante ineficiente) de la radiación solar para llevarse a cabo. Principalmente, consiste en cultivar especies vegetales que pueden servir como combustible, aunque también podemos aprovechar como biomasa algunos residuos, tanto urbanos como ganaderos. Asimismo, mediante procesos biológicos, se pueden producir fermentaciones para obtener biocombustibles [Posso, 2012].
- La energía hidráulica es una energía renovable de alto rendimiento energético, es limpia porque no produce emisiones tóxicas, se obtiene del

aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente o los saltos de agua naturales. En el proceso, la energía potencial (durante la caída del agua) se convierte en cinética la cual se utiliza para movilizar las turbinas que producen electricidad [Jara, 2016].

- La energía eólica viene derivada de la solar debido a que los movimientos de la atmósfera se deben al efecto de rotación, atracción lunar y al calentamiento causado por la radiación solar. La utilización de este tipo energía se lleva a cabo con aerogeneradores o molinos de viento [Posso, 2012].

Existen otras energías que intentan aprovechar la energía proveniente de los mares y océanos; estas son, la energía Undimotriz (energía de las olas), la Mareomotriz (energía las mareas), OTEC (diferencia temperatura oceánica) y la Energía Azul (diferencia de concentración salina en desembocaduras) [Almendarain, 2012].

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES Y LIMPIAS

Debido al uso indiscriminado de energía proveniente de los combustibles fósiles, se genera un aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, el uso de combustibles fósiles provoca debilitamiento de capa de ozono y desaparición de grandes masas boscosas que favorecen el aumento de temperatura en la tierra, provocando un futuro incierto para las generaciones venideras. Para mitigar este problema, una alternativa son las energías renovables. Entre las energías renovables entre las que tienen un mayor potencial, se encuentra la energía solar. La energía solar que incide sobre la exosfera es constante 1394 kW/m^2 y se conoce como la constante solar, de esta última solo un 30% es reflejada hacia el exterior y el 70% restante atraviesa la atmósfera [De Cusa, 1998].

Se denomina energía renovable, a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, a diferencia de la tradicional (de alto costo, contaminante y agotable), la energía sustentable es aquella que no es agresiva al medio ambiente. Ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces

de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables / sustentables y que de cierta manera dependen del Sol están la eólica, térmica, fotovoltaica, por mencionar algunas [Osinergmin, 2013].

México tiene una gran biodiversidad climática, su ubicación geográfica permite contar con diversas fuentes de energía renovable, particularmente la solar, impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de diversos tipos de energía de forma segura y menos contaminante respecto a las alternativas convencionales.

Con estos valores de radiación, la superficie de la tierra cuenta con un valor máximo de 1000 W/m^2 (Insolación) [Almaraz, 1994]. La tierra recibe una energía solar que sobrepasa la demanda anual de energía de toda la población, por lo cual, si se analiza, la energía solar incidente en 1m^2 se podría ahorrar aproximadamente 100 litros de petróleo [Peuser, 2002].

2.3 OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

La diferencia entre “desarrollo sostenible” y “desarrollo sustentable” es que, «desarrollo sostenible» implica un proceso en el tiempo-espacio y va de la mano de la eficiencia. Mientras que el «desarrollo sustentable» implica una finalidad y va de la mano de la eficacia más no necesariamente de la eficiencia.

Por tanto, un verdadero desarrollo sostenible implica por añadidura sustentabilidad, pero no implica necesariamente sostenibilidad [EcuRed contributors, 2019].

El modelo de desarrollo sostenible (figura 2.0), definido a partir del concepto de sustentabilidad de los sistemas productivos, se centra en el objetivo de satisfacer las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para compensar las propias [Villaruel Fuentes, 2017].



Figura 2.0. Desarrollo sostenible [EcuRed contributors, 2019].

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

Los 17 ODS (figura 2.1) están integrados, ya que reconocen que las intervenciones en un área afectarán los resultados de otras y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medioambiental, económica y social [PNUD, 2021].

La investigación desarrollada en este trabajo promueve la salud, cuidado ambiental energía asequible, producción limpia, bajo costo operacional y mejora la calidad de vida, por lo tanto, cumple con parte de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) como son el 3, 6, 7, 9, 13 y 17 de la agenda 2030:

- 3. Salud y bienestar: Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible. Obteniendo agua desinfectada se promueve la salud ya que no cuenta con coliformes fecales causantes de enfermedades gastrointestinales en la población.
- 6. Agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Se promueve utilizar agua limpia sobre todo en las comunidades rurales, que generalmente no cuentan con servicios básicos y si hay son limitados.
- 7. Energía asequible y no contaminante: Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos. Utilizando la energía solar se pretende suministrar agua potable a la comunidad rural mediante energía limpia y no contaminante
- 9. Industria innovación e infraestructura: Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Se promueve la innovación de tecnologías aplicables en zonas rurales
- 13. Acción por el clima: Al utilizar la energía solar se promueven las tecnologías que son no contaminantes, con lo cual se contribuye al cambio climático.
- 17. Alianzas para lograr objetivos: Se logran colaboraciones con otras instituciones académicas, autoridades municipales y empresas locales para la generación de empleos en la fabricación e implementación de nuevas tecnologías para desinfección de agua con energía solar.



Figura 2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible [PNUD, 2021].

2.4 ENERGÍA SOLAR

2.4.1 Generalidades del sol

El Sol tiene una masa de aproximadamente 1.989×10^{30} kg, un diámetro de 1.3927 millones de km, la potencia radiante del sol en el límite exterior de la atmósfera terrestre, a una distancia de unos 150 millones de kilómetros, corresponde a aproximadamente 1360 W/m^2 [Neville, 1995]. La Tierra recibe del Sol aproximadamente 5.4×10^{24} J por año. Esto es equivalente a cerca de 30,000 veces la energía utilizada en el mundo en la actualidad [Sayigh, 1981].

La energía Solar, es la energía que se produce en el Sol debido a la continua reacción termonuclear que en su interior se lleva a cabo a temperaturas de millones de grados. La reacción básica en el interior del Sol, es la fusión nuclear, en la cual cuatro protones (de Hidrógeno) se combinan para formar un átomo de Helio; como consecuencia de ello, la masa “perdida” se convierte en energía en forma de radiación (energía electromagnética), de acuerdo a la bien conocida Ley de Einstein. Estos procesos tienen lugar en el núcleo de la esfera solar, para luego ser transferida a la superficie, a través de la radiación y convección, incluidos los

fenómenos de emisión, absorción y “re-radiación”, como lo muestra la figura 2.2 de tal manera que la energía solar que nos llega a la Tierra es 66 MW/m² y es radiada por el Sol, desde la parte más externa de la esfera solar llamada la fotosfera [Muhlia, 2017].

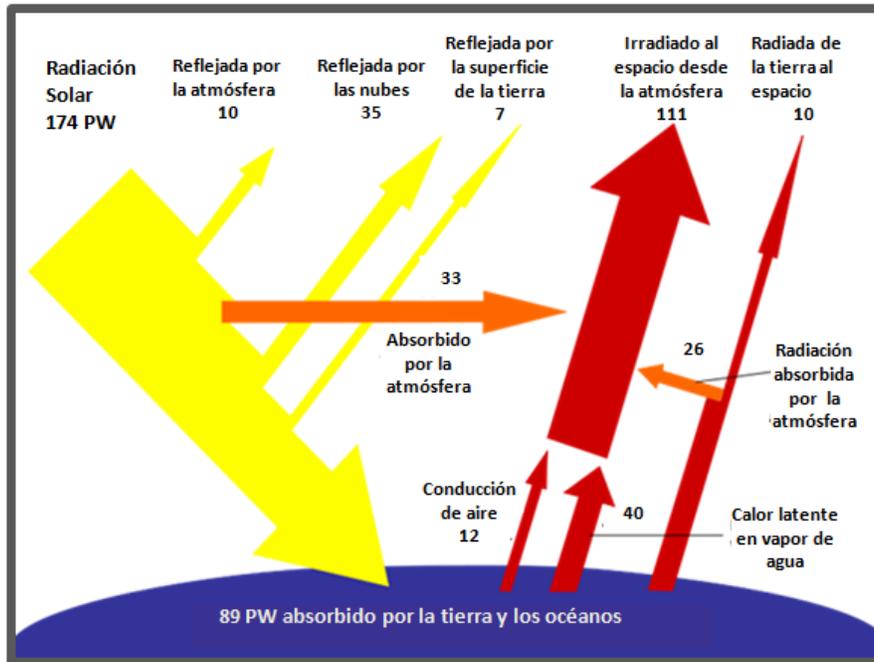


Figura 2.2. Radiación solar que llega a la tierra [Modificada de Tai-Jin, 2018].

Movimiento solar

Además del movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje, la Tierra se encuentra en el espacio orbitando alrededor del Sol, y completa cada una de sus órbitas en un período de un año. La forma exacta de la trayectoria que describe la Tierra viene dictada por las leyes de la dinámica celeste, que nos indican que se trata de una elipse, pero que con muy buen grado de aproximación podremos suponer que se trata de una circunferencia [Landau, 2007].

La primera idea básica para comprender los movimientos del Sol en el cielo y que hay que tener siempre en cuenta, es que dicha circunferencia es completamente plana, es decir, que nosotros podríamos hacer descansar la órbita de la Tierra sobre una hoja de papel, eso sí, de dimensiones descomunales, ya que hay que tener en cuenta que el radio de la circunferencia de la órbita terrestre es de unos 150 millones de kilómetros. La figura 2.3 representa el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Al plano que contiene la órbita terrestre se le denomina plano orbital, o mucho más comúnmente eclíptico [Astromía, 2019].

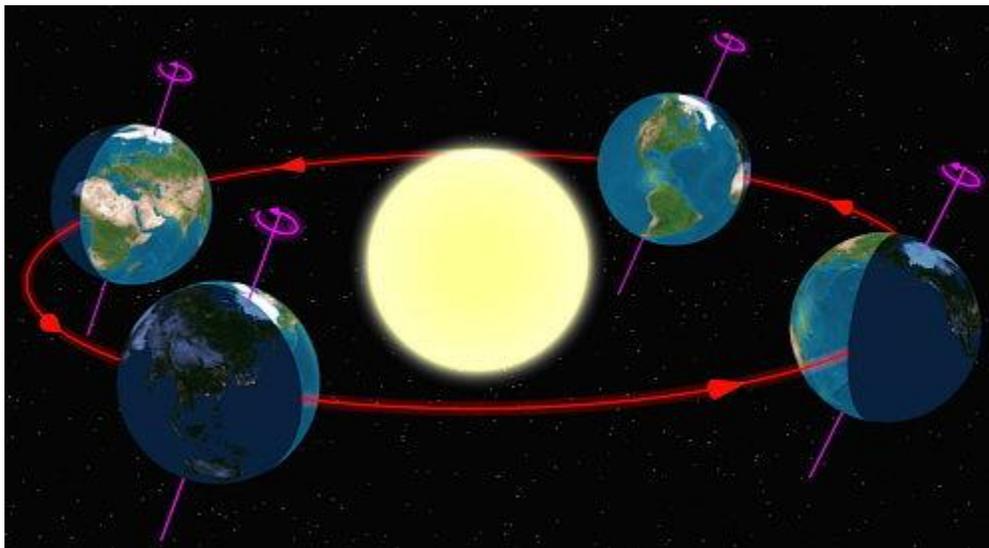


Figura 2.3. La Tierra orbitando al Sol [Astromía, 2019].

La Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje denominado eje polar, el cual se encuentra inclinado aproximadamente 23.5° de la normal del plano denominado “plano eclíptico”. La rotación de la tierra alrededor de este eje ocasiona los cambios diurnos en la radiación solar que incide en el planeta tierra y la posición de este eje relativo al sol causa los cambios estacionales en la radiación solar. El ángulo entre el eje polar y la normal al plano eclíptico permanece sin cambios. Aunque, el ángulo que forma el plano ecuatorial y la línea que une los centros del Sol y la Tierra cambia cada día, de hecho, cambia en cada instante. Este ángulo es llamado “Declinación Solar” y es representado por la letra griega δ , como se observa en la figura 2.4. La declinación es cero en los equinoccios de primavera y de otoño. En el solsticio de

verano tiene un ángulo de aproximadamente $+23.5^\circ$ y en el solsticio de invierno un ángulo de -23.5° [Cruz, 2016].

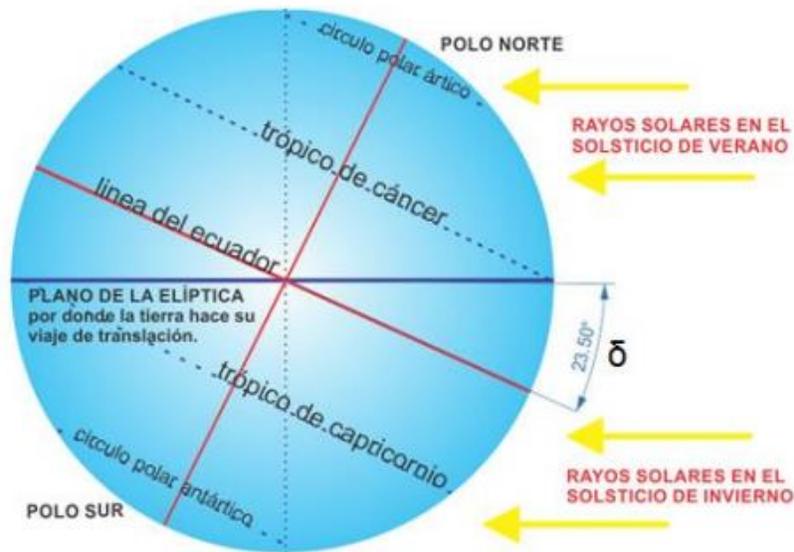


Figura 2.4. Declinación solar [Cruz, 2016].

El cambio de las estaciones a lo largo del año se produce al darse la particularidad de que el eje de rotación de la tierra se encuentra inclinado respecto del plano de la órbita, esto hace que los rayos del sol inciden de forma diferente a lo largo del año en cada hemisferio como se observa en la figura 2.5 [Pozo, 2020].

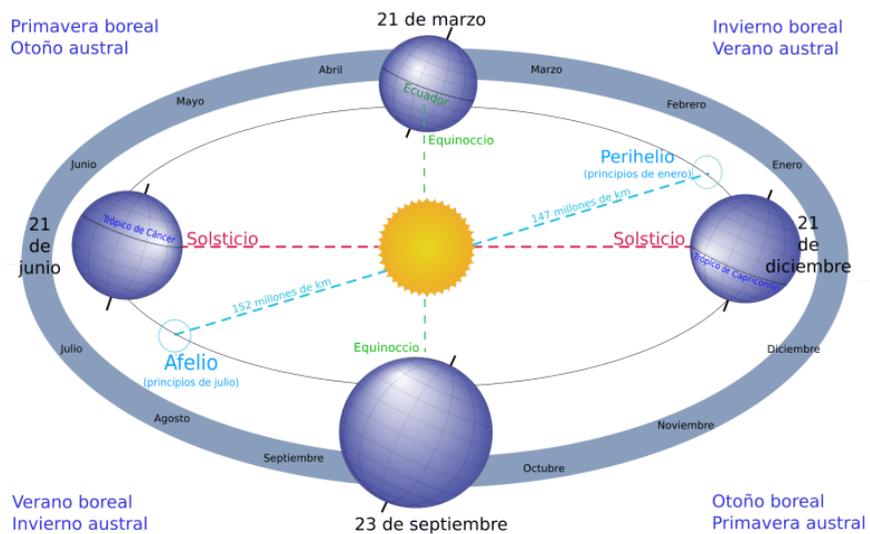


Fig. 2.5. Movimiento de la tierra respecto al sol [Pozo, 2020].

Radiación solar

A pesar de la compleja estructura del Sol, para el aprovechamiento de su energía se puede adoptar un modelo mucho más simplificado. Así, se considera el Sol como un cuerpo negro que radia energía a la temperatura de 5780 K, ya que su distribución espectral es muy similar a la de dicho cuerpo negro en el rango de radiación ultravioleta, visible e infrarrojo cercano.

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética. La radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica y no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $c=\lambda f$ (donde c es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de $c= 299.792$ km/s [Ideam, 2020].

Al conjunto de todas las longitudes de ondas de la radiación se le conoce como espectro electromagnético. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro en diferentes longitudes de onda, como se muestra en la figura 2.6, que se extiende desde longitudes de onda corta de billonésimas de metro (frecuencias muy altas), como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio.

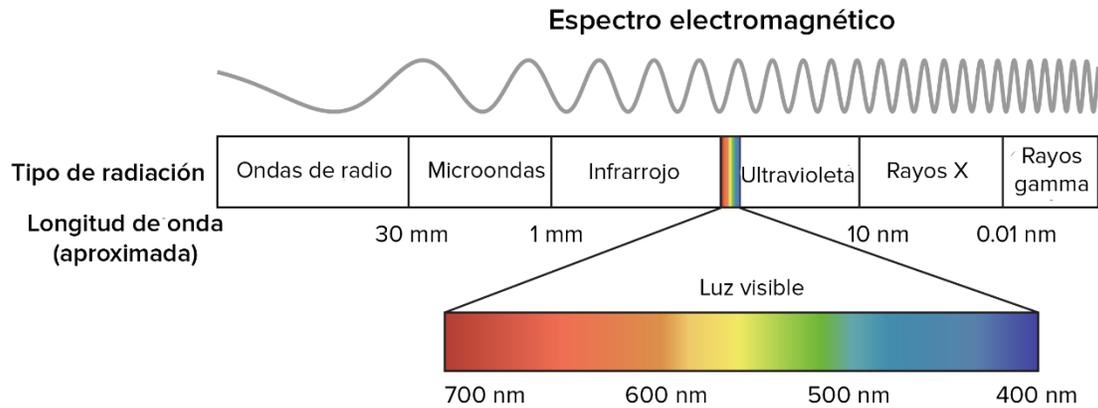


Figura 2.6. Espectro electromagnético de la radiación solar [Khan Academy, 2021].

La radiación solar se puede definir como “el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas que permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre (figura 2.7), y las cuales son de diferentes frecuencias y longitudes de onda, y no necesitan de un medio material para propagarse [González, 2017]. Por su interacción con la atmósfera, la radiación solar neta incidente sobre la superficie terrestre está integrada de diferentes componentes, tales como:

- A. Radiación difusa o dispersa: es la radiación que se recibe por dispersión atmosférica.
- B. Radiación directa: es la que se recibe sin ninguna dispersión.
- C. Radiación albedo: es la radiación reflejada por superficies u objetos, como el suelo, la pared, un lago, etc.
- D. Radiación global: es la suma de la radiación difusa más la directa.
- E. Radiación total: es la suma de la global más la del albedo.

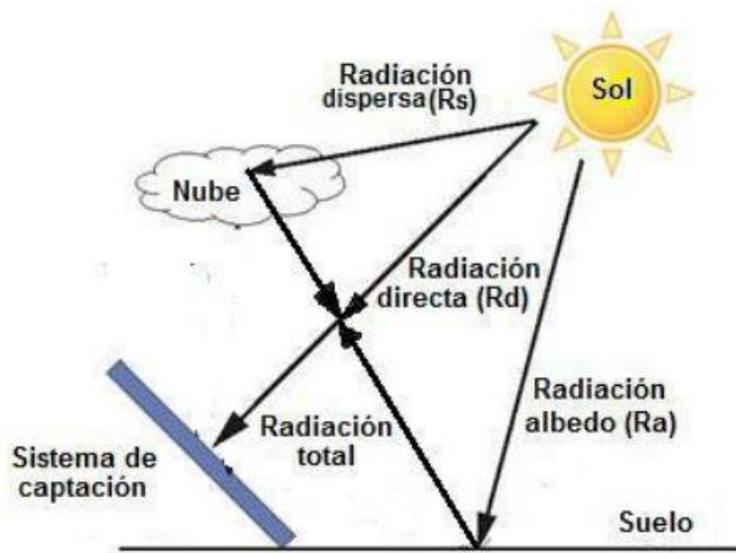


Figura. 2.7. Radiación recibida por una superficie [Sánchez y Muñoz 2017].

La relación entre la radiación difusa y la total, varía en función de la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente difusa y aumenta la componente albedo. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar. La posición óptima en el hemisferio norte, se obtiene cuando la superficie está orientada al Sur, esto maximiza la radiación solar captada durante el día, con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar. La radiación solar total que cae sobre una superficie es: $R_t = R_d + R_s + R_a$. Dónde: R_d es la radiación directa, R_s es la radiación difusa y R_a corresponde a la radiación de albedo [Sánchez y Muñoz 2017].

La radiación solar o irradiancia solar posee un valor medio de $1,353 \text{ W/m}^2$, conocido como constante solar (I_0). Y a nivel terrestre el valor varía de acuerdo al lugar, la hora, la época y las condiciones del cielo [Lorente, 2017]. Por ejemplo, en México el valor de la irradiancia cambia para cada estación del año, así como en los diferentes estados de la república. En invierno la irradiancia global presenta los valores más bajos en el norte del país: $2\text{-}2.5 \text{ kWh/m}^2$ día, y sobre la vertiente del Golfo de México por efecto de los sistemas frontales en esta época. Hacia el sur de la República estos valores aumentan ligeramente conforme disminuye la latitud, alcanzando temporalmente cifras elevadas de hasta $4.5\text{-}5 \text{ kWh/m}^2$ día en la región

que comprende los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos, Puebla y Chiapas. En la península de Yucatán se presentan cifras intermedias de 3.5-4.5 kWh/m² día [Tejeda, 2015].

Radiación UV

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación no ionizante que es emitida por el sol y fuentes artificiales.

En el espectro solar, las ondas de baja frecuencia tienen el nombre de “radiación Infrarroja” (más de 760 nm), la fuente primaria de la radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. Las ondas de alta frecuencia las llamamos “radiación ultravioleta” (menor de 380 nm), esta hace posible el proceso de bronceado de la piel.

La radiación UV, posee una longitud de onda entre los 400 nm (4×10^{-7} m) y los 15 nm (1.5×10^{-8} m). Su nombre se debe a que el rango de longitud en el que se encuentra la luz ultravioleta, está por encima de la luz violeta, siendo este último, el último color que el ojo humano percibe. En la figura 2.8, podemos observar el espectro de la luz solar con los rangos de frecuencia y longitud de onda que abarca.

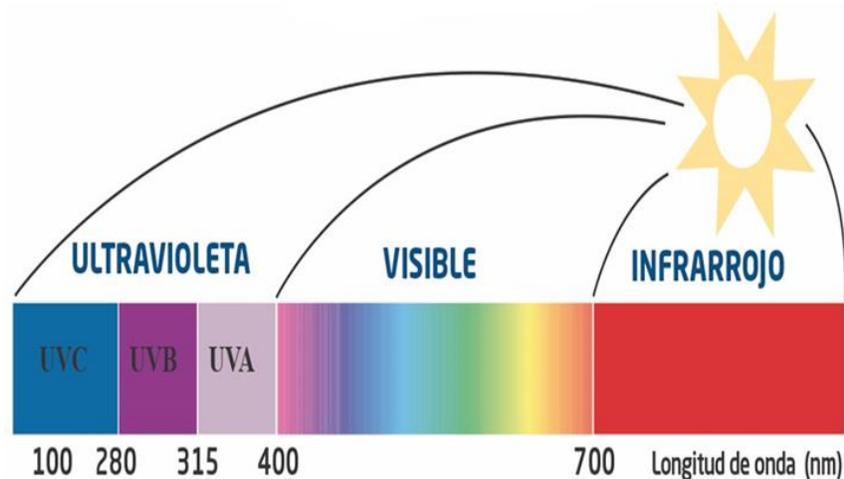


Figura 2.8. Espectro electromagnético solar extraterrestre [Flores, 2019].

La radiación UV puede dividirse en diferentes intervalos espectrales según el criterio utilizado. Desde un punto de vista astrofísico, la radiación solar UV puede ser: cercana (380 a 300 nm), media (300 a 200 nm), lejana (200 a 100 nm) y extrema (100 a 40 nm). Desde un punto de vista fotobiológico, la radiación UV se divide en tipo A (rango de 400 a 315 nm), tipo B (rango de 315 a 290 nm) y tipo C (radiación de longitud de onda menor de 290 nm) [Blanco, 2002].

Cuando la radiación solar alcanza la estratosfera, la capa de ozono absorbe toda la radiación menor de 200 nm. Posteriormente la atmósfera absorbe fuertemente radiación entre 200 y 300 nm, más débilmente entre 300 y 335 nm. Debido a ello, la radiación UV existente sobre la superficie terrestre es fundamentalmente de tipo A con una componente muy pequeña del tipo B y nada del C.

Del total de la energía asociada a la radiación solar, considerando el espectro estándar normalizado a 1000 W/m^2 , el 7.82 % de dicha radiación es debido a radiación UV (longitud de onda $\leq 400 \text{ nm}$); el 47.33 % corresponde a la luz visible, y el 44.85 % restante es debido a la radiación infrarroja (longitud de onda $\geq 700 \text{ nm}$) [Hulstrom et al., 1985].

La radiación solar UV, constituye una pequeña parte del espectro solar, representando un porcentaje que oscila entre el 3.5 % y el 8 % del total. Este porcentaje puede ser diferente para una misma ubicación en presencia o ausencia de nubes. La radiación UV aumenta, en promedio, un 6 % por cada km de altura sobre la superficie terrestre a la que únicamente llega la UVA (ultravioleta A) y una muy pequeña fracción de UVB (ultravioleta B). Entre ambas componentes existen fuertes oscilaciones estacionales ya que la UVB depende aún más de la masa de aire que la UVA. Otra diferencia entre ambas componentes es la componente difusa; en condiciones de cielo despejado la fracción difusa de la UVA es menor que la radiación UVB.

La radiación ultravioleta solo representa el 7 % del total de la radiación y es muy importante por los efectos que conlleva en los seres vivos y el medio ambiente

[AEM, 2019]. La radiación ultravioleta, puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas. El efecto germicida de energía radiante del sol fue reportado por primera vez por Downs y Blunt en 1878. La aplicación práctica de UV requirió sin embargo el desarrollo de la lámpara de vapor de mercurio como fuente de luz UV artificial en 1901. Los primeros intentos experimentales para usar UV como desinfectante de agua se hicieron en Marsella, Francia en 1910 [Wright 2011].

Los rayos UV, debido a la alta energía presente en su longitud de onda corta, hacen que los microorganismos en el agua presenten un cambio genético (ADN). Solsona (2002), menciona que solo los UVC son los encargados de generar dichas alteraciones en los patógenos, los cuales por no llegar a la superficie terrestre, son generados artificialmente, sin embargo otros estudios aseguran que, debido a que los microorganismos patógenos causantes de enfermedades y presentes en el agua no se adaptan a las condiciones ambientales ya que sus condiciones están dadas para las condiciones del tracto gastrointestinal humano, son muy sensibles a los UVA [EAWAG/SANDEC, 2002].

La desinfección con radiación UV, se ha venido utilizando en diferentes sistemas de abastecimiento de agua, debido a que no produce cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color [Parrotta 1998].

En el agua para consumo humano, la concentración de los sólidos en suspensión es generalmente inferior a 10 ppm, nivel al que empieza a experimentar problemas con la absorción de la luz ultravioleta. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UTN (unidad nefelométrica de turbidez) [Reiff, 1995].

La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo., pero puede destruir los microorganismos más comunes como coliformes, pseudomonas, etc. El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético o ADN de los

microorganismos y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios en el agua [Solsona 2001]. Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos, como se observa en la figura 2.9, donde la radiación UV es absorbida por nucleótidos, los bloques de construcción del DNA y RNA celulares en una manera dependiente de la longitud de onda [Sonntag 1992].

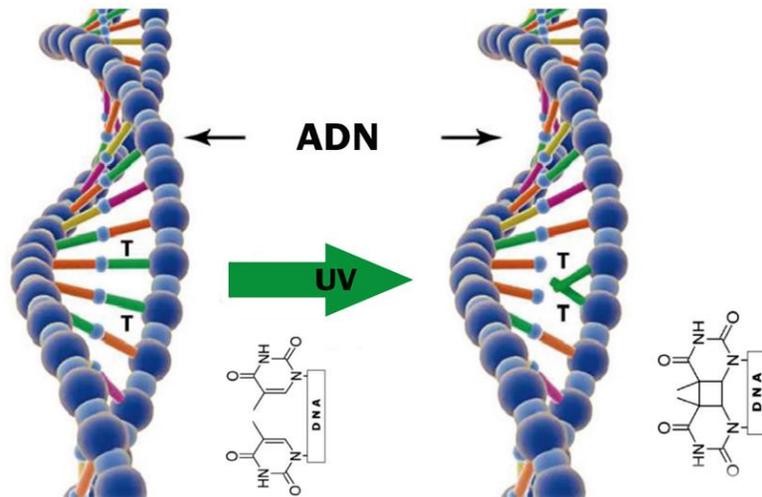


Figura 2.9. Inactivación del ADN [Edpilo, 2020].

La radiación UV absorbida promueve la formación de uniones entre nucleótidos adyacentes, creando moléculas dobles o dímeros [Jagger, 1967]. Mientras que la formación de dímeros de timina-timina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-timina, y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que éste duplique su ADN y ARN, impidiendo así su reproducción (figura 2.10).

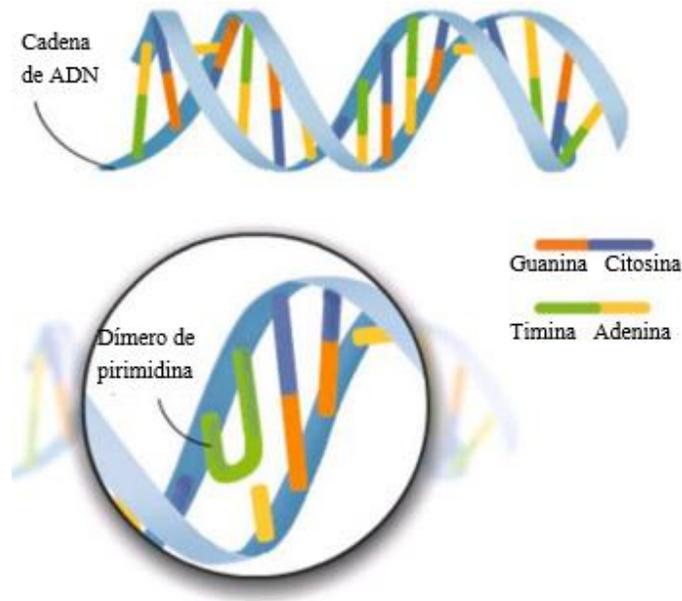


Figura 2.10. Formación de dímeros en el ADN [Martín, 2019].

Debido a la dependencia en la longitud de onda de la absorción UV del ADN, la inactivación UV de los microbios es también una función de la longitud de onda [Wright, 2011]. La figura 2.11, muestra la longitud de onda y como hace daño a la célula.

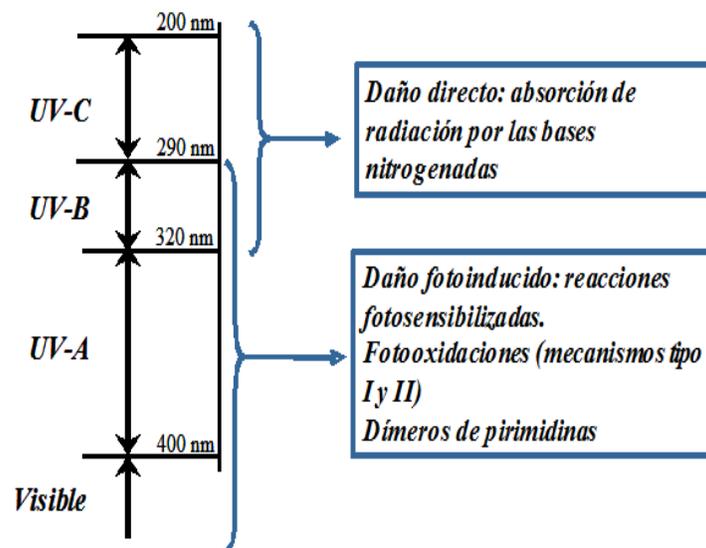


Figura 2.11. Radiación y daño al ADN [Ministerio de Salud, 2020].

Los rayos UVA con longitudes de onda cerca de la luz visible, no tienen la energía suficiente para modificar el ADN directamente, no obstante, en el agua pueden formar especies reactivas de oxígeno (ERO) como son oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$). Estos se producen por la excitación de fotosensibilizadores endógenos dentro de las células como porfirinas, flavonas, quinonas, NADH (Nicotinamida Adenina Dinucleótido) /NADPH (Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato), entre otros [Arias et al., 2017].

Una vez formados estas ERO pueden dañar el ADN, la oxidación de aminoácidos en proteínas, la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados en lípidos. Además, los fotosensibilizadores endógenos naturales (ácidos húmicos y clorofila) presentes en la superficie del agua pueden absorber la radiación solar, los cuales pueden reaccionar con oxígeno y producir ERO. Cuando el agua alcanza temperaturas mayores de $45\text{ }^\circ\text{C}$ se ha visto efecto sinérgico de los procesos de inactivación entre lo óptico y lo térmico, lo cual inhibe los mecanismos de reparación de ADN [McGuigan, 2012].

Muchos microbios que tienen un sistema metabólico funcional tienen varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleicos dañados. El mecanismo de reparación que es único a la desinfección UV es el de fotoreactivación. La fotodimerización de tiaminas adyacentes resultantes de la absorción UV de los ácidos nucleicos puede ser invertida por una enzima fotoreactivada que usa luz entre 300 y 500 nm para activar la partición del dímero [Jagger, 1967].

Otras transformaciones inducidas por UV en los ácidos nucleicos incluyendo dímeros que se componen de citosina no pueden ser reparados excepto por mecanismo de reparación obscuro en el cual segmentos enteros de ácido nucleico son extraídos y el segmento complementario sin dañar es usado como molde para reparar y reemplazar el segmento dañado.

Los virus no tienen mecanismos de reparación para invertir el daño creado por la luz UV. La habilidad de la bacteria y otros microbios para fotorepararse está

relacionada directamente a la extensión del daño UV, la exposición a la luz reactivadora entre 300 y 500 nm y al pH y temperatura del agua. Una relación inversa significativa ha sido reportada entre la dosis UV aplicada y la fotoreactivación de bacteria coliforme con menos reparación a dosis mayores [Lindenauer, 1994]. Debe ocurrir una exposición a luz entre 300 y 500 nm dentro de dos a tres horas para que pueda propiciarse el efecto fotoreparador [Grocock, 1984]. El tiempo de residencia dentro de un sistema de tratamiento de agua reducirá el potencial de fotoreparación.

No se ha llegado a un acuerdo universal acerca de la dosis UV mínima requerida para la reducción de patógenos ni tampoco se pretende que lo haya. Hay muchas consideraciones típicas del lugar que se deben considerar cuando se escoge la dosis UV considerada suficiente para desinfectar un suministro de agua potable a un nivel considerado aceptable [Regli et al., 1991].

Existen muchos factores por considerar, incluyendo la calidad de agua de la fuente, el nivel de contaminación microbiana, el impacto sobre los procesos de tratamiento de agua localizados antes de la unidad de desinfección UV, la información epidemiológica correlacionando poblaciones microbianas con la ocurrencia de enfermedades, y el objetivo de riesgo considerado aceptable para proteger al público de enfermedades encontradas en el agua [Wright, 2011]).

La luz ultravioleta tiene la capacidad de tratar el agua sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua tratada. No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua, por lo que no hay riesgos de formación de subproductos y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada [Wright, 2011]).

Energía solar térmica

Se entiende por energía solar térmica, a la transformación de la energía radiante solar en calor. Este tipo de energía solar usa directamente la energía que recibimos

del sol, la aprovecha en forma de calor y se puede usar directamente para producir electricidad.

Los sistemas solares térmicos se clasifican en planos, de concentración o enfoque. Los sistemas solares planos, o colectores solares planos, son dispositivos que se calientan al ser expuestos a la radiación solar y que transmiten el calor a un fluido. Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C.

El principio básico general de todos los sistemas solares de concentración es muy simple y consiste en concentrar la luz solar mediante dispositivos especialmente diseñados que permiten alcanzar altas temperaturas [Kalogirou, 2009].

2.4.2 Energía solar en el mundo

La conversión de energía solar se utiliza ampliamente para generar calor y producir electricidad. Un estudio comparativo sobre el consumo mundial de energía lanzado por la Agencia Internacional de Energía (IEA) muestra que, en 2050, las instalaciones de paneles solares suministrarán alrededor del 45 % de la demanda de energía en el mundo y se encontró que la energía solar térmica es cada vez notable popularidad en aplicaciones industriales [Mekhilef, 2011]. La figura 2.12, muestra el consumo de energía en el mundo, donde se observa en colores oscuros los países que más la consumen.

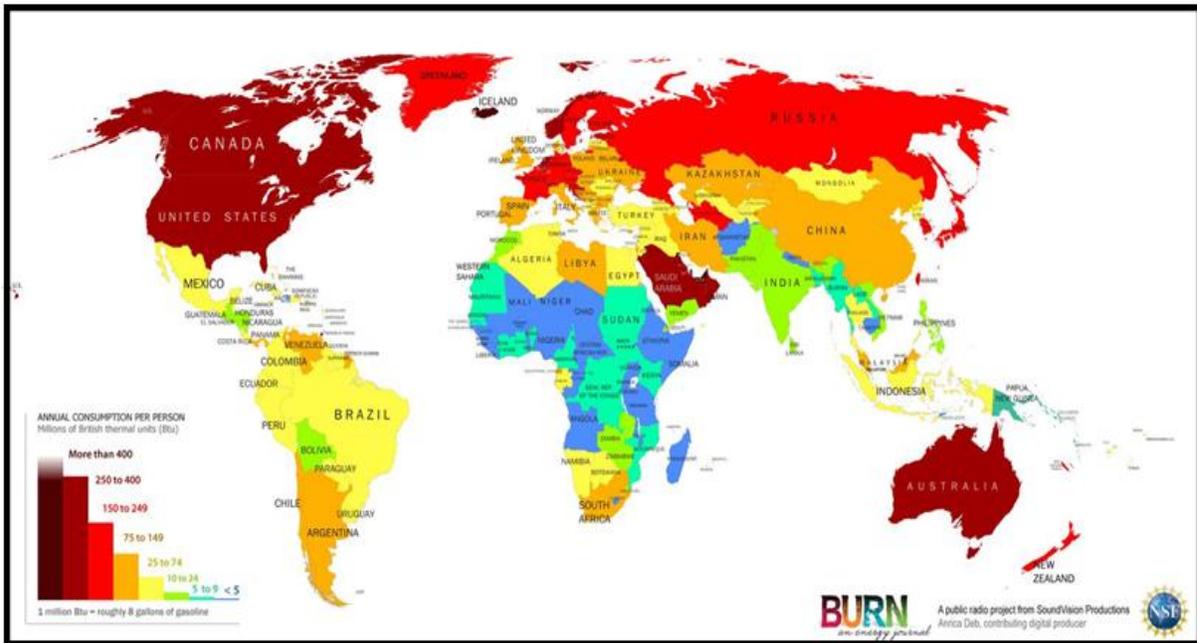


Figura 2.12. Consumo de energía en el mundo [Modificada de BURN 2010].

En un informe publicado en 2004 titulado "Generación Solar" elaborado por Greenpeace, establecía que con un índice de crecimiento del 15 % entre 2020 y 2040, la producción de energía solar podría ser superior a 9000 TWh, lo que representaría un 26 % de la demanda mundial prevista [Greenpeace, 2017].

Dos de las principales tecnologías de energía solar de concentración son los espejos cilíndricos-parabólicos, que utilizan filas de espejos curvos para accionar turbinas de vapor convencionales, y los sistemas de motor de disco Stirling, que presentan una forma similar a grandes discos parabólicos y están cubiertos de espejos curvos que calientan el hidrógeno líquido para accionar los pistones de un motor Stirling. Los análisis del ciclo biológico de las emisiones producidas, junto con los impactos de los sistemas de energía solar de concentración en el terreno, demuestran que son óptimos para reducir los gases de efecto invernadero y otras sustancias contaminantes, sin crear otros riesgos ni contaminación medioambiental.

De acuerdo con la Federación Europea de la Industria Solar Térmica, 1 MWh de capacidad de energía solar térmica instalada permite ahorrar 600 kilogramos de CO₂. La tasa de retorno energético de los sistemas de energía solar de

concentración es de cinco meses aproximadamente, una cifra muy atractiva teniendo en cuenta que su vida útil es de 25 a 30 años [ONU, 2020].

México es muy rico en fuentes de energía renovables (solar, eólica, biomasa, energía hidroeléctrica y geotérmica). Sin embargo, el potencial de este tipo de energía no se ha explotado completamente. La energía solar tiene un gran potencial debido a la ubicación ideal de México en el llamado Cinturón Solar como lo muestra la figura 2.13.

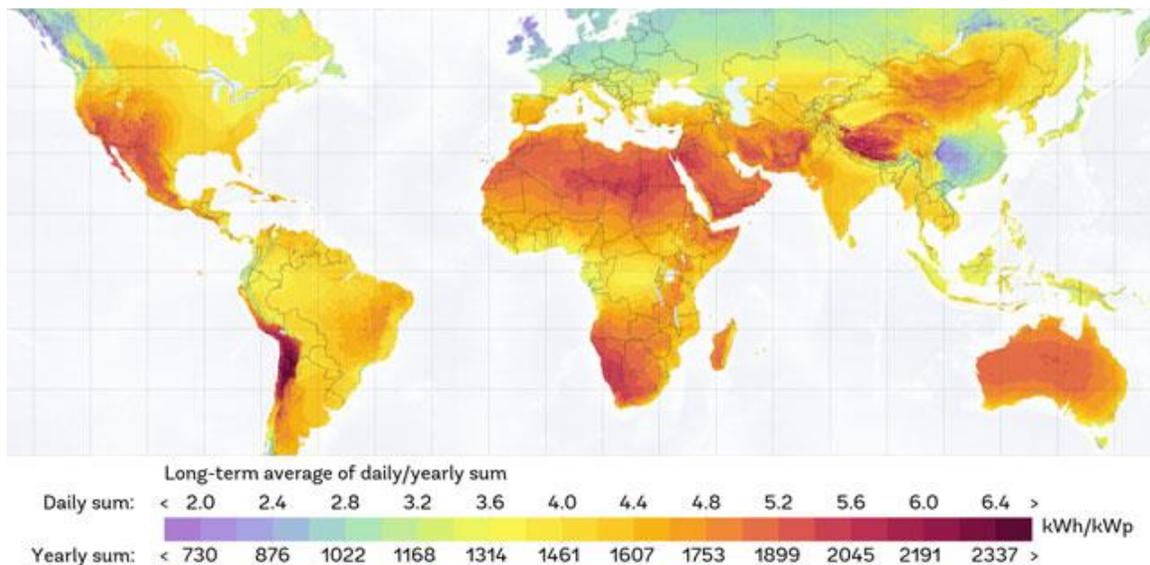


Figura 2.13. Radiación solar anual del mundo [Global Solar Atlas, 2018].

Es fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país. La capacidad del Sol y la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial, por su promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a 6.3 kWh/m² por día en el norte del país (figura 2.14) [Ballestrín, 2012].

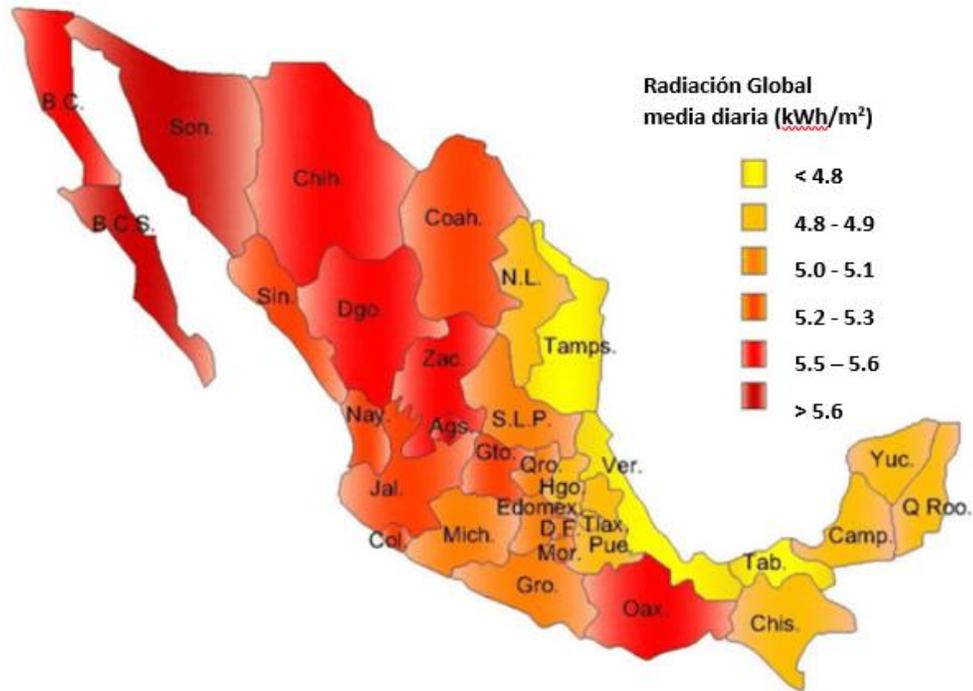


Figura 2.14. Radiación global media en México [Reve, 2015].

La energía que ofrece el sol en forma de luz y calor hoy puede ser transformada gracias a los avances tecnológicos, reduciendo el consumo de energía eléctrica y consumo de energéticos tradicionales sino porque contribuye al bien común, mejorando la calidad del aire, la rentabilidad macroeconómica y colaborando en la generación de empleos y riqueza a través de diversas oportunidades de negocio [FUMEC, 2018].

2.4.3 Desarrollo histórico y aplicaciones de energía solar

Se tienen registros que la energía solar, ha sido utilizada desde tiempos antiguos, en la tabla 2.1, se muestra la parte de la historia de la utilización de la energía solar, desde los antiguos Romanos hasta llegar a la desinfección SODIS [Echeverría, 2011; Medina, 2010; Anderson, 1977].

Tabla 2.1. Desarrollo histórico de la energía solar

AÑO	UTILIDAD
212 a.C	En Grecia, Arquímedes utilizó "un cristal ardiente" para concentrar la luz del sol, en la flota Romana invasora y expulsarlos de Siracusa
601 d.C.	Las sacerdotisas romanas prendían fuego con espejos cónicos
77 d.C.	Los romanos usaban lentes para prender fuego y cauterizar heridas
1601	Von Tschirnhus construye lentes para derretir metales
1747	Buffon prende fuego a celdas de madera con un sistema de 168 espejos planos
1800	Conversión de la energía solar giró alrededor de la generación de vapor
1866	Auguste Mouchout uso una artesa parabólica para producir vapor para el primer motor solar de vapor
1870	Se construye una máquina con un concentrador de canal parabólico
1886	Alejandro Battaglia obtuvo la primera patente para un Colector Solar, en Génova, Italia
1900	Se desarrollan patentes para calentadores solares de agua domésticos durante los años 30 y 40
1904	Un sacerdote portugués, el padre Himalaya, construyó un gran horno solar
1912	Shuman construyó una planta de canal parabólico de para bombear agua en Egipto
1966	El concentrador parabólico compuesto (CPC) fue desarrollado simultáneamente en Estados Unidos por Hinterberger y Winston, en la URSS por Baranov y Melnikov, en Alemania por Ploke.
1968	Giovanni Francia, construyó la primera planta solar de concentración con un receptor solar en el centro. Entró en operación en Santilario, Italia
1976	Rabl analizó las propiedades ópticas y térmicas del CPC y realizó la descripción paramétrica del CPC en 2D en coordenadas cartesianas
1981	Se desarrolló una planta de energía solar con concentración del tipo torre, la "Solar One", de 10 MW, en California del Sur, Estado Unidos
1985	El profesor Aftim Acra de la American University de Beirut, inicia la investigación sobre la desinfección solar del agua
1991	Un equipo EAWAG/SANDEC inició pruebas de laboratorio y campo para evaluar el potencial de SODIS

2.5 EL AGUA

2.5.1 Generalidades del agua

Aproximadamente el 70 % de la superficie del globo terraqueo está cubierta de agua, 97 % son mares u océanos y 3 % de ella es agua dulce. Esta agua dulce se presenta en diversas formas: 2.6 % en forma de hielos polares y sólo un 0.4 % se encuentra fácilmente disponible en ríos, lagos y pozos [IEEE, 2017]. La figura 2.15, muestra la distribución del agua en la tierra:

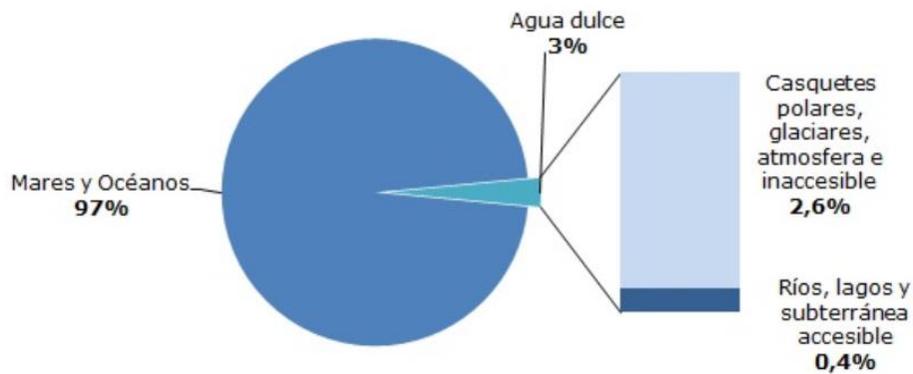


Figura 2.15. Gráfico distribución del agua en la Tierra [Matías, 2020].

El agua es un recurso vital, sin embargo, la falta de saneamiento y de acceso al agua potable afectan a la tercera parte de la humanidad del planeta [Yang, 2012].

Para poder ser consumida, el agua debe ser transparente, no debe contener restos de tierra o fango y no debe estar contaminada. La contaminación del agua puede tener diversos orígenes: sustancias químicas como sales, metales pesados, minerales; sustancias de origen agrícola y humano como fertilizantes, pesticidas, herbicidas, excrementos y heces. El agua también puede contaminarse con bacterias y larvas. Por ello, el agua puede convertirse en un vector de numerosas enfermedades como la poliomielitis, la fiebre tifoidea, la disentería o el cólera. La inaccesibilidad y escasez de agua potable es una de las causas más importantes

de mortalidad en algunos países en desarrollo, donde menos del 50 % de la población tiene acceso a fuentes seguras de agua potable. Las enfermedades relacionadas con la calidad del agua matan a unos 13 millones de personas al año, de los cuales cinco millones son niños que mueren de disentería. En los países de clima caliente, donde la temperatura favorece el crecimiento de gérmenes y bacterias, se recomienda siempre hervir el agua antes de beberla y cocinar o lavar los alimentos con agua hervida. Hervir el agua elimina, mata bacterias y gérmenes, volviéndola potable [UNESCO, 2018].

En la actualidad hay una fuerte coincidencia en reconocer que nos encontramos en una grave crisis ambiental. Desde mediados de los años setenta del siglo pasado, comenzaron a emitirse los primeros signos de alerta sobre las implicaciones ecológicas que tenía el crecimiento demográfico y urbano, así como la persistencia de un modelo de producción basado en un exorbitante consumo de recursos naturales. Por otro lado, la identificación del cambio climático originado por la emisión de gases de efecto invernadero que naturalmente no se pueden procesar y el cambio de uso de suelo, ha creado una situación mucho más preocupante, la cual requiere de un atención decidida y coordinada de todos los países del mundo [Molina, 2017].

En México y en el mundo, uno de los problemas más importantes que existen, el cual estamos enfrentando desde mucho tiempo atrás es la escasez de agua potable. La esencia de la escasez mundial de agua es el desajuste geográfico y temporal entre la demanda y la disponibilidad de agua dulce.

Un estudio realizado en 2016 menciona que, dos tercios de la población mundial (4 mil millones de personas) viven en condiciones de grave escasez de agua al menos 1 mes al año y 500 millones de personas en el mundo se enfrentan a una grave escasez de agua durante todo el año [Mekonnen y Hoekstra, 2016]. En la figura 2.16, se muestra el número de meses en los cuales la escasez de agua es mayor al 100 %.

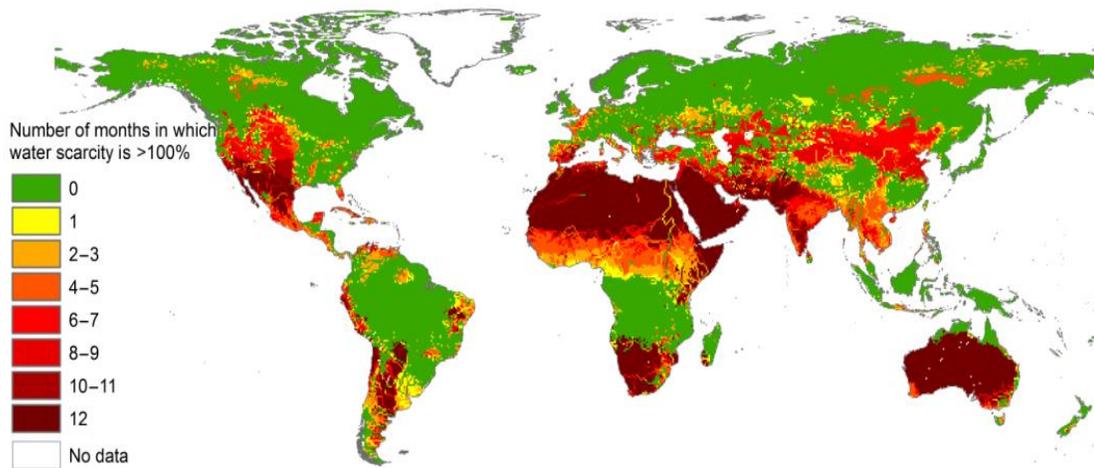


Figura 2.16. Número de meses donde la escasez de agua es mayor al 100 %
[Mekonnen y Hoekstra, 2016].

2.5.2 El agua en México

En México existe una sólida y amplia red de investigadores sobre temas hídricos, la cual aborda los problemas de cantidad y calidad del agua desde varias disciplinas científicas. Este interés ha permitido generar diagnósticos e información útil que pueden ser aprovechados por las instancias correspondientes para la toma de decisiones orientadas a un manejo sostenible del recurso, así como la conservación y la rehabilitación de diferentes ecosistemas acuáticos.

La contaminación y la desigualdad en la distribución del recurso son problemas acuciantes que suelen afectar a la población más desfavorecida del país como son grupos indígenas y grupos en situación de pobreza. Dentro de ellos, son más evidentes las consecuencias en mujeres y niños.

El marco jurídico vigente para la administración del agua en nuestro país data de 1992 con la publicación de la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Previamente, en 1989 se habían instalado las bases institucionales para las políticas hídricas en México con la creación de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), acción con

la cual se recuperaba la autonomía del sector hidráulico dentro del ecosistema institucional del gobierno mexicano [González Reynoso, 2019].

México dispone aproximadamente del 0.1 % del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio está catalogado como zona semidesértica. México recibe alrededor de 1,489 mil millones de metros cúbicos al año de agua en forma de precipitación, de los cuales el 67 % cae entre junio y septiembre, sobre todo en la región sur-sureste, donde se recibe 49.6 % de la lluvia. De este total 73 % se evapotranspira y regresa a la atmósfera, 22 % escurre por los ríos o arroyos y 6 % se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos [CONAGUA, 2015].

En cuanto a la distribución espacial del recurso se observa que, en general, las cuencas situadas en el centro y norte del territorio tienen una baja disponibilidad natural de agua porque la precipitación media anual de estas regiones es menor a 500 mm, la figura 2.17, muestra la disponibilidad natural media de agua.



Figura 2.17. Disponibilidad anual media de agua en México [Cotler, 2010].

Un aspecto importante a considerar en la disponibilidad de agua es el incremento de la población y su concentración en zonas urbanas. Según estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre 2012 y 2030 la población del país se incrementará en 20.4 millones de personas. Además, para 2030, aproximadamente el 75 % de la población estará en localidades urbanas. El incremento de la población ocasionará la disminución del agua renovable *per cápita* a nivel nacional (FCEA, 2020).

En México, las aguas superficiales que escurren por ríos y arroyos o que se almacenan en lagos, lagunas y humedales representan el 82 % del agua renovable total del país; el resto del agua se encuentra en formaciones subterráneas. Lamentablemente, una gran proporción de las fuentes superficiales de agua tienen una calidad deficiente debido a las descargas de aguas residuales sin tratamiento que se hacen, esto sí, de manera bastante uniforme en todo el país [Cotler, 2010].

A finales del año 2017, más de 70 % de los cuerpos de agua del país presentaba algún indicio de contaminación [CONAGUA, 2019].

2.5.3 Contaminación de agua

El agua es, para el hombre, el principal vector de transmisión de enfermedades y, como consecuencia, la calidad del agua es un bien de absoluta primera necesidad [Reiff, 1996].

Cuando en el agua se encuentran sustancias ajenas a composición normal, se dice que esta agua está contaminada. Existen distintos tipos de contaminación:

- Por agentes físicos: Causada por cualquier componente de origen físico como árboles, ramas, suelo y otros.

- Por agentes químicos: Agregados artificialmente al agua, como residuos industriales arrojados a ríos o mares.
- Por agentes biológicos: Como bacterias o pequeños microorganismos que viven en el agua.

En términos generales, el agua está contaminada naturalmente por agentes físicos, químicos y biológicos, en cambio la contaminación química se debe al ser humano. Sustancias contaminantes como metales pesados y sustancias orgánicas provenientes de diferentes actividades humanas, se transfieren de un organismo a otro en la cadena alimentaria. El proceso ocasiona serias alteraciones al medio [Díaz, 2017].

En los últimos años se han estudiado los efectos en la salud ocasionados por el agua sin tratamiento y esto se hace desde lo público para garantizar condiciones de vida. Sin embargo, las coberturas de servicio de agua potable aún son insuficientes en muchas regiones del mundo.

En los países de América Latina existen limitaciones de cobertura para la prestación del servicio de agua potable, y a pesar de que se inviertan grandes sumas de dinero en tecnologías y estructuras para ampliar el servicio, no necesariamente se garantiza la buena calidad, pues no todas las soluciones van de acuerdo con las necesidades o condiciones de cada población [Hegewisch, 2009; Castrillon, 2012].

De acuerdo a la OMS [2019], las enfermedades infecciosas intestinales continúan siendo una de las mayores causas de muerte a nivel mundial, ocupan el sexto lugar con 1.5 millones de muertes en 2019. Las infecciones gastrointestinales son un problema de salud pública especialmente en la población infantil y preescolar de los países en vías de desarrollo. En la figura 2.18, se observan las causas más frecuentes de muerte en los países en vías de desarrollo.

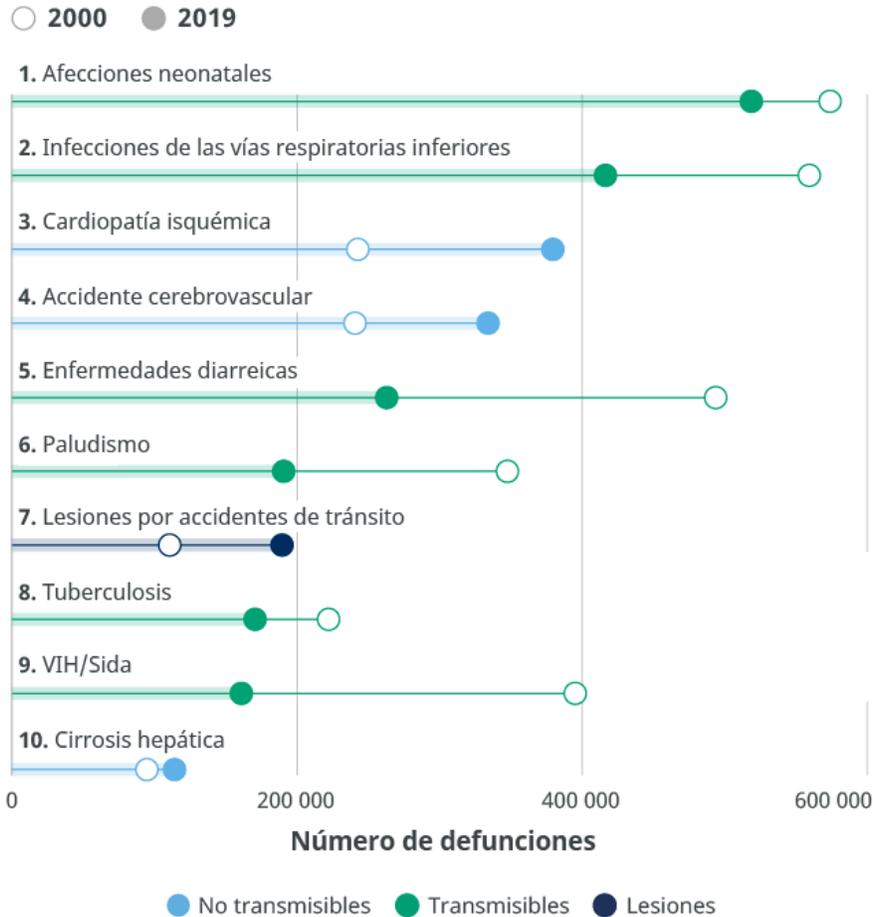


Figura 2.18. Principales causas de defunción [OMS-WHO, 2020].

En México el INEGI [2020], estima que la tasa de mortalidad por enfermedades infecciosas intestinales para niños menores de cinco años es de 33.3 por cada 100,000 habitantes. Uno de los principales problemas que conlleva un agua sucia es sin duda la cuestión de las enfermedades que de ella pueden emanar o transmitirse. Dichas enfermedades son causadas por la contaminación natural o artificial. El origen principal de estos organismos son las heces fecales de los animales mamíferos de sangre caliente y los humanos, los cuales se incorporan a las aguas dulces mediante efluentes, escorrentías y lixiviados [González, 2017].

Las principales enfermedades transmitidas por el agua son: disentería amebiana, disentería bacilar, enfermedades diarreicas, cólera, hepatitis A, fiebre tifoidea, paratifoidea y poliomielitis [Estébanez, 2008; González, 2017], como se observa en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Principales enfermedades transmitidas por el agua

ENFERMEDADES	CAUSA Y VÍA DE TRANSMISIÓN	EXTENSIÓN GEOGRÁFICA
Disentería amebiana	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo
Disentería bacilar	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo
Enfermedades diarreicas (inclusive la disentería amebiana y bacilar)	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	Sudamérica, África y Asia
Hepatitis A	El virus pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	Todo el mundo
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	80 % en Asia, 20 % en América Latina y África
Poliomielitis	El virus pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminado, por contacto de una persona con otra	66 % en la India, 34 % en el cercano Oriente

Si se quisiera detectar todos los patógenos presentes en el agua, sería costoso y poco práctico, es por eso que se utiliza un indicador de contaminación fecal ya que estos organismos están presentes siempre en las heces y son indicativos de contaminación fecal. El indicador que se utiliza para la calidad bacteriológica en el agua son los coliformes. Estos pueden encontrarse en ambientes acuáticos, suelo y vegetación; además de estar presentes en grandes cantidades en las heces de los humanos, animales de sangre caliente y en el suelo. Los coliformes son

bacterias de forma bacilar, gram negativas, aerobias facultativas. La presencia de coliformes en el agua es considerada como contaminación y se relaciona con organismos patógenos [Estébanez, 2008; González, 2017].

2.5.4 Tecnologías solares para desinfección agua

Potabilizar el agua con energía del sol es una alternativa que muchas comunidades han implementado desde la antigüedad, y para ello utilizan el principio de transformación del agua en la naturaleza -ciclo del agua- [Díez, 2007; Restrepo 2007], aplicándolo a sistemas pequeños donde se aprovechan cambios de temperatura para hacer cambiar el agua de fase y limpiarla de sus contaminantes [Madrid, 2009].

Existen diversos tipos de colectores solares y difieren entre sí en la capacidad de transferir calor a un fluido, es decir, dependiendo de su sistema de captación se puede llevar un fluido a diferentes temperaturas [Fernández, 2008].

Algunos tipos de colectores solares para potabilización son: cajas de efecto invernadero, colectores de placa plana y concentradores solares. Este proceso se puede entender como el ciclo del agua, en una escala reducida [UPME, 2007; Perales, 2008].

Los colectores de placa plana tienen un área de captación expuesta al sol de color negro para absorber la radiación, encerrada en una caja de vidrio para evitar que el calor se pierda por el enfriamiento del aire en el ambiente. [Castrillon, 2012]. En la zona de captación hay un serpentín de tubos de cobre también de color negro que absorben calor y lo transfieren a un fluido que circula por ellos, esta temperatura debe ser suficiente para eliminar las bacterias o sustancias que se encuentran disueltas en él [Ibáñez 2005].

Los concentradores solares utilizan principios ópticos de refracción y/o reflexión para concentrar la radiación solar sobre una zona específica comúnmente llamada

foco, donde se puede transferir la energía radiante del sol al fluido, hasta hacer cambiar el líquido de fase o para descontaminarlo [Díez, 2007].

Un colector concentrador tiene la capacidad de elevar a mayores temperaturas el agua. Existen diferentes tecnologías solares que se aplican dependiendo del contaminante, que se quiera eliminar del agua, es la temperatura que se requerirá [Celada 1993; Perales, 2008]. En la tabla 2.3, se muestran las temperaturas que se requieren para eliminar ciertos contaminantes del agua.

Tabla 2.3. Temperatura a la que se eliminan algunos contaminantes

CONTAMINANTES	TEMPERATURA	PRESIÓN	OBSERVACIONES
Bacterias	Entre 40 °C Y 100 °C	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero
Algas, protozoarios y hongos	Entre 40 °C Y 100 °C	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero o de placa plana
Turbiedad, bacterias, algas, protozoarios y hongos	Por encima de 100 °C hasta evaporar	Atmosférica	Potabilizadores de placa plana, concentradores de alta transferencia
Microorganismos	Mantener a 100 °C durante 5 o 10 min.	Atmosférica	Potabilizadores de efecto invernadero placa plana
Metales pesados y contaminantes químicos peligrosos	No se eliminan solo con el aumento de temperatura	A presiones más bajas que la atmosférica	Sistemas de osmosis inversa y filtrado por membranas

Captadores solares

En los captadores solares, la concentración solar se logra mediante dispositivos ópticos que reflejan la radiación y la concentran sobre un absorbedor de área mucho menor que la de su apertura [Almanza, 1994].

Los colectores son dispositivos que recogen y concentran la luz solar para producir las altas temperaturas que se requieren en los procesos de calentamiento y de generación de electricidad, ya que están diseñados para capturar la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica. En la figura 2.19, se muestran los diferentes tipos de colectores solares.

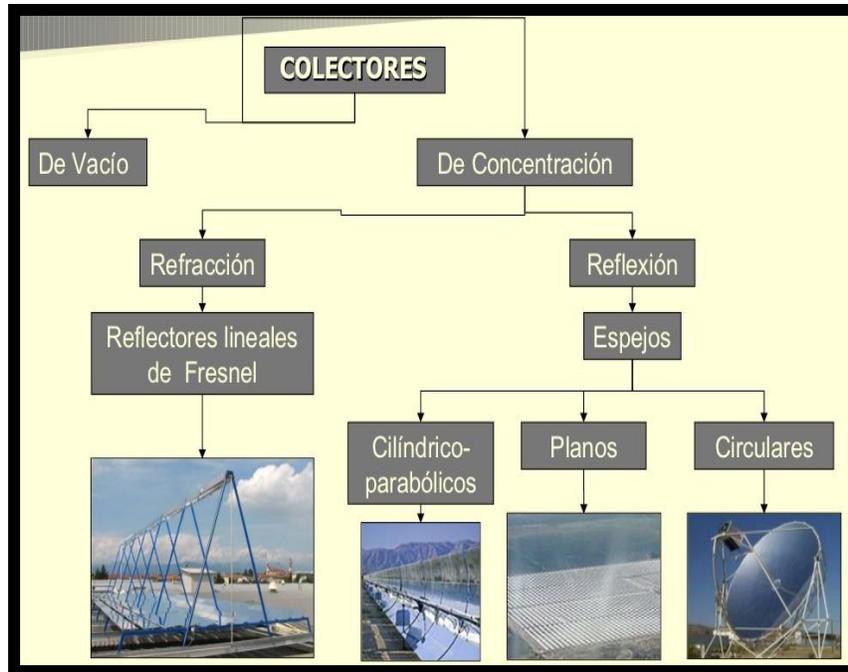


Figura 2.19. Tipos de captadores solares [Concheiro, 1985].

Los colectores pueden ser de varios tipos:

- De baja temperatura: Para cuando es necesario un calor de 65 °C o menos.
- De media temperatura: Si el calor necesario está entre 100 °C y 300 °C.
- De alta temperatura: Cuando precisamos una gran cantidad de calor, superior a 500 °C. De hecho, se pueden alcanzar temperaturas de más de 1000 °C [Energya, 2018].

La siguiente figura 2.20, muestra los diferentes tipos de captadores solares y la temperatura que alcanzan, además de los diferentes usos que tienen.

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

Figura 2.20. Clasificación de captadores Solares y su temperatura [Quinteros, 2008].

De acuerdo con el tipo de concentración, los captadores solares pueden ser:

a) De imagen. Sistemas en el que el foco de la superficie reflectora está definido como una superposición de imágenes del sol, como se muestran en la figura 2.21 y 2.22 [Medina, 2010].

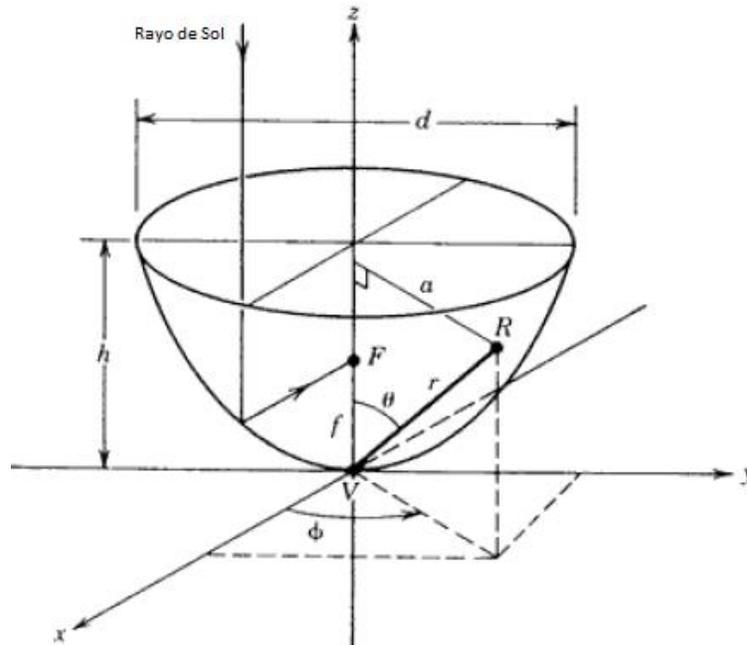


Figura 2.21. Concentrador de foco puntual: como son casquetes hemisféricos, paraboloides, fresnal, etc.

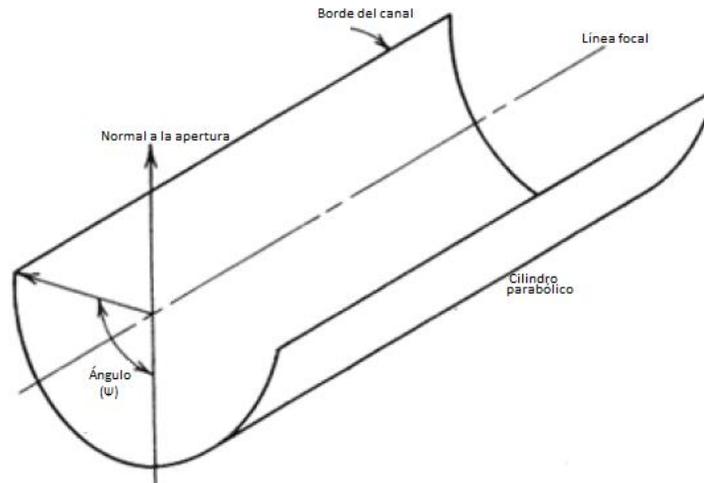


Figura 2.22. Foco lineal: como los cilindros parabólicos, cónicos, etc.

b) De no imagen. En estas superficies reflectoras, los rayos reflejados no convergen hacia su foco, como los CPC puntuales y CPC lineales, como lo muestra la figura 2.23.

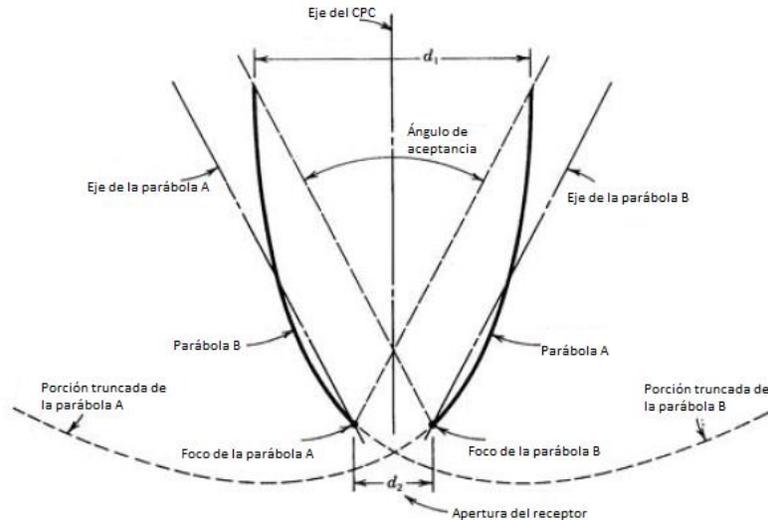


Figura 2.23. Concentrador sin imagen [Medina, 2010].

Las partes que conforman a un captador solar de tipo CPC son:

- a) Superficie Reflectora: Tiene la función de reflejar los rayos luminosos y producto de su forma geométrica, producir su concentración en una zona denominada mancha focal, donde se coloca la superficie del receptor [Medina, 2010].
- b) Absorbente o receptor: Es el segundo elemento esencial del sistema de concentración, cuyo objetivo es absorber con las menores pérdidas posibles la energía que la superficie reflectora ha concentrado en su área.
- e) Columna Soportante: El sistema debe ser soportado firme y de manera estable, para lo cual se necesitan estructuras como columnas que soportan el CPC.

2.5.5 Desinfección de agua

La desinfección es un proceso de oxidación que conlleva a la eliminación, la desactivación o eliminación de microorganismos presentes en el agua, sean o no patógenos. La acción de los desinfectantes se puede explicar mediante cuatro mecanismos: Daño a la pared celular, alteración de la permeabilidad de las células, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma, inhibición de la actividad

enzimática [CONAGUA, 2016]. En la desinfección del agua, la meta es destruir o al menos inactivar a los organismos patógenos, con el objeto de prevenir epidemias de infecciones gastrointestinales como cólera, tifoidea, disentería, entre otras.

La desinfección constituye la etapa final de todo tratamiento del agua. Su práctica es aceptada en todo el mundo, y aunque la cloración es el método dominante, algunos países como Francia (desde 1910), Alemania y Canadá prefieren la desinfección con ozono. Además, también son empleadas otras opciones como la luz ultravioleta (UV), el yodo y la radiación gamma [CONAGUA, 2016].

Prácticamente en el siglo XX, los únicos tratamientos de purificación de aguas que se utilizaron fueron la floculación química, la filtración en medio granular y la cloración. El cloro es el producto químico más comúnmente utilizado para la desinfección de agua debido a su habilidad para inactivar bacterias y virus [Troyan, 1989]. Sin embargo, en los últimos 20 años hemos asistido a un cambio radical en la industria del agua, que ha comenzado a considerar otros tratamientos alternativos (“avanzados”) a los tradicionalmente utilizados [Najm y Trussell, 2000]. Una de las razones para ello es el hecho de que, últimamente, se ha puesto de manifiesto que el cloro, en presencia de impurezas orgánicas en el agua, puede generar sub-productos no deseados de desinfección, tales como trihalometanos y otros compuestos cancerígenos [Rincón, 2001].

Existen otras tecnologías como la filtración con membrana (micro, ultra, nanofiltración y ósmosis inversa) se emplean cada vez más, aún a expensas de un coste significativo. El ozono (con o sin peróxido de hidrógeno o luz UV adicionales) y otros tratamientos avanzados de oxidación que se basan en la generación de radicales $\bullet\text{OH}$, pueden presentar problemas de toxicidad en la operación, coste elevado, optimización de diseño.

Por otra parte, es bien conocida la capacidad de desinfección de la radiación UV, lo que resulta de gran interés para la potabilización de agua. Se ha observado cómo la acción conjunta de la radiación ultravioleta y las sustancias húmicas modifica la composición química del agua (acidez, densidad de carga, entre otras) además de

inhibir la formación de algas [Gjessing, 1991]. Estos efectos son atribuidos a reacciones con radicales libres, iniciadas por la fotosensibilización de las sustancias húmicas.

Es importante diseñar proyectos de abastecimiento de agua potable que tengan en cuenta a la comunidad y sus posibilidades, esto en cuanto a capacidad de pago, de operación y mantenimiento de las tecnologías. Igualmente, estos proyectos se deben realizar tomando en consideración las necesidades reales y particulares de cada población, como lo son la desinfección de agua solar, por medio de CPCs.

La desinfección es considerada como el principal mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios aguas abajo como al ambiente. Es muy importante que el agua residual sea tratada adecuadamente antes de realizar las actividades de desinfección para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz [EPA, 1999].

La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Para cualquier planta de tratamiento, el éxito de las actividades de desinfección está directamente relacionado con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual [EPA, 1999].

2.6 MÉTODO SODIS

El método SODIS, se llama así por sus siglas en inglés y significa desinfección solar del agua, es un tratamiento de desinfección donde se utilizan botellas transparentes llenas del agua a tratar y se exponen al sol. Esta radiación solar actúa sobre los agentes patógenos inactivándolos mediante los rayos UV e infrarrojos, ya que elevan la temperatura del agua.

El método SODIS es un tratamiento económico (se utilizan recipientes transparentes como botellas de PET), sin riesgos para el ambiente y socialmente adecuado, ya que sólo requiere la energía solar que incide en la superficie de la tierra [Bermudes, 2015]. En el año de 1991 se iniciaron los experimentos en laboratorio para evaluar el potencial de dicho método, posteriormente y una vez demostrado su efectividad por la intervención de los rayos UVA y la elevación de la temperatura derivada de los rayos infrarrojos, que provocan la inactivación de los microorganismos demostrado y comprobado en campo, se llevó a cabo la implementación de proyectos para identificar la efectividad de la adopción sociocultural y económica de la gente [EAWAG/SANDEC, 2002].

Este método se ha investigado durante muchos años en varias partes del mundo, dando como resultado la inactivación y disminución de diferentes tipos de colonias de patógenos, además, se ha mostrado que superando los 50 °C en el agua las bacterias y demás patógenos son eliminados [Claire, 2006].

A pesar de que el sistema SODIS es efectivo, el tiempo que requiere para una desinfección adecuada es mucho, en promedio 6 horas con cielo despejado o hasta 50 % con cielo cubierto/nuboso, o dos días consecutivos con cielo nuboso 100 %, además este método no puede usarse con agua muy turbia, mayor a 30 UNT [EAWAG/SANDEC 2017]. Por lo anterior es necesario utilizar dispositivos que aceleren o incrementen la eficiencia del sistema. Dispositivos como los hornos solares han demostrado que después de 60 minutos se alcanza una temperatura superior a los 60 °C, y que indistintamente de la época del año después de 120 minutos de exposición al sol, se obtiene una desinfección total [Robles, et al, 2007]. También los colectores solares tipo parabólico compuesto, parabólico y ranura en V, tienen resultados muy favorables en materia experimental (figura 2.24), los colectores tipo V tienen un 27 % más eficiencia que los colectores tipo parabólico compuesto y parabólico [McLoughlin et al, 2004].

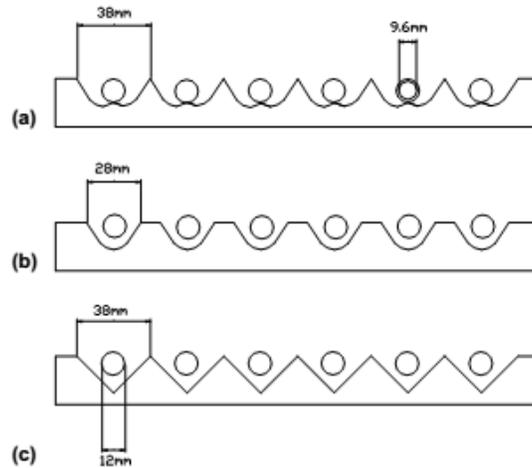


Figura 2.24. (a) colector parabólico compuesto, (b) parabólico, (c) ranura en V [McLoughlin 2004].

Lo mismo ha sido demostrado con dispositivos sencillos y con radiación de 700 W/m^2 , aumentando la eficiencia en un 2.25 veces [IMTA, 2002]. Pero lo importante no es solo enfocarse en dispositivos que aumentan la temperatura, sino en dispositivos que también concentren los rayos UV para maximizar las propiedades que tiene parte del espectro electromagnético en cuanto a la eliminación de agentes patógenos [González, 2017].

Los rayos UV-A son altamente letales para los patógenos que se encuentran en el agua para consumo humano, ya que estos microorganismos no se adaptan a las condiciones ambientales agresivas del exterior, puesto que las condiciones de vida favorables son del tracto gastrointestinal humano con temperaturas de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ a $37 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo tanto, son más sensibles a la luz solar que los organismos que abundan en el ambiente. La tabla 2.4, muestra las temperaturas y los tiempos de exposición óptimos para la eliminación de microorganismos. Se observa que el agua no necesariamente debe hervir para matar el 99.9 % de los microorganismos, por lo tanto, el calentamiento del agua a $50\text{-}60 \text{ }^\circ\text{C}$ durante una hora tiene el mismo efecto desinfectante. SODIS destruirá eficazmente los patógenos si el agua en las botellas expuestas a la luz solar alcanza la temperatura de $57 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 1 minuto o si el agua contaminada mantiene una temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 60 minutos [EAWAG/SANDEC 2017].

Tabla 2.4. Temperaturas para Eliminación de Microorganismos

RESISTENCIA TÉRMICA DE MICROORGANISMOS			
Microorganismos	Temperatura para una desinfección al 100 % (°C)		
	1 minuto	6 minutos	60 minutos
Enterovirus			62
Rotavirus			63 por 30 minutos
Coliformes fecales:			
Salmonella		62	58
Shigella		61	54
Vibrio cholerae			45
Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	57	54	50
Quiste de giardia	57	54	50
Huevos y larvas de gusano ganchudo		62	51
Huevos de áscaris	68	62	57
Huevos de esquistosoma	60	55	50
Huevos de Taenia	65	57	51

Diversas pruebas de laboratorio y sobre entorno real, realizadas por EAWAG y sus colaboradores, revelaron que sinergias provocadas por la aplicación combinada del tratamiento térmico y de radiación (figura 2.25) tienen un efecto significativo en la inactivación de los microorganismos [EAWAG/SANDEC 2017].

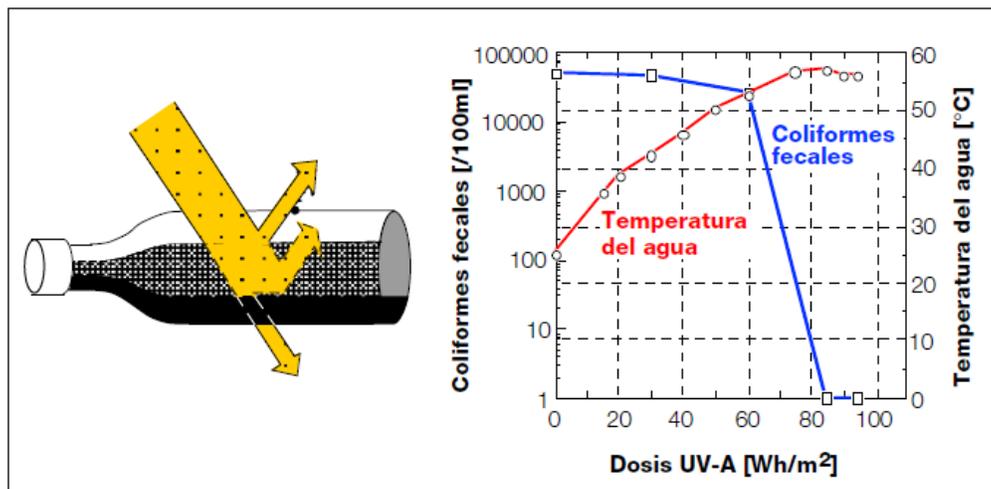


Figura 2.25. SODIS, sinergia entre temperatura y radiación UV [EAWAG/SANDEC 2017].

2.7 ESTUDIOS TEÓRICO-EXPERIMENTALES DE CPCs

El concentrador parabólico compuesto (CPC) fue desarrollado en 1966, simultáneamente en Estados Unidos por Hinterberger y Winston, en la URSS por Baranov y Melnikov, en Alemania por Ploke [Hinterberger, 1966].

Winston en 1974, investiga la aplicación como concentrador solar en Estados Unidos y describe su geometría la cual es apropiada para el diseño de concentradores con receptores cilíndricos [Winston, 1974].

En 1976, Ari Rabl determinó las propiedades ópticas y térmicas del CPC. Y en 1977 obtuvo la primera patente para un colector solar CPC [Rabl, 1976; Chao, 1977].

Para 1980, Rabl, Winston y O'Gallagher investigaron cuatro formas de receptor, entre ellos la V invertida y el receptor cilíndrico.

Suresh, O'Gallagher y Winston en 1990, evaluaron el desempeño térmico y óptico del CPC [Suras, 1990] y en 1996 Ronnelid, estudió las propiedades ópticas y térmicas de los CPC [Ronnelid, 1996].

En 2000, Kothdiwala, estableció el análisis teórico con números de Nusselt para evaluar el coeficiente de transferencia de calor en el CPC.

En 2002, Rincón obtuvo un nuevo diseño de canal de CPC para incrementar el radio de concentración.

Abdallah en 2004, utilizó un sistema de seguimiento en dos ejes para un CPC.

En 2008 Ortega, analizó el modelado de flujo en dos fases de un CPC aplicado como generador de vapor.

Los autores Gill y Price, en 2010 publicaron resultados preliminares del diseño e instalación de un reactor de desinfección solar de flujo continuo en una aldea rural propensa a la sequía, de aproximadamente 500 habitantes en Kenia. El sistema se instaló para desinfectar el agua superficial recolectada en una micropresa de

reciente construcción. Se utilizaron colectores solares tipo CPC, marca AoSol de 10 tubos el factor de concentración fue de 1. El sistema ha sido instalado para operar por flujo de gravedad entre las horas de 9:00 h a 17:00 h. Los resultados preliminares de la calidad del agua indican que el sistema proporciona una fuente segura de agua para la comunidad. Sin embargo, mencionan que la tecnología debe evaluarse durante un período más largo en diferentes condiciones de calidad del agua y radiación solar.

Polo-López et al. [2011], hicieron un estudio sobre la eliminación de patógenos del agua con radiación solar utilizando un reactor CPC secuencial automatizado por lotes. Se desarrolló un CPC con un factor de concentración de 1.89. El aparato se automatizó para lograr la exposición a una dosis de UVA predeterminada. Los espejos CPC se fabrican con láminas de aluminio altamente reflectantes, el tubo fotorreactor de vidrio de borosilicato (Schott-Duran, Alemania). El reactor se probó utilizando *Escherichia coli* como patógeno modelo en agua de pozo. En 2.5 L, se logró una inactivación de 6 log de *E. coli* después de la exposición a la dosis de UVA letal mínima ininterrumpida.

Gómez Couso et al. [2012], hicieron una comparación de diferentes reactores solares para la desinfección doméstica de agua potable en países en desarrollo: evaluación de su eficacia en relación con el enteropatógeno *Cryptosporidium parvum* transmitido por el agua. Usaron cuatro diferentes reactores solares estáticos de desinfección de agua expuestos a la luz solar natural en la Plataforma Solar de Almería, España. Los reactores que utilizaron fueron: botellas de 1.5 L de tereftalato de polietileno (PET). Un CPC compuesto por cuatro tubos de vidrio borosilicato de 2.5 L, con factor de concentración (FC) de 1, colocado sobre una plataforma de aluminio. Un CPC consta de dos tubos de vidrio borosilicato de 2.5 L equipados con CPC con un FC de 1.89, colocados en una plataforma de aluminio. Un CPC compuesto por un tubo de plástico de metacrilato de 25 L provisto de un CPC con un FC de 1, colocado sobre una plataforma de aluminio. Los autores mencionan que, independientemente del reactor utilizado o el nivel de turbidez de las muestras de agua, la viabilidad de los ooquistes disminuyó al aumentar el tiempo de

exposición, 4 h a 8 h. El uso de reactores solares CPC en la desinfección de aguas contaminadas con ooquistes de *C. parvum*, mejora significativamente la eficacia de la forma convencional del método SODIS, ya que permite el tratamiento de grandes volúmenes de agua y reduce el tiempo de exposición. Minimiza el efecto negativo de la turbidez y hace que los ooquistes sean totalmente inviables.

McGuigan et al. [2012], publicaron una revisión sobre la desinfección solar del agua (SODIS), ellos concluyen que, si se coloca papel aluminio en la parte posterior de las botellas donde se coloca el agua para desinfectar aumenta al doble la desinfección de agua. Mencionan mejores resultados de desinfección solar para suspensiones de *E. coli* en agua de pozo utilizando colectores parabólicos compuestos (CPC). Demostraron que el espejo CPC mejora la eficacia de SODIS y en todos los casos redujo el tiempo total de tratamiento para desinfectar el agua.

Kalt et al., en 2014, realizaron dos sistemas de tratamiento de agua para desinfección solar en comunidades remotas. Un CPC fabricado con calidad de taller de alta precisión, factor de concentración solar de 1, en aluminio y se revistió con Mylar para dar una alta reflectividad superficial. El reactor con 4 tubos de vidrio Pyrex de 50 mm de diámetro. El otro fue un CPC rudimentario hecho a mano, factor de concentración de 1, en polietileno de alta densidad, revestido con plástico metalizado (envoltorios de paquetes crujientes). El reactor con 4 tubos de vidrio borosilicato de 50 mm de diámetro.

Ese mismo año [2014] Nalwanga, realizan la Evaluación de la desinfección solar de *E. coli* en la región subsahariana en condiciones de campo utilizando un reactor discontinuo de vidrio de borosilicato de 25 L equipado, ellos concluyen que, el uso de la tecnología CPC SODIS es adecuado para el tratamiento del agua potable tanto a nivel doméstico como industrial en el subsahariano y otros climas tropicales similares si se tiene en cuenta una cuidadosa consideración de la nubosidad y las precipitaciones con un colector parabólico compuesto (CPC).

Strauss et al. [2018], utiliza un CPC para desinfección del agua de lluvia recolectada. La construcción del CPC fue en acero 430 recocido brillante, el semiángulo de

aceptación fue de 81.5°, el reactor de vidrio de borosilicato de 2.5 mm de espesor y longitud de 1.5 m. Mencionan que redujo eficazmente el nivel de contaminación microbiana en el agua de lluvia. Los recuentos de *E. coli*, estaban dentro de las normas de agua potable según lo estipulado por varias asociaciones internacionales de agua después del tratamiento SODIS.

También en 2018 los autores MacMahon y Gill, mencionan los ensayos realizados con el sistema de desinfección de agua solar en la zona rural de Kenia. El sistema se instaló en una aldea rural de Kenia para desinfectar el agua superficial recolectada en una micropresa. El reactor solar utiliza reflectores CPC con una concentración solar de uno. El reactor es de AoSol con 10 tubos. Los resultados que arrojan son que la concentración máxima de bacterias coliformes que ingresaban al sistema era de 100 UFC/100 mL, las muestras de agua tomadas después de la desinfección mostraron valores de 0 UFC /100 mL.

En 2020 Martínez-García et al., realizaron la evaluación de un reactor solar piloto de canal en V para la desinfección solar de agua comparado con un canal parabólico CPC. El CPC parabólico con 6 tubos transparentes colocados en aluminio anodizado y otro CPC en forma de V, compuesto por 10 tubos colocados en aluminio anodizado. Los tubos de los reactores son de borosilicato comercial Schott-Duran. Sus resultados fueron que la comparación entre el reactor canal V y CPC canal parabólico, mostró que la eficiencia para la desinfección del agua es similar para *E. coli* y *E. faecalis* en 90 a 120 min.

Las revisiones anteriores, muestran que son pocos trabajos para desinfección de agua SODIS, utilizando CPCs, también se observa que la mayor parte de las investigaciones son a nivel laboratorio y son pocas las investigaciones donde se utilizan CPCs en experimentos de campo. Es por ello la importancia del trabajo que se presenta en esta tesis, ya que el desarrollo y los estudios experimentales, se realizaron completamente en la comunidad rural de Ahuatenco, con el agua del río, que abastece la comunidad y bajo condiciones climáticas reales.

CAPÍTULO 3. DISEÑO TEÓRICO DEL CPC

A continuación, se describe brevemente la definición de los CPCs, las partes que lo componen, así como las ecuaciones que fueron utilizadas para el diseño y que intervienen en su factor de concentración.

3.1 COLECTORES CPC

Los colectores solares son dispositivos que aprovechan la energía proveniente del sol en un área de captación expuesta a la radiación y que transfieren dicha radiación a un fluido que se necesita calentar, en este caso hasta la temperatura necesaria para potabilizar agua [Méndez y Cuervo, 2008].

Los Concentradores Parabólico Compuestos o CPCs, son dispositivos ópticos que se basan en el principio de sistemas “no formadores de imagen” es decir, son captadores solares de concentración que no forman una imagen definida del sol en el receptor [Jaramillo, 2017].

El diseño del CPC, se basa únicamente en la reflexión y no en la refracción. Es fácil de construir, no requiere materiales con propiedades extremas y tiene grandes aplicaciones para energía solar, ya que no requiere un sistema de seguimiento solar y puede alcanzar altos valores de concentración solar [O’Gallagher y Winston, 1983].

El concentrador parabólico compuesto (CPC) fue desarrollado simultáneamente en el año 1966, en Estados Unidos por Hinterberger y Winston, en la URSS por Baranov y Melnikov, en Alemania por Ploke, para conseguir concentración solar mediante dispositivos estáticos ya que consiguen concentrar sobre el receptor toda aquella radiación que llega dentro del denominado “ángulo de aceptación” del colector. Los CPCs poseen una de las mejores ópticas para sistemas de baja concentración y pueden ser diseñados con un $FC=1$ (factor de concentración) [Collares Pereira, 1995].

El CPC es construido mediante la intersección de dos parábolas encontradas que definen un área de apertura en la parte superior y en la intersección de los dos focos de dichas parábolas es colocado el tubo receptor por donde circula el fluido caloportador, que aumenta la temperatura al incidir los rayos solares sobre el [Duffie and Beckman, 1991], en la figura 3.0 se observa cómo inciden los rayos en el CPC, colocado a determinado ángulo.

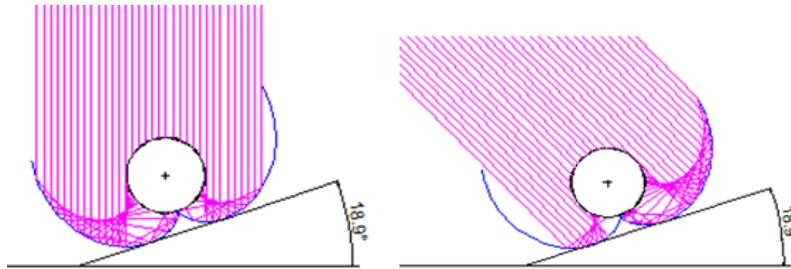


Figura 3.0. Reflexión de luz solar sobre el reactor CPC.

Los reflectores parabólicos dirigen la radiación desde la apertura hasta el absorbente, como si se tratase de un embudo, es decir, todos los rayos incidentes son dirigidos al absorbedor. En la figura 3.1, se muestra que el eje derecho de la parábola forma un ángulo θ_a con el plano medio del colector y el eje izquierdo forma un ángulo $-\theta_a$ con dicho plano, y sus focos son A y B respectivamente. En los puntos C y D la inclinación es paralela al plano medio del colector [Paredes, 2012].

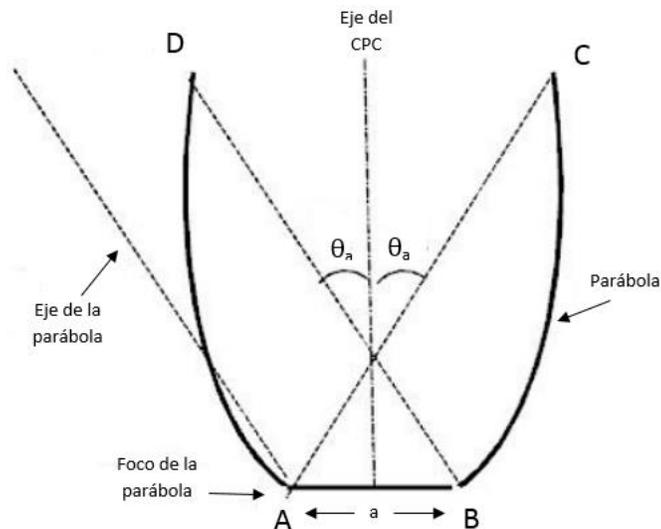


Figura 3.1. Parábolas que forman el CPC [Paredes, 2012].

De acuerdo a Kalogirou [2009], es común que este tipo de sistema se opere sin seguimiento donde el CPC se puede orientar con su eje longitudinal a lo largo del eje norte a sur o bien en la dirección este-oeste y su apertura se inclina directamente hacia el ecuador. Cuando es orientado en la dirección norte-sur, el CPC debe seguir al Sol girando su eje a fin de enfrentarlo de forma continua. A medida que el ángulo de aceptación del concentrador a lo largo de su eje mayor se amplía, el ajuste de la inclinación no es necesario [Kalogirou, 2003].

3.2 ECUACIONES PARA EL DESARROLLO DEL CPC

El método para estimar las propiedades ópticas y térmicas de los CPC lo describió Rabl en 1976, desarrolló una sencilla técnica analítica para el cálculo de la radiación que incide en un CPC, que es útil para calcular pérdidas ópticas [Kalogirou 2004; Rabl, 1979].

Las ecuaciones para un reflector CPC con un reactor tubular se pueden analizar desde la figura 3.2, donde un punto reflector genérico S puede describirse en términos de dos parámetros: el ángulo θ y la distancia ρ . El ángulo θ , comprendido entre los segmentos OA y OR , donde O es el centro del tubo receptor y la distancia ρ , que viene dada por el segmento RS que es tangente al tubo receptor en el punto R [Kreider, 1979].

$$\theta = \angle OA < OR$$

$$\rho = RS$$

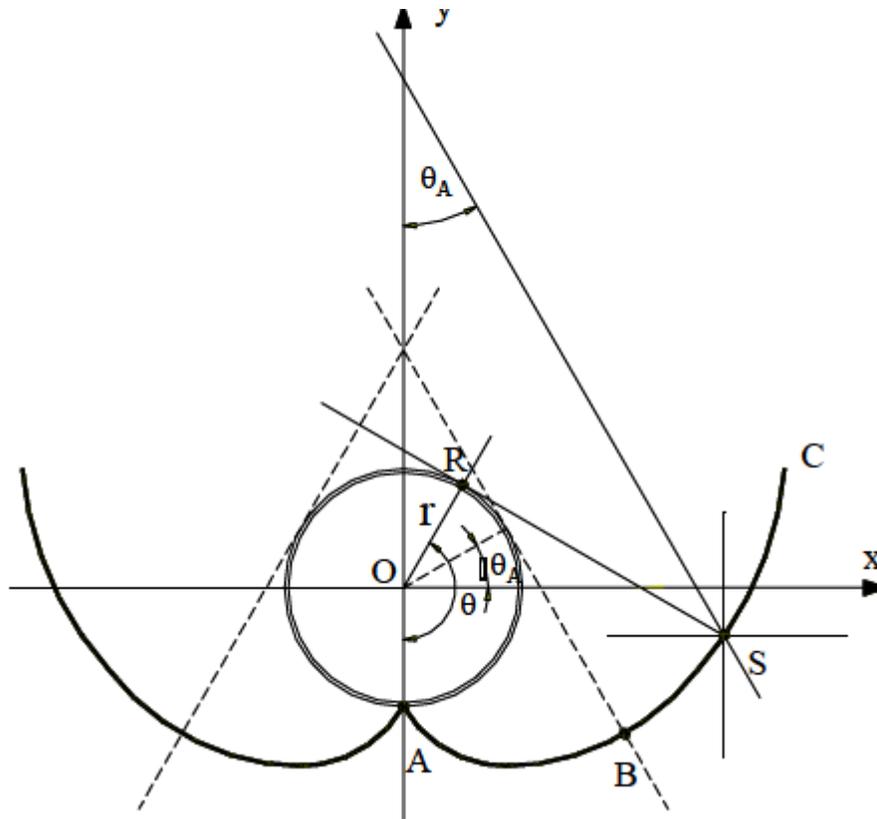


Figura 3.2. Obtención de la curva del CPC [Blanco, 2002].

Para un CPC, el ángulo de aceptación 2θ , es un parámetro muy importante, este parámetro es el rango angular dentro del cual todos los rayos incidentes son reflejados directamente por el tubo receptor.

La solución matemática para la curva del CPC, viene dada por dos segmentos separados: una involuta ordinaria para el tramo entre los puntos *A* y *B* y una porción exterior que es la parábola desde *B* a *C*, como se observa en la figura 3.2.

Las ecuaciones para obtener el trazado en plano cartesiano del reflector del CPC son descritas por Rabl en 1976b, las cuales están en función del radio del absorbedor tubular, este nos indica el límite del tubo absorbedor a donde llevaremos la radiación, y también son función del ángulo medio de aceptación.

Los dos segmentos la involuta y la parábola se describen con valores *X*, *Y* de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$x = R \sin \theta - \rho \cos \theta$$

$$y = -R \cos \theta - \rho \sin \theta$$

para la involuta:

$$\rho = r \theta$$

cuando:

$$|\theta| \leq \theta_A + \frac{\pi}{2}$$

para la parábola:

$$\rho = r \left(\frac{\theta + \theta_A + \pi/2 - \cos(\theta - \theta_A)}{1 + \sin(\theta - \theta_A)} \right)$$

cuando: $\theta_A + \frac{\pi}{2} \leq |\theta| \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_A$

Donde ρ es la distancia de la tangente formada desde el punto tangente del absorbedor, a un determinado ángulo φ , para el que los valores de X y Y dibujaran la curva del reflector como se puede observar en la figura 3.3.

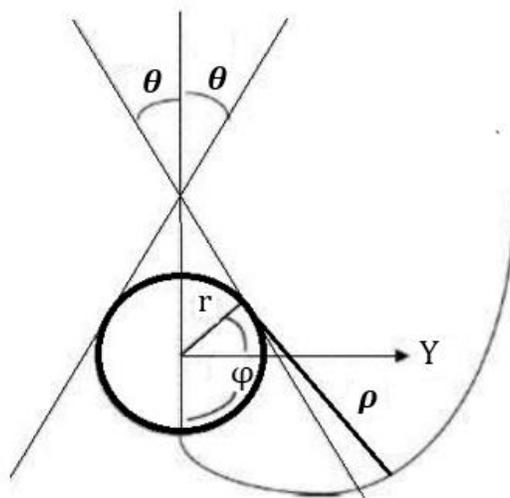


Figura 3.3. Descripción del CPC en coordenadas X y Y [Aguayo, 2010].

3.3 TRUNCAMIENTO Y FACTOR DE CONCENTRACIÓN

Al realizar el diseño del CPC, por medio de las fórmulas, se observa que este puede tener una excesiva longitud. Se puede reducir la longitud del CPC a costa de una pequeña reducción en la concentración del dispositivo.

De acuerdo con McIntire, [1980], este truncamiento se realiza, alrededor de la mitad de la longitud total del CPC. Este truncamiento puede perder un 10 % la concentración del CPC, pero se puede obtener una reducción en costos de la lámina del CPC, ya que se ahorra 50 % en el material de la superficie reflectiva y se incrementa el ángulo de apertura del CPC.

En la figura 3.4, se observa el truncamiento de un CPC de longitud total L hasta una longitud L_T , el CPC estará definido por su semiángulo de aceptación θ , y por el ángulo de truncamiento ϕ .

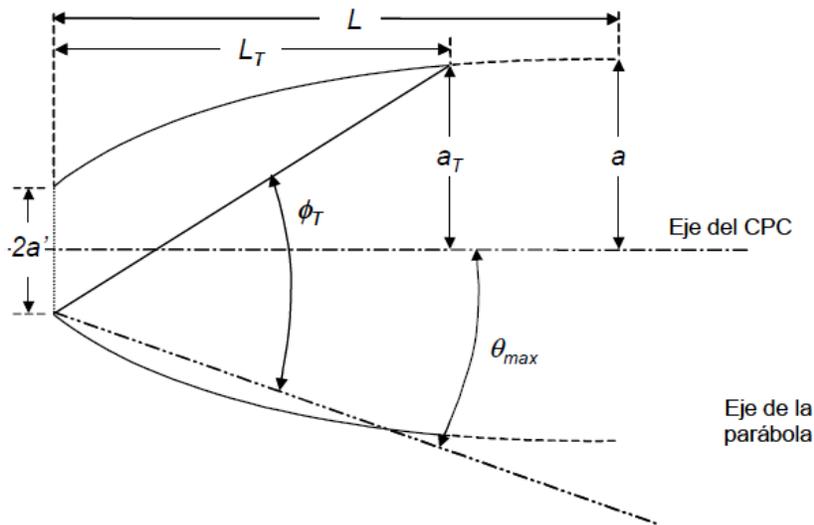


Figura 3.4. Truncamiento de un CPC [Blanco, 2002].

De acuerdo con Carvalho [1985], el truncamiento del CPC incrementa la aceptación de la radiación directa, difusa, reduce el número medio de reflexiones y hace mención que, para colectores truncados muestran un error de 0 a 2 % en los cálculos de energía colectada anual para colectores estacionarios.

Por otro lado, también es importante el absorbedor cilíndrico que se colocará para la desinfección de agua. Ralb [1976b] descubrió que, si se supone una circular para el receptor de la radiación, el principio extendido indicará que todos los rayos que entren con el semiángulo máximo de aceptación θ_{max} deben de ser tangentes al círculo del absorbedor después de una reflexión, la figura 3.5.

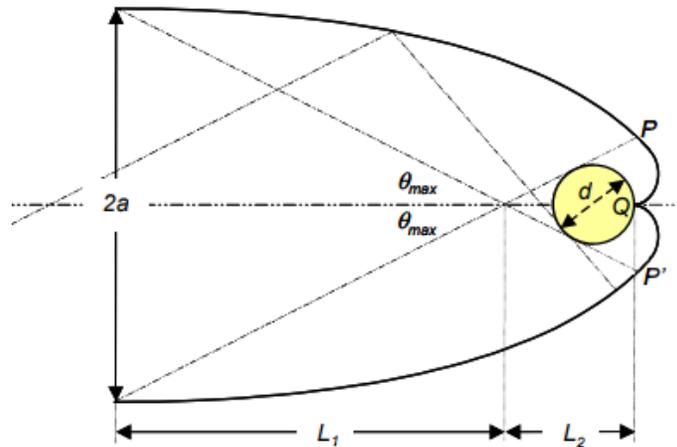


Figura 3.5. Semiángulo máximo de aceptación [Blanco, 2002].

En esta misma figura, observamos que las parábolas se prolongan hasta el punto P y el rayo extremo es tangente al absorbedor, por lo que, al ser reflejado en la parábola, se encuentra con el mismo rayo. Después del punto P , el reflector continúa hasta Q , por medio de la involuta en la superficie del absorbedor, por lo tanto, el CPC envía hacia el absorbedor todos los rayos comprendidos dentro del semiángulo de aceptación θ_{max} , ya que la normal de la involuta es tangente a la curva matriz.

En un colector solar CPC, el factor de concentración (C), viene dado por la concentración máxima a la que se puede llegar, es función sólo de la divergencia de rayos de entrada al concentrador, θ_A sin existir alguna limitación óptica por parte del dispositivo, y una divergencia angular de salida de 90° , que corresponde la apertura del área de entrada dividido por el área de la superficie curvada del absorbedor, como se observa en la siguiente fórmula:

$$C = \frac{A_{ent}}{A_{sal}} = \frac{1}{\sin \theta_{ent}} = \frac{2a}{\pi d}$$

Donde:

A_{ent} = Área de entrada o área de apertura

A_{sal} = Área de salida del concentrador

θ_{ent} = Ángulo de entrada de los rayos al concentrador

Dado que, en este trabajo, no se necesita un factor térmico elevado, el factor de concentración será de 1, con un θ_{max} de 90°, con este ángulo se puede teóricamente captar la totalidad no solo de la radiación solar directa sino también la difusa lo que resulta especialmente importante en el caso de la radiación UV. Este hecho permite tener una eficiencia máxima desde el punto de vista de la captación de luz y, a su vez, poder manejar de forma sencilla el fluido al tener un reactor de forma tubular.

3.4 SUPERFICIE REFLECTORA Y RECEPTOR

Para diseño de un CPC, una componente importante para su construcción es la superficie reflectora, porque afecta todo el sistema de captación de la energía solar, ya que la superficie reflectante dirigirá la luz solar hacia un foco determinado, es por ello la importancia que la superficie reflectante sea de un material con alta reflectividad.

La plata es el mejor elemento reflectante para las longitudes de onda del visible y es ampliamente utilizada en sistemas concentradores térmicos que requieren una superficie reflectante de elevada specularidad, pero realmente es un material muy caro para poder utilizar fácilmente en estas aplicaciones. Sin embargo, los espejos basados en material de aluminio pueden ser una mejor opción ya que es más económico que la plata y este metal es el único elemento que posee una elevada reflectancia en todo el espectro ultravioleta de la radiación solar (300nm y 400nm)

de acuerdo con lo que menciona Rainer [1985], en la figura 3.6, se observa la reflectancia de diferentes superficies metálicas recién formadas mediante electro-deposición al vacío del metal [Hass, 1965]. El aluminio anodizado, tiene alta reflectancia en el rango UV, resiste las condiciones de la intemperie y tiene un costo razonable.

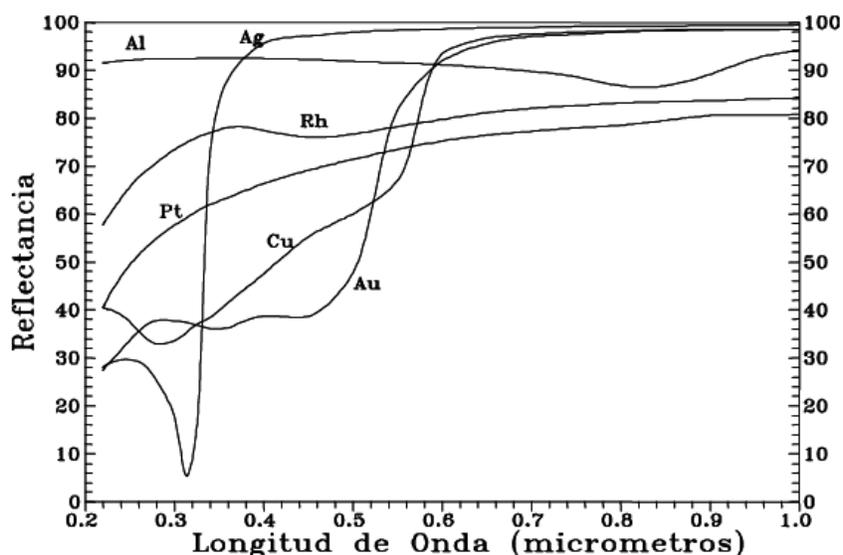


Figura 3.6. Reflectancia espectral de diferentes metales electro-depositados al vacío [Hass, 1965].

Otro componente importante es el tubo receptor, debe ser de un material altamente transmisivos a la luz UV y que resista altas temperaturas, dependiendo del grado de concentración en que se esté trabajando.

Los materiales comunes que reúnen estas condiciones son, básicamente, algunos materiales plásticos y varios tipos de vidrios. Además, el cuarzo tiene una excelente transmitancia UV y resistencia química, pero su alto coste lo hace completamente inviable desde el punto de vista práctico, sobre todo para aplicaciones que requieran elevado número de reactores. Los materiales plásticos válidos deben de mantener en el tiempo sus propiedades mecánicas y de transmitancia de la luz UV, siendo los fluoropolímeros y los polímeros acrílicos buenos candidatos [Blanco, 1999].

En la figura 3.7 muestra la transmitancia espectral de diferentes materiales utilizados o potencialmente utilizables para fotorreactores.

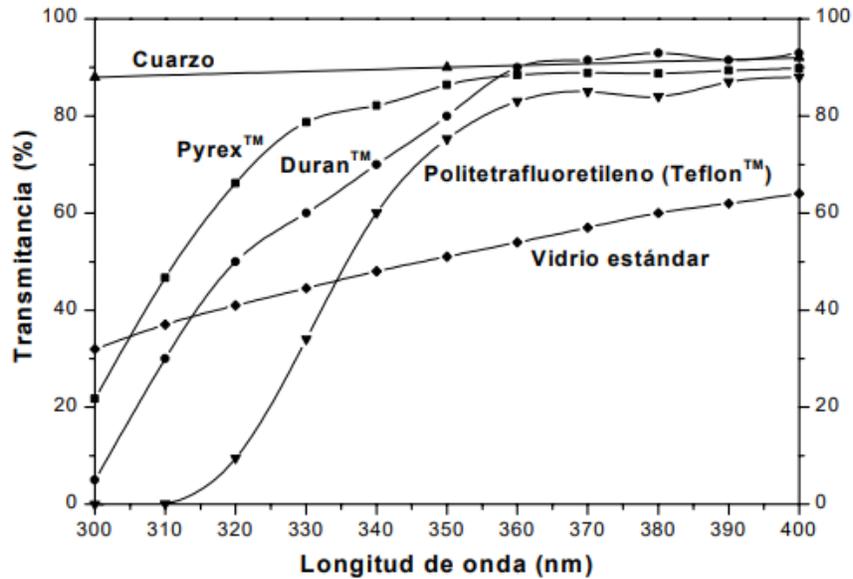


Figura 3.7. Transmitancia de diferentes materiales [Blanco, 1999].

El vidrio resulta la alternativa natural para los receptores. El vidrio normal no resulta satisfactorio ya que, debido a su contenido en hierro, absorbe una parte importante de la luz UV que le llega.

Cuando un vidrio es irradiado, existe un efecto negativo añadido que tiene como consecuencia una disminución de la transmitancia en el intervalo entre 300nm y 400nm. Este fenómeno, denominado solarización ultravioleta, está causado por el cambio de valencia de determinados iones polivalentes que están presentes en el material de vidrio. En concreto los iones de hierro son los principales causantes del fenómeno, debido a su foto-oxidación por efecto de radiación con longitud de onda por debajo de 400 nm, que transforma Fe_2 en Fe_3^+ , siendo este último el que absorbe en el UV. Una forma de reducir este proceso de solarización es mediante la introducción de un 0,1% de Si en el proceso de fundido de vidrio [Watzke y Kloss, 1994].

Brunote et al. [1998], demostró que la transmitancia de un vidrio en el intervalo UV de longitudes de onda es mayor cuanto menor es su concentración de hierro. Por lo cual los vidrios con bajo contenido en hierro resultan adecuados para los tubos

receptores del CPC, como el vidrio borosilicatado, por ejemplo, los vidrios tipo Pirex® o Duran®.

3.5 BALANCE ENERGÉTICO DEL CPC

El balance de energía en un CPC se puede ver cómo, a una temperatura dada, los concentradores son inherentemente más eficientes que los colectores planos. El calor útil entregado al fluido de trabajo está dado por la energía recibida por el absorbedor, menos las pérdidas de calor al medio ambiente, es decir:

$$q_u = q_{abs} - U_c (T_c - T_a) A_r$$

Donde la energía recibida por el absorbedor (q_{abs}) está dada por:

$$q_{abs} = \eta A_a G_d$$

Donde:

A_a = Área de apertura;

A_r = Área del absorbedor;

G_d = Radiación solar directa incidente sobre el colector

T_a = Temperatura del aire ambiente, en °C

T_c = Temperatura del absorbedor, en °C

U_c = Coeficiente global de transferencia de calor, y

η = Eficiencia óptica

q_u = Calor útil

q_{abs} = Calor del absorbedor

Si la eficiencia instantánea de los colectores está dada por:

$$\eta_c = \frac{q_c}{G_d A_a}$$

Entonces:

$$\eta_c = \eta_o - \frac{U_c (T_c - T_a)}{G_d} \frac{1}{C}$$

De acuerdo con la ecuación de demanda térmica que establece que la cantidad de calor (Q) requerida para cambiar la temperatura de una sustancia es proporcional a la masa (m) de la sustancia y al cambio de temperatura (ΔT), como se muestra a continuación y la capacidad calorífica (c) del agua es de 4190 J/kg°C.

$$Q = m c \Delta T$$

La eficiencia térmica del captador solar se compone, por un lado, del rendimiento óptico del sistema en el momento en que éste se encuentra en operación, por otro lado, del conjunto de pérdidas térmicas que afectan al colector.

Para obtener la cantidad de energía incidente en el tubo absorbedor es necesario conocerlas propiedades ópticas de los materiales de construcción, como la transmitancia, reflectancia, absorbancia y emitancia. Cada uno de estos factores va a disminuir la cantidad de energía que llegue al absorbedor [Aguayo, 2010].

La cantidad de energía que es atrapada en el absorbedor por unidad de área (W/m^2), es:

$$S = (G_d + G_{dif}) \tau_c \rho_r \alpha_a$$

La cantidad neta de energía (w) es:

$$q_{sol} = S A_c$$

El rendimiento óptico global del sistema de captación surge de la contribución de varios factores físicos intrínsecos de los componentes materiales del sistema, y de la geometría de éstos. Así, la eficiencia óptica pico del captador se define como sigue:

$$\eta_o \equiv \rho(\theta) \cdot \tau(\theta) \cdot \alpha(\theta) \cdot \gamma_{int}(\theta, \sigma_{int}) \cdot f_{end loss}(\theta)$$

Donde:

ρ = Reflectividad del espejo

τ = Transmisividad de la cubierta de vidrio

α = Absortividad del material superficial del receptor

γ_{int} = Factor de interceptación

$f_{end\ loss}$ = Factor de pérdidas por efectos de borde

G_d = Radiación solar directa incidente sobre el colector

G_{diff} = Radiación solar difusa

CAPÍTULO 4. DISEÑO EXPERIMENTAL

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en la localidad de Ahuatenco, situada en el Municipio de Ocuilán, en el Estado de México (figura 4.0), a una altura de 1,950 metros sobre el nivel del mar. El clima predominante es templado subhúmedo, con una temperatura media anual de 15.5 °C. Hay un aproximado de 960 habitantes y se encuentra en las coordenadas GPS: Longitud: -99.332778 y Latitud: 18.947778.

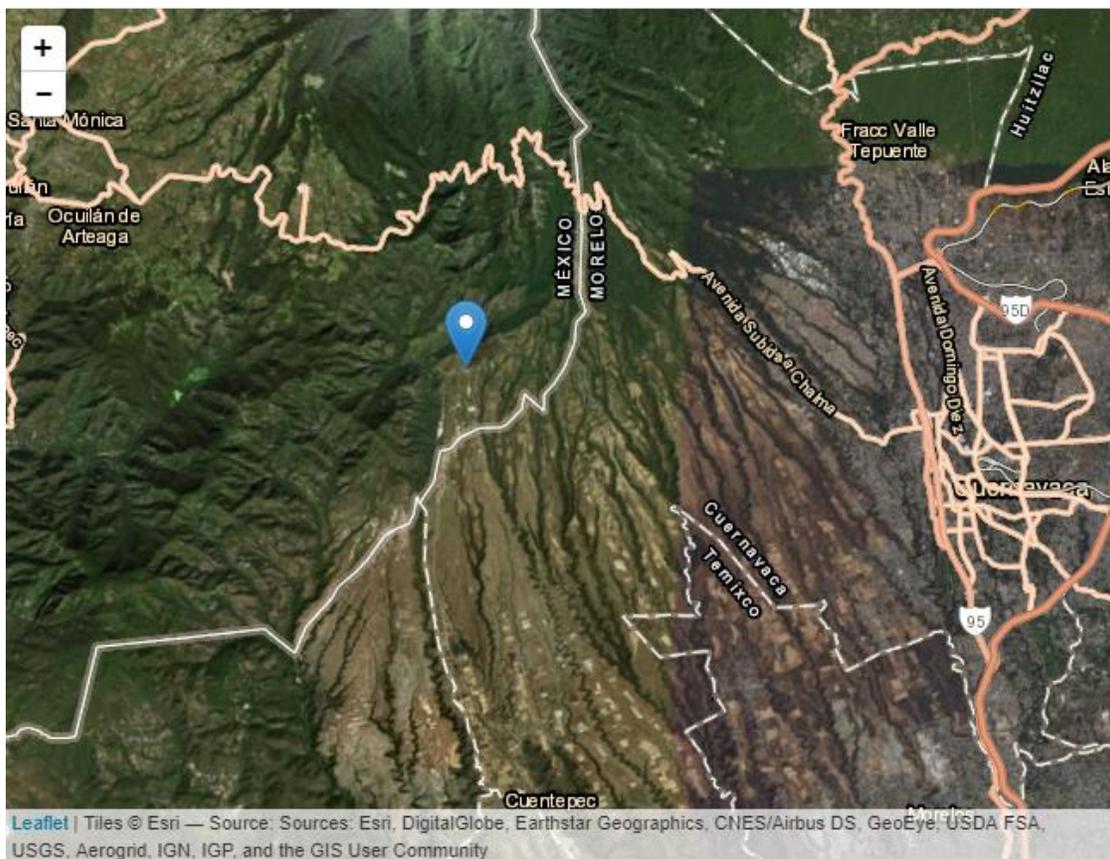


Figura 4.0. Mapa satelital de la ubicación de Ahuatenco [INEGI, 2022].

El agua que llega a la Comunidad de Ahuatenco proviene de un arroyo, perteneciente a la cuenca del Río Balsas (figura 4.1), el agua llega directamente a un depósito y debido a la ubicación geográfica del lugar (figura 4.2), el abastecimiento de agua a la

población es mediante un sistema por gravedad (figura 4.3) este depósito se encuentra en la parte superior de Ahuatenco, como se observa en la figura 4.4. Aunque en la comunidad de Ahuátenco el 86.43 % tienen agua entubada y el sistema de abastecimiento es por medio de ese depósito de agua.



Figura 4.1. Ubicación del Río de abastecimiento de Ahuatenco [CONAGUA, 2016].



Figura 4.2. Arroyo de Ahuatenco.



Figura 4.3. Llegada del agua al depósito.



Figura 4.4. Depósito de agua, comunidad Ahuatenco.

4.2 ANÁLISIS PRELIMINAR DE AGUA

Con el agua del río, que llega al depósito de Ahuatenco, se realizó un análisis microbiológico del agua, para verificar la factibilidad de hacer el presente proyecto en esa comunidad.

Se recolectó manualmente una muestra de agua, del depósito de Ahuatenco y de un tanque de almacenamiento de una familia de esa comunidad que tiene una capacidad de 1100 L. Se recolectaron 500 mL de ambos puntos en frascos de vidrio estériles, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".

Material utilizado:

1. Dos frascos de vidrio estériles (autoclave 120 °C durante 15 min) de 1000 mL con cierre hermético
2. Tiras de pH
3. Termómetro de mercurio, escala -20 °C a 260 °C
4. Hipoclorito de sodio al 5 %
5. Torundas de algodón
6. Hielera con refrigerantes

Procedimiento de muestreo del tanque general:

1. Frasco sumergido en el agua con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 30 cm
2. Abrir y enderezar el frasco tomar la muestra y colocarse el tapón
3. Retirar el frasco del agua
4. Tomar la temperatura del agua, el pH y colocarlo en la hielera

Procedimiento de muestreo del tanque familiar:

1. En la llave de salida del agua se limpia el orificio con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio al 5 %
2. Dejar correr el agua aproximadamente 3 min

3. Quitar el tapón del frasco y tomar la muestra
4. Tomar la temperatura del agua y el pH
5. Colocarlo en la hielera

Parámetros analizados:

Se determinaron los parámetros físicos, químicos y organolépticos: el sabor, olor se determinan por métodos sensoriales, el color, pH y la turbiedad se determinan por medio de métodos de laboratorio.

Para efectos de control sanitario se determinó el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente coliformes totales y coliformes fecales de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". En la tabla 4.0, se muestran los valores permisibles de acuerdo con la norma.

Tabla 4.0. Valores permitidos de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Coliformes totales	No detectable NPM/100 mL o CERO UFC/100 mL
Coliformes fecales	No detectable NPM/100 mL o CERO UFC/100 mL
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

pH	6.5 - 8.5
Cloro residual	0.2-1.50 mg/L

Análisis de agua

Las muestras de agua se preservaron a una temperatura de 4 °C a 7 °C en un tiempo establecido no mayor a 6 horas para su análisis (figura 4.5), de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".



Figura 4.5. Muestras de tanque y pozo.

Los análisis de la calidad microbiana del agua se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultados del análisis preliminar de agua

CARACTERÍSTICA	TANQUE GENERAL	TANQUE FAMILIAR	NORMA: NOM-127-SSA1-1994
Coliformes totales	10 NPM/100 mL	8 NPM/100 mL	No detectable NPM/100 mL
Coliformes fecales	5 NPM/100 mL	4 NPM/100 mL	No detectable NPM/100 mL
Color	INCOLORA	INCOLORA	20 unidades de color Pt-Co
Olor y Sabor	INOLORA	INOLORA	Agradable
Turbiedad	0.90 UTN	0.70 UTN	5 UTN
pH	7.5	7.0	6.5 - 8.5
Cloro residual	---	---	0.2-1.50 mg/L

Como se observa el análisis preliminar, el agua contiene coliformes totales y coliformes fecales, lo que indica contaminación por heces fecales en la fuente de agua, por lo tanto, se decide realizar este proyecto aplicado a la comunidad.

4.3 PROTOTIPO CPC

4.3.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento del CPC se realiza de acuerdo a los parámetros y características que se explicaron en el capítulo 3. Las especificaciones del CPC se muestran en la tabla 4.2, en donde se observa las características y materiales que tiene el CPC, además de la estructura y las conexiones.

Tabla 4.2. Especificaciones del CPC

Cubierta	Vidrio solar 3.2 mm de espesor	Transmitancia 0.91 Absorbancia 0.09 Reflectancia 0.05 Emitancia 0.90
Reflector	Aluminio anodizado, cal 24	Reflectancia 0.92 Absorbancia 0.09 Emitancia 0.03
Receptor	Tubo de vidrio borosilicato 0.043 m de diámetro y longitud de 1.0 m	Absorbancia 0.9 Emitancia 0.1
No. de canales	5	
Largo	1.23 m	
Alto	0.09 m	
Ancho	0.75 m	
Razón de C	1.0	
Estructura	Lamina de acero gal. cal 20	
Soporte	Tubular acero al carbón 1 1/4" cal 18	
Conexiones	PVC hidráulico de 1 1/2"	

El prototipo del CPC que se utiliza para la construcción, se observa en la figura 4.6.

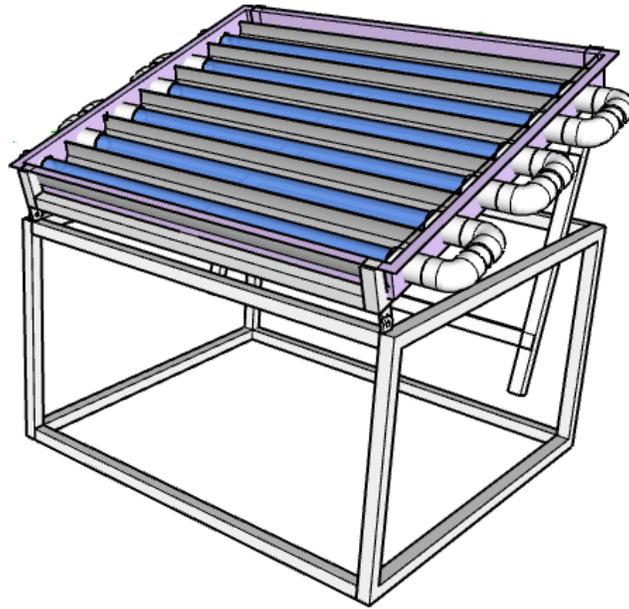


Figura 4.6. Modelo isométrico en 3D.

Para obtener el trazado del reflector del CPC, con un factor de concentración de 1, se consideran dos etapas: Diseño de la involuta y parábola del colector, de acuerdo con las fórmulas que se mencionan en el capítulo 3. La tabla 4.3, muestra las coordenadas XY, para realizar el trazado.

Tabla 4.3. Coordenadas XY del CPC

RADIO DEL TUBO DE VIDRIO 23 mm	
X (mm)	Y (mm)
0.00	-23.00
0.48	-24.77
3.68	-29.22
11.44	-34.06
24.06	-36.11
40.06	-32.26

56.24	-20.33
68.38	0.10
72.19	20.02
71.32	34.68

Utilizando un ángulo de 90° y con las coordenadas XY, se traza la parábola e involuta en Microsoft office Excel [2019], como se muestra en la figura 4.7 a) y b).

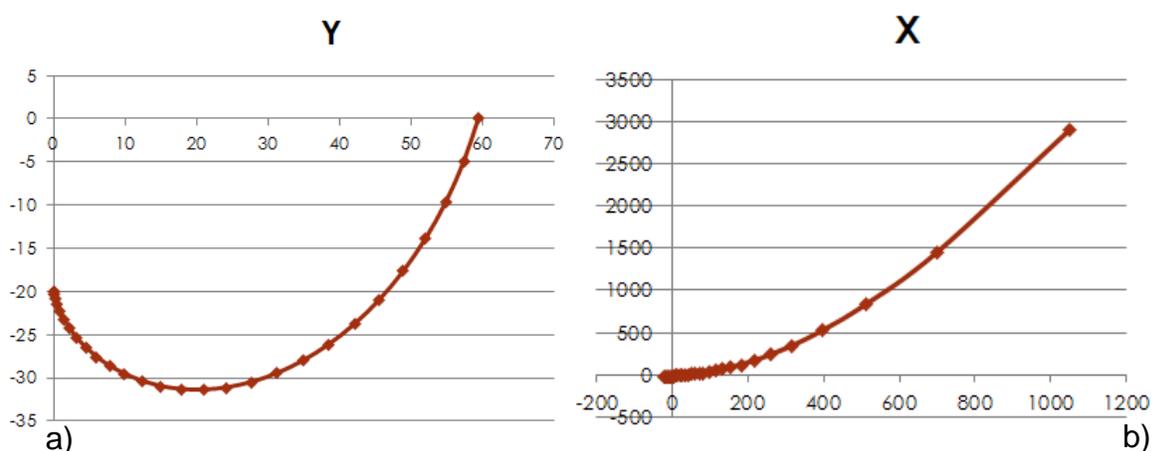


Figura 4.7. Cálculo de parábola (a) e involuta (b).

Una vez calculados y definidos los parámetros geométricos del CPC se trazó la parábola en AutoCAD [2019], obteniendo el perfil teórico que se muestra en la figura 2, este perfil es que se utiliza para trazar los canales del CPC (figura 4.8).

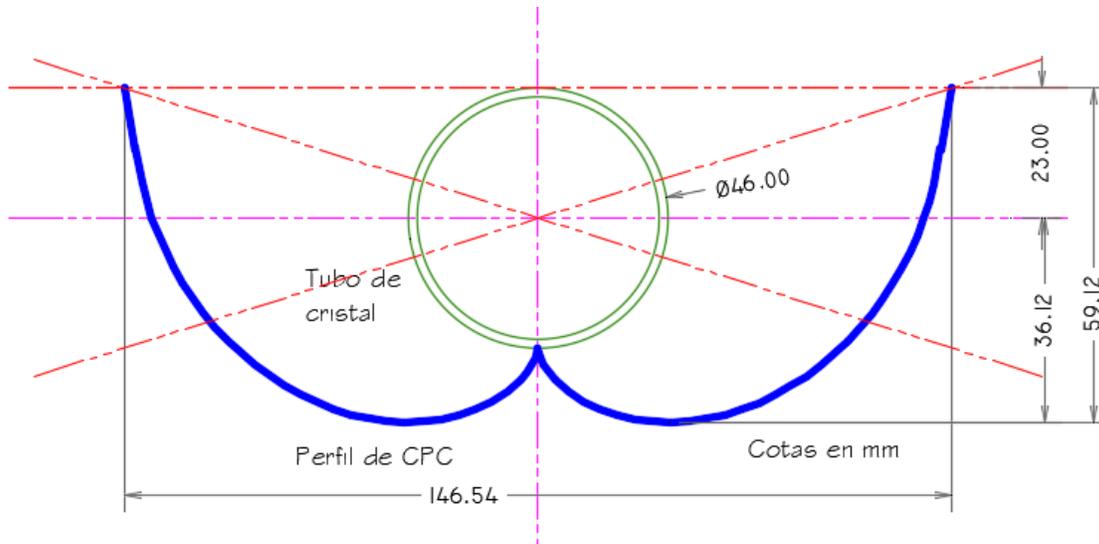


Figura 4.8. Trazo de involuta de CPC.

De acuerdo al trazo de los perfiles parabólicos, también se realiza el dimensionamiento general de toda la estructura que dará soporte al CPC, como lo es: gabinete de canales CPC (figura 4.9), estructura de soporte del gabinete (figura 4.10), soporte del CPC (figura 4.11), mecanismo de variación del ángulo (figura 4.12) y los mecanismos de sellado para la interconexión de los tubos (figura 4.13).

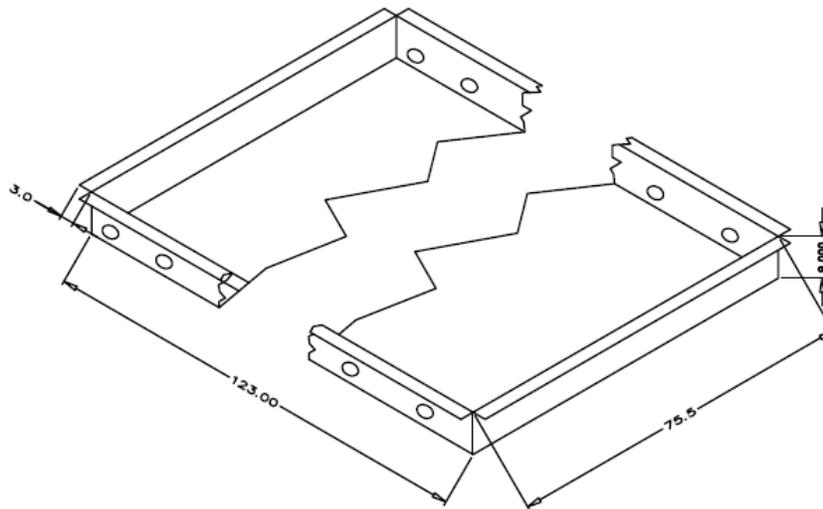


Figura 4.9. Gabinete de soporte de los canales del CPC.

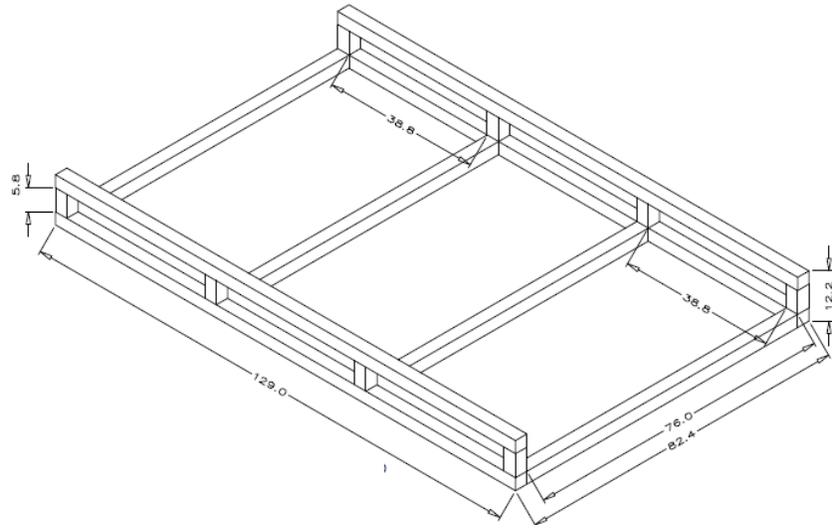


Figura 4.10. Estructura de soporte del gabinete.

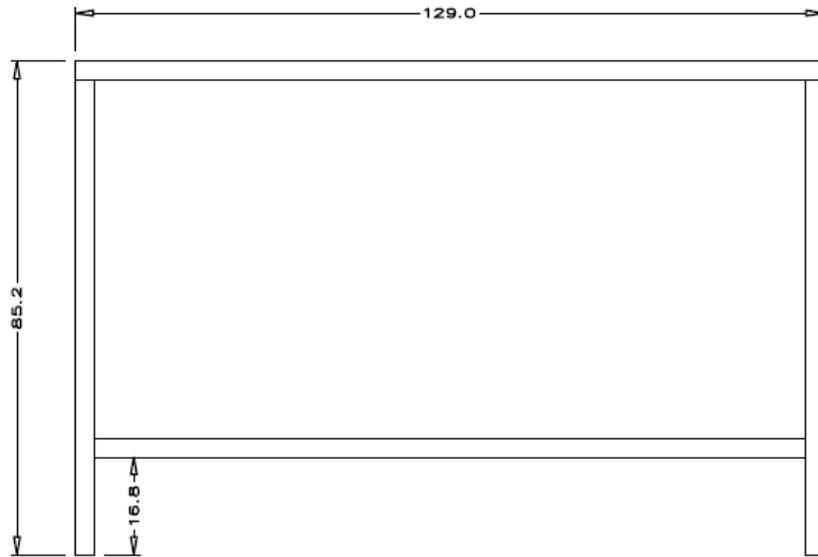


Figura 4.11. Soporte del CPC.

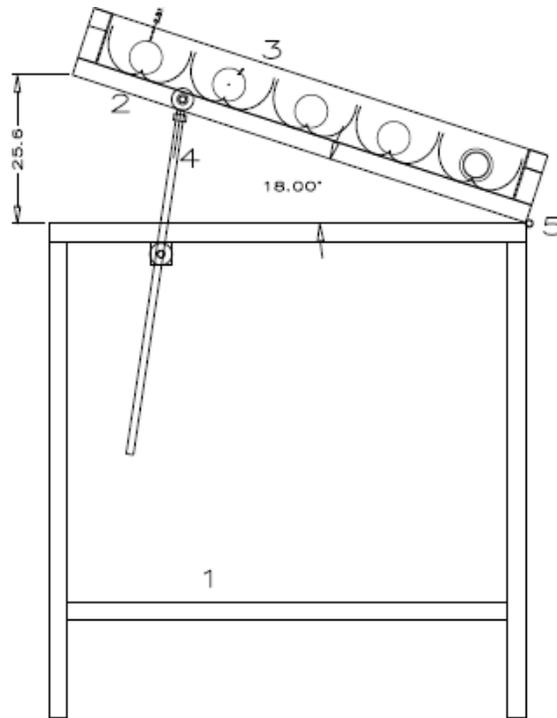


Figura 4.12. Ensamble general y mecanismo de variación del ángulo.

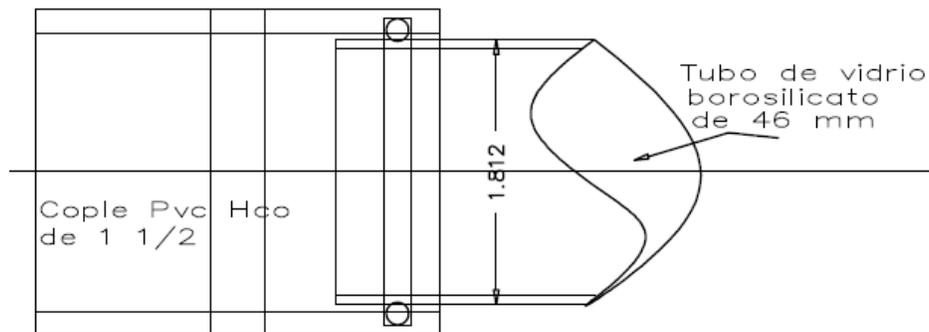


Figura 4.13. Mecanismo sellado.

4.3.2 Equipo de manufactura

La manufactura se realizó en la planta de producción de la empresa Hitecma S.A de C.V, los equipos utilizados fueron: roladora (figura 4.14), dobladora (figura 4.15),

cizalla (figura 4.16), máquina de soldadura por microalambre y atmósfera de CO₂ (figura 4.17), fresadora de superficies (figura 4.18) y torno (figura 4.19).



Figura 4.14. Roladora.



Figura 4.15. Dobladora.



Figura 4.16. Cizalla.



Figura 4.17. Máquina de soldadura.



Figura 4.18. Fresadora de superficies.



Figura 4.19. Torno.

4.4 PRENSA DE CONFORMADO

Para garantizar que los canales parabólicos, tuvieran las mismas dimensiones, se diseñó y fabricó una prensa de conformado, mediante una estructura metálica con brazos mecánicos y tensores, para aplicar presión uniforme y deformar la lámina sobre un molde fabricado de acuerdo al diseño de las involutas.

Se utilizaron los materiales que se muestran en la tabla 4.4 para la prensa de conformado:

Tabla 4.4. Materiales utilizados en la prensa de conformado

PTR 1 1/2", cal. 14 acero al carbón
Maquinado de flechas y mecanismos
Baleros
Tornillos y tuercas
Resortes de compactado
Lamina de acero galvanizado cal. 18
Pailera de mecanismos y brazos
Soldadura microalambre
Solera de 3 x 1/4 acero al carbón

La fabricación de la prensa se realizó de la siguiente manera:

1. Se diseñó la prensa auxiliándose con el programa AutoCAD [2019], considerando que el molde base tenga el perfil teórico, y que pueda ser intercambiable para otros perfiles y la estructura se diseñó para soporte y resistencia al esfuerzo mecánico (figura 4.20 y 4.21).

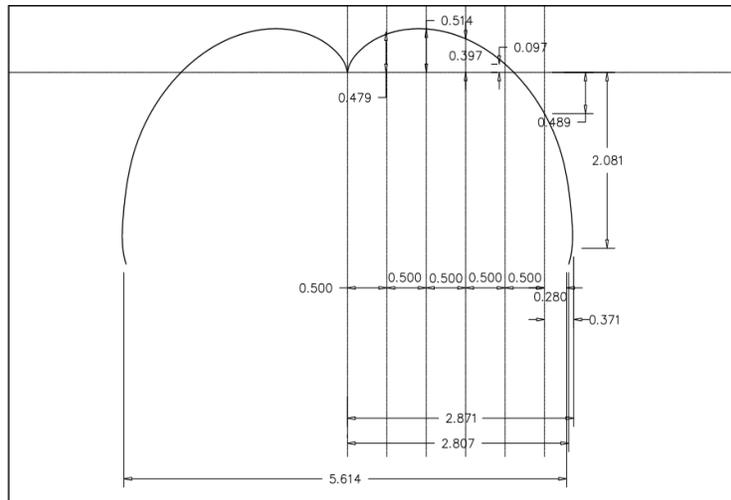


Figura 4.20. Patrón de prensa.

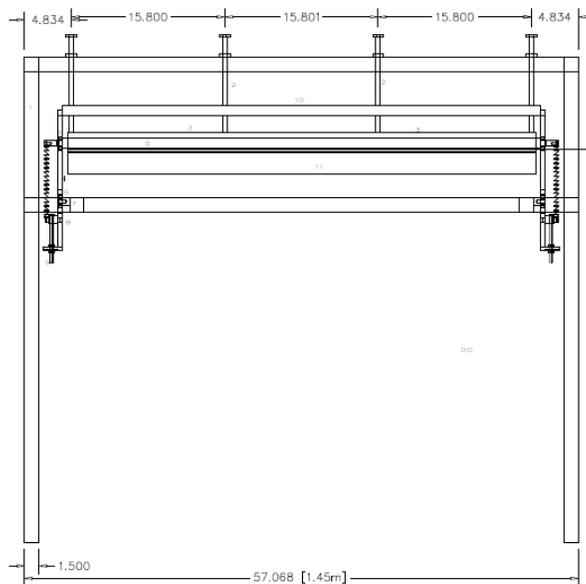


Figura 4.21. Estructura de soporte para la prensa.

2. Cortar la lámina de acero al carbón cal 14, de acuerdo al patrón dibujado (figura 4.22). Para realizar el molde del CPC se va formando artesanalmente por medio de martillo y yunque, ajustando la forma con un molde de madera, previamente cortado y ajustado al perfil teórico.



Figura 4.22. Molde base de curvatura.

3. Se construyó la estructura metálica en PTR de acero al carbón cal. 14 (figura 4.23), con brazos mecánicos y tensores para aplicar presión y deformar la lámina del cuerpo de las involutas como se muestra en la figura 4.24. Para la construcción se utilizaron procesos industriales de pailera y aplicando soldadura de microalambre.



Figura 4.23. Estructura de PTR.



Figura 4.24. Prensa de conformado.

4.5 MATERIALES Y EQUIPOS:

Los materiales y equipos que se utilizaron en este proyecto para la construcción del CPC se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Materiales utilizados en la construcción del CPC

MATERIALES
Lámina de aluminio anodizado alta reflectividad
Lámina de acero galvanizado cal. 22
Lámina de acero galvanizado cal. 20
PTR de 2" cal 14
Tubos de vidrio borosilicato DURAN®
Accesorios de PVC hidráulico
Bomba de baja carga
Rotámetro
Tinacos 100 L
Manguera transparente de PVC
Llave de bronce para agua 1/2 "
Vidrio para cubierta
Accesorios de sellado
Soldadura
Tornillos y tuercas
Termómetros
Medidor de radiación solar
Voltímetro
Medidor de radiación UV

4.6 CONSTRUCCIÓN DEL CPC

La estructura del CPC, se fabrica por procesos industriales de pailería y aplicando soldadura de microalambre con atmósfera de CO₂, la resistencia teórica de la soldadura aplicada es de 4218.4 kg/cm² (60,000 lb/pul²). Posteriormente se aplicará acabado epóxico con primario y acabado esmalte brillante.

La construcción del CPC se realizó de la siguiente manera:

1. De acuerdo con el diseño teórico, se cortan 5 segmentos de la lámina de aluminio anodizado de alta reflectividad como se observa en la figura 4.25.



Figura 4.25. Cortes de lámina de aluminio.

2. Primer dobléz y aproximación con la prensa de conformado, se hace un ajuste por medio de rolado sobre un dispositivo de 1.5" de diámetro, logrando una aproximación del 90 % del perfil (figura 4.26 a, b y c).





Figura 4.26. Aproximación del perfil: a) se coloca la lámina en la prensa, b) primer dobles, c) curvatura de los canales del CPC.

3. Ajuste preciso. Se fabrica un escantillón con la forma teórica requerida, con un tablón de madera 1.5" de espesor, para realizar ajuste preciso con mazo de goma, logrando el perfil teórico (figura 4.27 a y b).





Figura 4.27. Ajuste: a) rolado de los canales b) escantillón para ajuste preciso.

4. Se repite en paso 2 y 3, hasta tener los 5 perfiles teóricos para el CPC, como se muestra en la figura 4.28 a) y b).



Figura 4.28. Perfiles teóricos: a) perfil con película protectora, b) perfil listo para instalar.

5. Se fabricó la charola para los canales, con proceso de corte y doblado y soldadura. Por medio de troquelado, se hacen las perforaciones para los pasos hidráulicos y colocación de los tubos de vidrio (figura 4.29).



Figura 4.29. Fabricación de la charola para los canales.

6. De acuerdo con los planos, se fabrica la estructura en tubular cuadrado de 1 ¼" cal. 18 de acero al carbón la estructura de soporte y se maquinan los mecanismos para la variación de ángulo. Se fabricó un mecanismo de ajuste para lograr ángulos variables y poder ajustar el ángulo de inclinación, como se observa en la figura 4.30 a) y b).



Figura 4.30. Estructura de soporte: a) estructura tubular y b) mecanismo de variación del ángulo.

7. Se realiza el montaje general de la charola y los canales del CPC, sobre la estructura (figura 4.31).



Figura 4.31. Montaje en la estructura.

8. Maquinado de los coples para sellado (figura 4.32), en PVC 1½", de acuerdo al diseño que nos garantice el sellado la expansión de los tubos de vidrio (figura 4.33) y las partes mecánicas.



Figura 4.32. Coples de PVC.



Figura 4.33. tubos de vidrio.

9. Para darle continuidad al serpentín formado por los tubos, se realiza la fontanería con codos y coples de PVC hidráulico de 1 1/2" para interconexión de los tubos de vidrio (46mm espesor, pared 1.6mm) como se observa en la figura 4.34. Los coples se modifican con sistemas de sellado por medio de anillos O, de neopreno, así como teflón en pasta, para lograr un serpentín hermético entre el tubo de vidrio y el coples de PVC. Aprovechando los accesorios de PVC, se realizan preparaciones roscadas de 1/4" NPT, para la instalación de los sensores de temperatura (figura 4.35).



Figura 4.34. fontanería con PVC.



Figura 4.35. Preparaciones para sensores.

10. Instalación hidráulica, recipientes, bomba, rotámetro y termómetros como se muestra en la figura 4.36 a), b) y c).

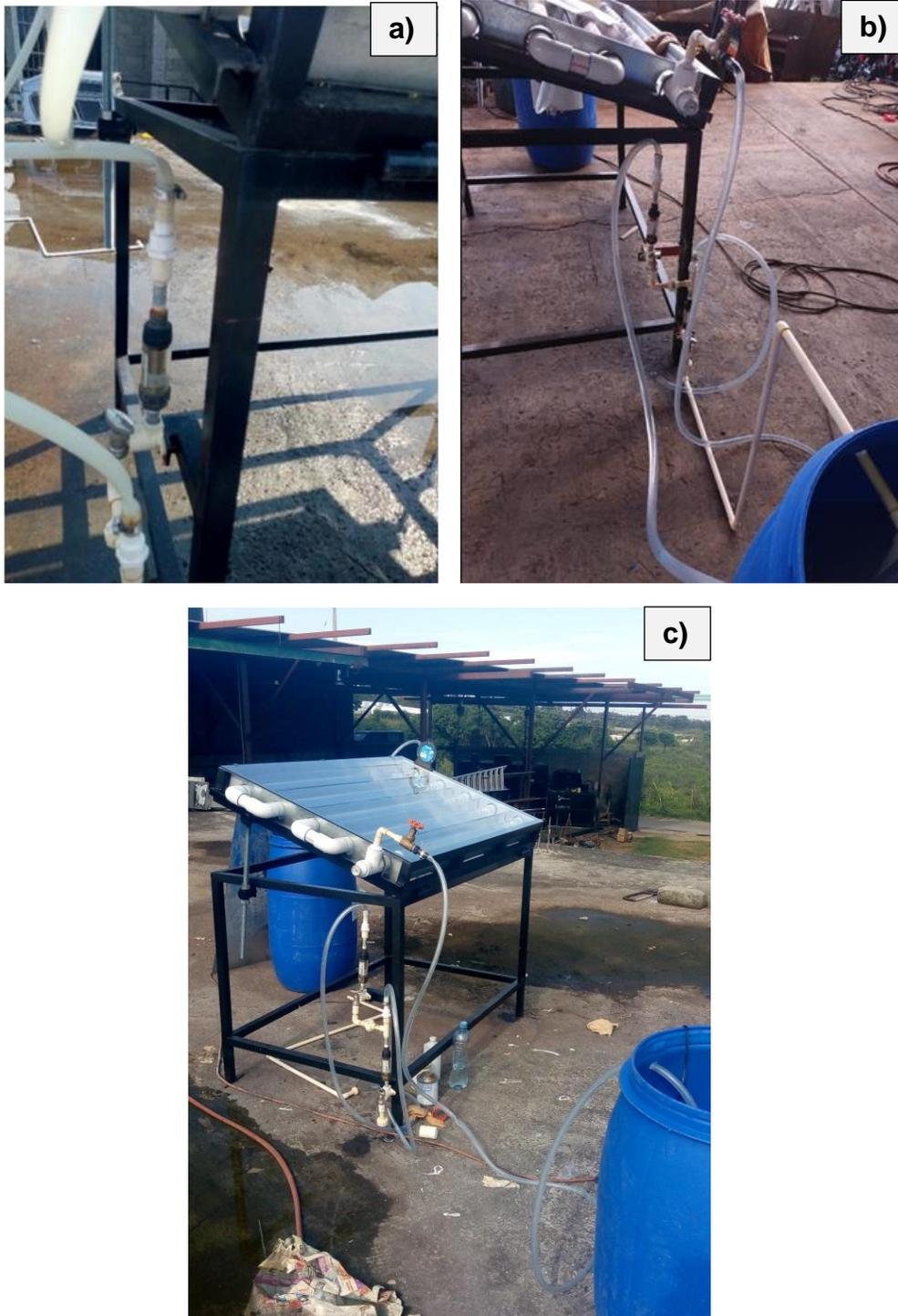


Figura 4.36. Instalación hidráulica: a) rotámetro, b) llaves de paso y termómetros, c) mangueras y recipientes

4.7 INSTRUMENTACIÓN.

Para realizar las mediciones que se requieren se utilizan los instrumentos que se muestran a continuación:

a) Temperatura.

Los puntos del CPC donde se colocaron los termómetros se observan en la figura 4.37, al inicio de la desinfección, a medio proceso y a la salida del agua.



Figura 4.37. Colocación de termómetros, se observan en color rojo.

Los termómetros utilizados son de acero inoxidable, digitales y con vástago largo (figura 4.38) y tienen las siguientes características:



Marca: Toopske

Modelo: SZ881239

Ancho: 55 mm

Temp. máxima: -20 °C a 110 °C

Precisión de ± 0.9 °C

Vástago: 10 cm

Lectura: 1-10 s

Figura 4.38. Termómetros Toopske.

b) Medidor de flujo:

Se utilizó un flujómetro para ajustar los flujos de medición de agua, que son 5 L/h, 10 L/h y 16L/h. El flujómetro utilizado se muestra en la figura 4.39 y se muestran sus características.



Marca: Flux-O-Matic

Modelo: LZTA2-20LH

Rango de medida: 2-20 L/h

Temperatura media: 0-65 °C

Presión de trabajo: 0.1 MPA

Longitud: 117 mm

Figura 4.39. Flujómetro utilizado.

c) Bomba de agua:

Se utiliza una bomba de agua sumergible y regulable, para instalarla en el tanque con el agua inicial del proceso. Esta bomba subirá el agua al CPC, para la desinfección (figura 4.40), las características se muestran a continuación.



Marca: Ecofount

Modelo: 6006

Caudal máximo: 1200 L/h

Potencia: 18 W

Altura: 2.5 m

Medidas: 9 cm x 7 cm

Figura 4.40. Bomba de agua sumergible.

d) Medidor de radiación:

Se utiliza para medir la radiación incidente sobre el CPC, es un medidor digital y las mediciones se realizaron a la hora del muestreo: 12:00, 13:00, 14:00 h respectivamente (figura 4.41).



Modelo: SM206

Resolución: 0.1 W/m

Error de rango: $\pm 5 \%$

Rango de medición: 0.1-3999 W/m

Tiempo de muestreo: 0.25 s

Temp. de funcionamiento: 0-50 °C

Tamaño: 132 x 65 x 38 mm

Figura 4.41. Medidor de radiación.

e) Sensor de UV:

Se utiliza un sensor analógico no amplificado con salida de voltaje. El sensor incorpora un fotodiodo que mide la radiación UVA y UVB combinada. Las mediciones se realizaron a la hora del muestreo: 12:00, 13:00, 14:00 h respectivamente, (figura 4.42).



Marca: Apogee

Modelo: SU-100

Sensibilidad: 0.2 mV por $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Rango espectral: 250 nm a 400 nm

Campo de visión: 180°

Tamaño: 24 x 28 mm

Figura 4.42. Sensor UV.

f) Multímetro:

Se utiliza un multímetro digital para conectarlo al sensor de UV, midiendo en mV la radiación UV, en los experimentos realizados (figura 4.43).



Marca: Mitsu

Modelo: MP-6000

Tensión máxima CA: 0 V

Tensión máxima CC: 9 V

Tamaño: 135 x 67 x 33 mm

Figura 4.43. Multímetro.

La instalación de los instrumentos de medición en el CPC que se utilizaron, se muestra en las figuras 4.44, 4.45, 4.46 y 4.47.



Figura 4.44. Radiómetros y multímetro.



Figura 4.45. Sensor UV.



Figura 4.46. Sensor UV y multímetro.



Figura 4.47. Termómetro.

4.8 TRAZADO DE RAYOS

Con el perfil geométrico del CPC se realiza la modelación y simulación del trazado de rayos en el software Tonatiuh®. Se capturan los parámetros geométricos y características del concentrador, tales como: forma y factor de concentración, truncamiento, inclinación sobre la horizontal y errores de superficie. La forma del sol que se considera es “Pillbox” con una irradiación de 1000 W/m^2 .

El trazado de rayos nos permite determinar el desempeño óptico del CPC, simulando la ubicación geográfica del sitio de operación, variando la altura solar y el ángulo azimutal como función de la hora del día y la época del año. Se evaluaron 4 días representativos de cada época del año cerca del mediodía solar, donde se presenta la altura solar máxima. De igual manera se evaluaron horarios donde la altura solar es muy baja a fin de evaluar el desempeño óptico del CPC con ángulos de incidencia muy grandes.

4.9 ANÁLISIS DE SOMBRAS

Se realizó un análisis básico de sombreado, donde se verificó el grado de afectación por sombras formadas por objetos aledaños al área donde se instaló el CPC, utilizando las herramientas de geolocalización y simulación de posición solar con el programa de diseño SketchUp Pro 2017. Es un software de modelado 3D, ideado para el diseño de espacios en el ámbito de la arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, entre otros.

Para la simulación se consideró que la vivienda típica rural cuenta con árboles cercanos a la construcción, tanque elevado para almacenamiento de agua y comúnmente la vivienda cuenta con techado de material frágil como palma, láminas o tejas, las cuales no permiten la colocación de elementos en el techado, por lo que es necesario la instalación en suelo.

Se realizó la simulación considerando tres horas antes y tres horas después del mediodía solar de acuerdo con las coordenadas geográficas del sitio. Con los datos de diseño del CPC, se realiza el modelo en 3D y un análisis básico en las 4 estaciones del año, donde se verifica el grado de afectación de sombras formadas por elementos cercanos a la zona donde se instalará el CPC. En la vivienda donde se instala el CPC, se realizó un dimensionamiento básico de los siguientes elementos: árboles, tanque elevado de agua, cerca, gallinero y almacenamiento de leña. Se ubicó el CPC en un espacio cercano a la entrada, donde los propietarios permiten llevar a cabo la instalación.

En la figura 4.48, se muestran las condiciones de sombreado en el horario más crítico, estimado a las 3 de la tarde en las cuatro estaciones del año, indicando el mes representativo de cada estación en el hemisferio norte: a) Primavera (mayo), b) Verano (agosto), c) Otoño (octubre), d) Invierno (enero). Se observa una menor afectación por sombras colocando el CPC frente a la vivienda, teniendo así, mayor tiempo de captación solar y, por ende, mayor tiempo de operación del CPC para desinfectar el agua.

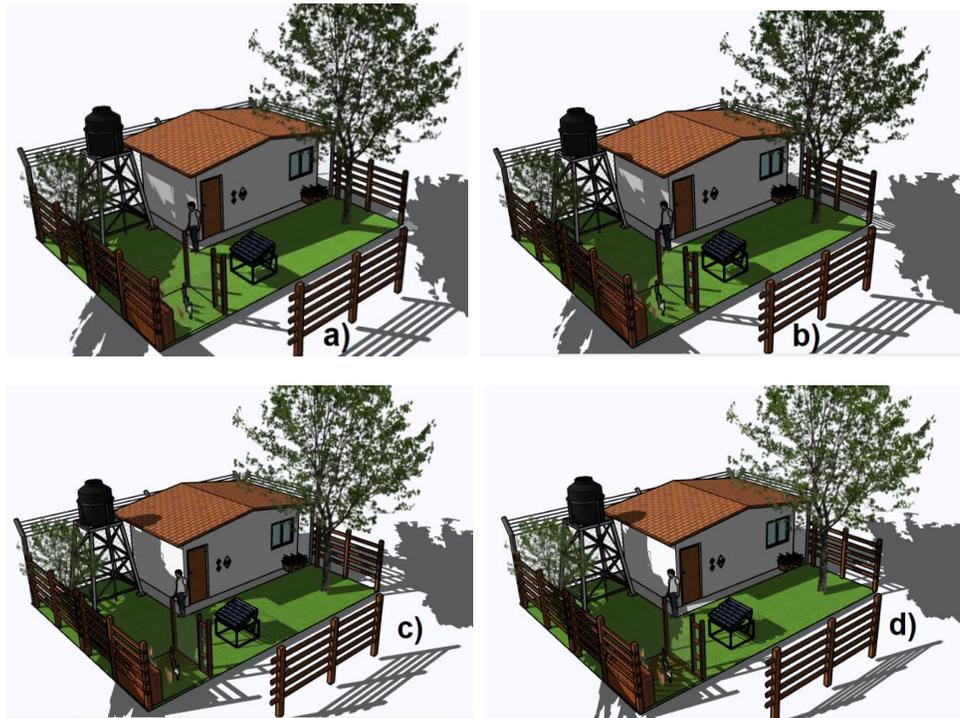


Figura 4.48. Sombreamiento a las 3 de la tarde en las cuatro estaciones del año, indicando el mes representativo de cada estación en el hemisferio norte: a) mayo b) agosto, c) octubre, d) enero.

4.10 OPERACIÓN DEL CPC

La operación del CPC se describe en los siguientes puntos:

1. El diseño del experimento es con las variables: flujos, horarios, radiación UV, se realizaron 27 mediciones con los flujos 5 L/h, 10 L/h y 16 L/h y en los horarios 12:00, 13:00, 14:00 h, como se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Diseño de experimentos

	C1	C2	C3
	flujo L/h	horario	UV
1	5.33	12:00	1
2	5.33	12:00	1

3	5.33	12:00	1
4	5.33	13:00	2
5	5.33	13:00	2
6	5.33	13:00	2
7	5.33	14:00	3
8	5.33	14:00	3
9	5.33	14:00	3
10	10.6	12:00	2
11	10.6	12:00	2
12	10.6	12:00	2
13	10.6	13:00	3
14	10.6	13:00	3
15	10.6	13:00	3
16	10.6	14:00	1
17	10.6	14:00	1
18	10.6	14:00	1
19	16	12:00	3
20	16	12:00	3
21	16	12:00	3
22	16	13:00	1
23	16	13:00	1
24	16	13:00	1
25	16	14:00	2
26	16	14:00	2
27	16	14:00	2

2. El diseño experimental se realiza con el objeto de medir la cantidad de coliformes totales y fecales que se eliminan del agua. Los parámetros que se midieron en los experimentos fueron: radiación solar, radiación UV, temperatura de entrada y salida del agua.

3. Colecta inicial de agua:

a) Se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".

b) Se recolectó manualmente las muestras de agua, del depósito de Ahuatenco.

- c) En la llave de salida del agua se limpia el orificio con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio al 5 %.
 - d) Dejar correr el agua aproximadamente 3 min.
 - e) Quitar el tapón del garrafón y tomar la muestra.
 - f) Tomar la temperatura del agua y transportar inmediatamente, al lugar experimental.
4. El agua llega al tanque del CPC,
- a) Se recolecta la muestra inicial y se toma la temperatura del agua.
 - b) Colocar la muestra en la hielera a 2-8 °C.
5. El agua llega al tanque del CPC y se pone en funcionamiento:
- a) Se vacía el agua de la muestra anterior y se enjuaga el tanque con agua de muestra.
 - b) Se llena el tanque con el agua muestra.
 - c) Se mide la temperatura del agua en el recipiente.
 - d) Se deja que el agua corra por el sistema durante 30 min.
 - e) Posteriormente se ajusta el rotámetro para tener el caudal de medición a tomar.
 - f) Se inicia el flujo de agua a través del sistema, dependiendo el horario y flujo que corresponda de acuerdo al diseño de experimentos.
 - g) Se toma la temperatura a la mitad del proceso y a la salida de agua.
 - h) Se toma la muestra a la salida del sistema para análisis.

- i) Colocar la muestra en la hielera a 2-8 °C, hasta su análisis (no pasar de 6 horas). Esta temperatura se logra, colocando refrigerantes congelados, cubriendo las cuatro paredes en donde se transportan las muestras. Las muestras se llevan a analizar aun laboratorio certificado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación), para garantizar resultados de calidad.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

ANÁLISIS PRELIMINAR:

El agua que llega a la comunidad proviene de una fuente natural de la cual brota el agua subterránea y no se sabe de dónde proviene la contaminación, puede ser que el agua se contamine en las tuberías o al llegar al depósito.

El análisis preliminar que se hizo del agua del depósito y el agua que sale del grifo en la vivienda, se encontró la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, lo que indica contaminación en la fuente de agua y no cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

También se analizó la radiación incidente en el área (figura 5.0), por lo tanto, es posible realizar este proyecto en la comunidad.

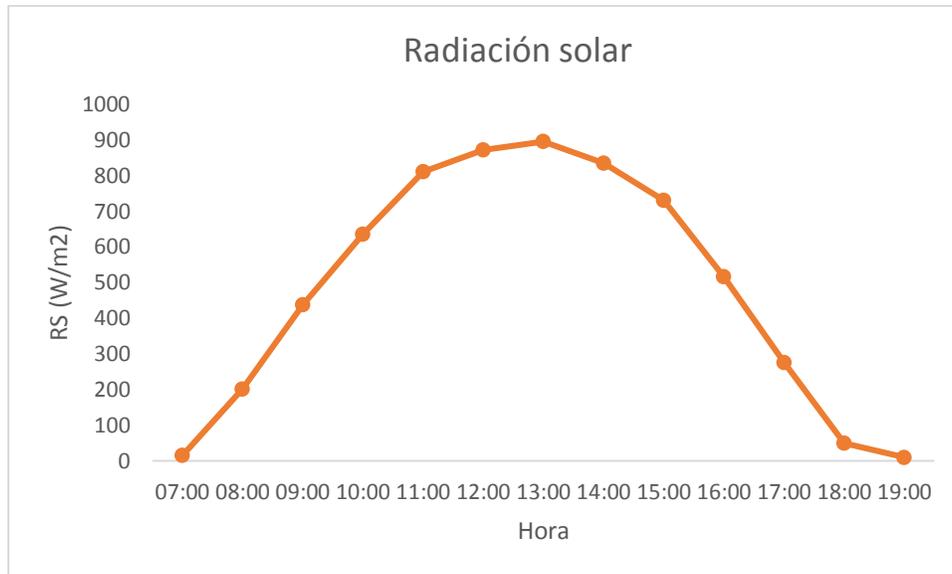


Figura 5.0. Radiación Solar de Ahuatenco (20 febrero 2020).

CONSTRUCCIÓN DEL CPC:

El CPC construido consta de 5 canales parabólicos y un factor de concentración de 1. Se coloca en el patio de la vivienda a la que se le donara en Ahuatenco, es una vivienda de 15 habitantes y es ahí en donde se pone en funcionamiento el CPC. La ubicación geográfica donde se instala el CPC es con una latitud de 18.9477 y una longitud de -99.3327, el CPC se orienta hacia el sur con una inclinación respecto a la horizontal de 18.9°, para captar mayor radiación solar (figura 5.1). El CPC se cubre con un vidrio solar para proteger los tubos y evitar grandes cantidades de polvo.



Figura 5.1. CPC instalado a 18.9° sur.

Antes de instalar el CPC en el área definitiva, se realizó el análisis de sombreadamiento (capítulo 4.9), para verificar que ninguna sombra pudiera afectar la incidencia solar sobre el CPC y sea un factor negativo para el rendimiento del CPC.

TRAZADO DE RAYOS

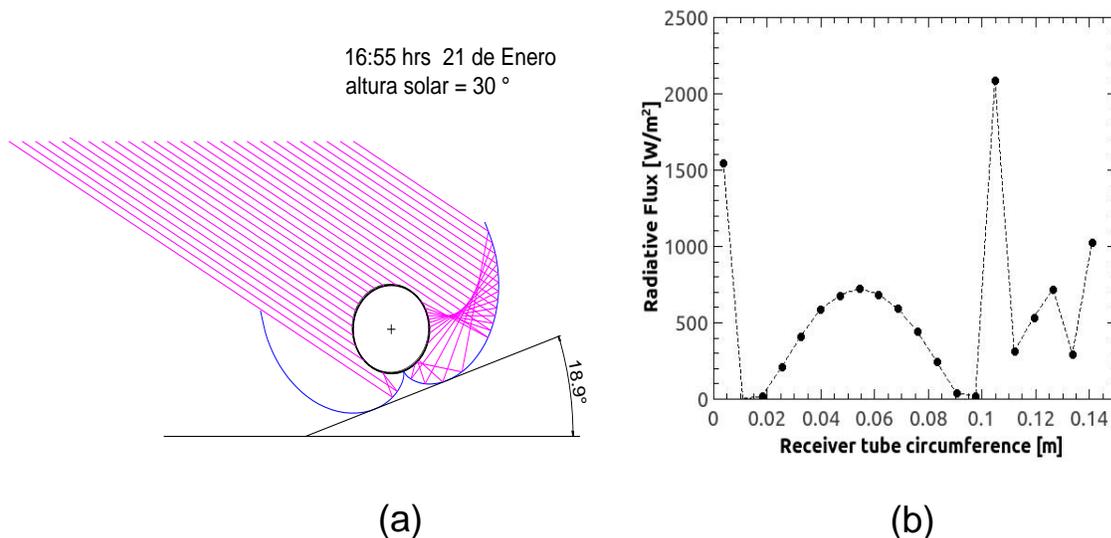
Para describir el fenómeno de recepción y reflexión de los rayos solares que tiene lugar en el CPC, se realizó un análisis de trazado de rayos. El comportamiento óptico-energético del CPC, se analizó con el software Tonatiuh, donde se realizó el análisis de trazado de rayos desde el sol hasta la interacción óptica del mismo.

El trazo de rayos se realizó con un valor de 10 Millones de rayos para 5 días en diferentes épocas del año en una hora en particular, para el cálculo de la distribución

del flujo se consideró una malla de 20x20. El CPC capta la radiación solar la mayor parte del año, debido al ángulo de 180° de apertura del CPC y a su inclinación, la componente azimutal del vector solar sólo afecta la captación solar en las orillas del canal CPC. El análisis del trazo de rayos se restringió a un análisis 2D, evaluando únicamente la variación en la concentración solar como función en la variación de la altura solar.

En las siguientes figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6, se muestran los resultados del trazado de rayos para 5 fechas representativas de las estaciones del año, con su respectiva altura solar. Las figuras están representadas de la siguiente manera:

- (a) trazo de rayos geométrico, con inclinación de 18.9°
- (b) distribución del flujo radiativo (W/m^2), en la superficie del tubo receptor, el eje X es la circunferencia extendida en el plano del tubo receptor (perímetro) mientras el eje Y refiere la componente longitudinal del tubo
- (c) distribución del flujo radiativo (W/m^2) en la superficie exterior del tubo receptor, representación gráfica polar, se observan las regiones del tubo receptor con mayor y menor concentración de rayos dependiendo de la posición del sol para la ubicación geográfica seleccionada.



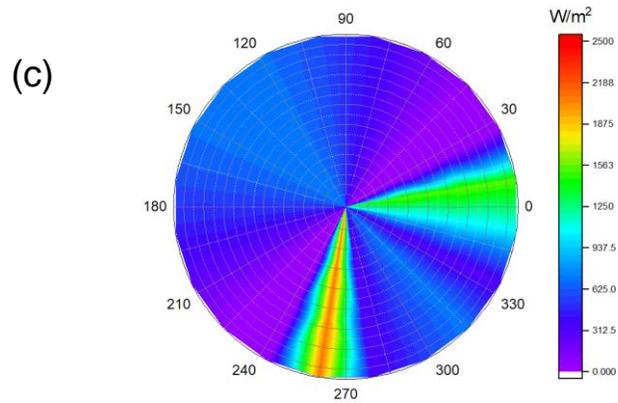


Figura 5.2. Trazo de rayos para el 21 de enero y altura solar de 30° , (a) trazo de rayos geométrico, (b) distribución circunferencial del flujo radiativo (c) distribución superficial del flujo radiativo.

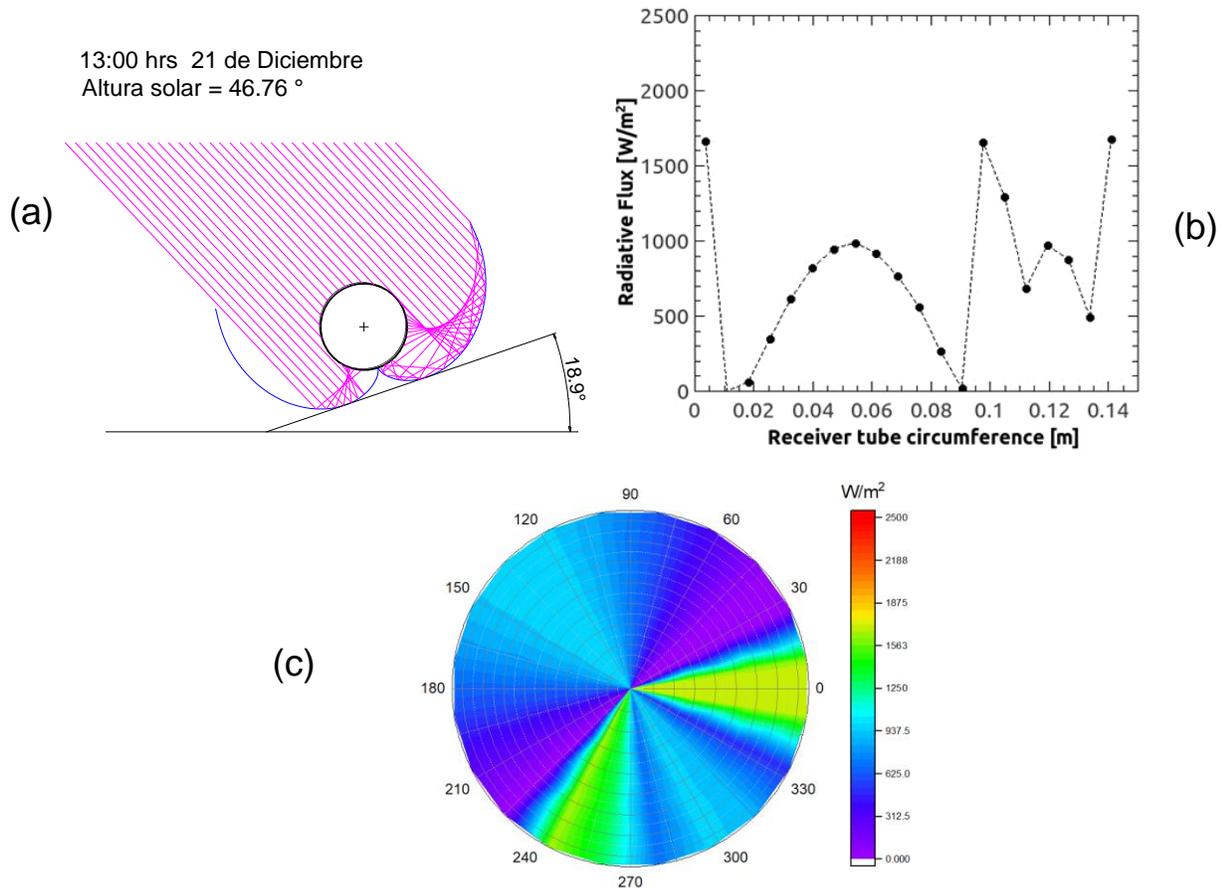


Figura 5.3. Trazo de rayos para el 21 de diciembre y altura solar de 46.76° , (a) trazo de rayos geométrico, (b) distribución circunferencial del flujo radiativo (c) distribución superficial del flujo radiativo.

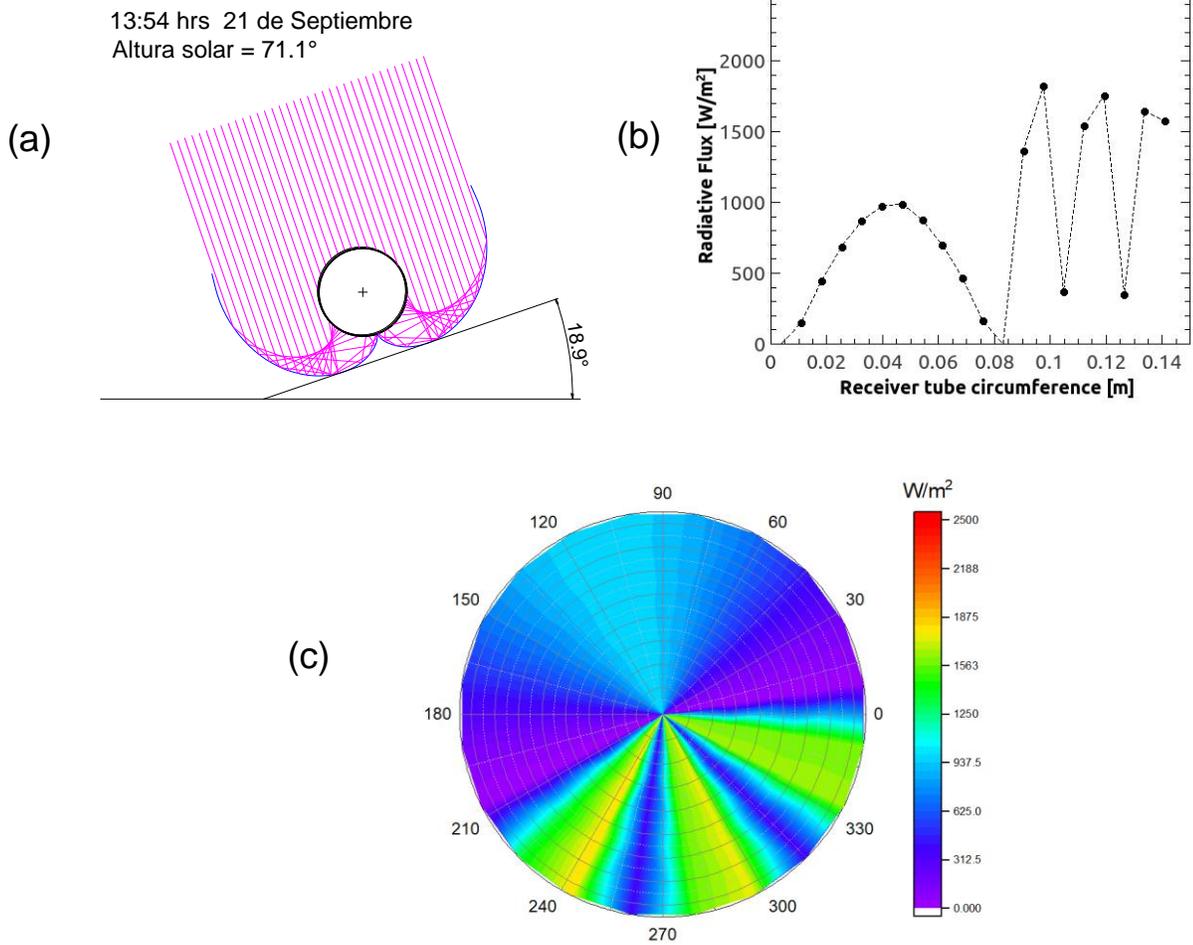
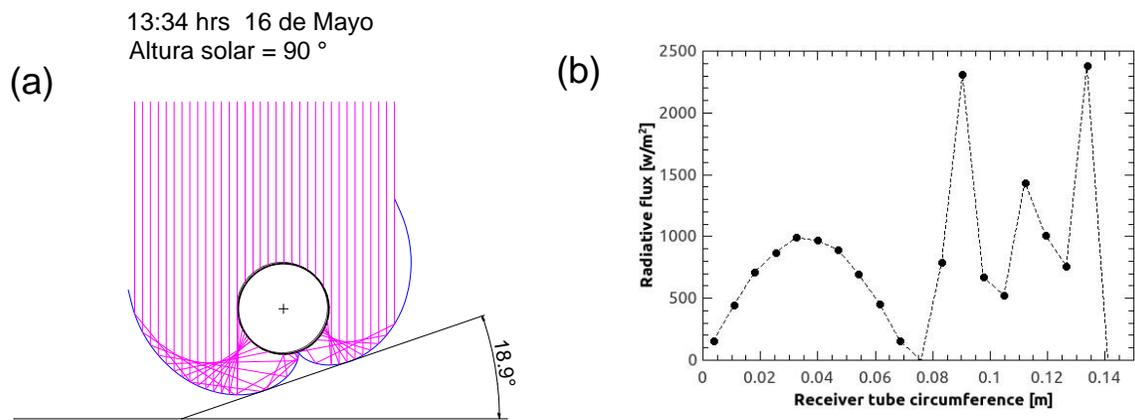


Figura 5.4. Trazo de rayos para el 21 de septiembre y altura solar de 71.1 °, (a) trazo de rayos geométrico, (b) distribución circunferencial del flujo radiativo (c) distribución superficial del flujo radiativo.



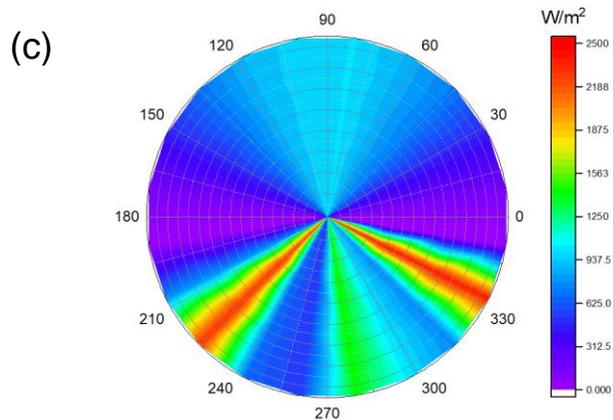


Figura 5.5. Trazo de rayos para el 16 de mayo y altura solar de 90° , (a) trazo de rayos geométrico, (b) distribución circunferencial del flujo radiativo (c) distribución superficial del flujo radiativo.

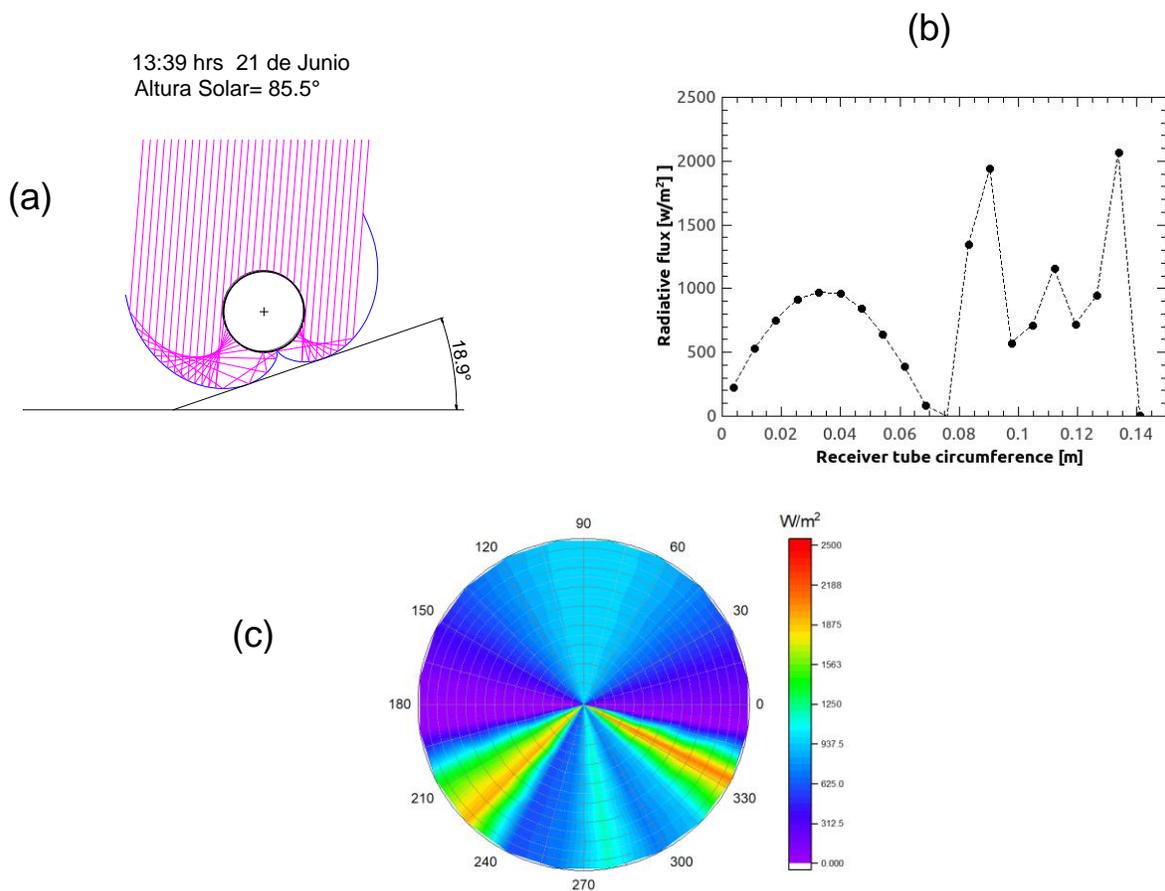


Figura 5.6. Trazo de rayos para el 21 de junio y altura solar de 85.5° , (a) trazo de rayos geométrico, (b) distribución circunferencial del flujo radiativo (c) distribución superficial del flujo radiativo.

En las figuras se observa que la distribución del flujo no es homogénea, principalmente, en el tubo receptor. Las zonas en color violeta reciben bajas cantidades de radiación solar, las zonas en color verde, amarillo y rojo reciben flujos de radiación superiores a 1 kW/m^2 . Se observa que, la captación de radiación es mínima en las regiones donde el vector solar es tangente al tubo receptor y hay un incremento homogéneo en la sección frontal del tubo receptor expuesto a la radiación directa.

En la sección posterior del tubo receptor solamente inciden los rayos reflejados por el CPC, es por ello que, dependiendo del ángulo de incidencia, hay 2 o 3 regiones donde se concentra más la radiación solar, como se observa en las figuras (b) y (c).

El CPC opera satisfactoriamente durante todo el año, sin necesidad de seguimiento solar, los cambios en la distribución de la irradiación solar sobre el tubo receptor se deben al cambio en la altura solar, la cual es máxima en el medio día solar, por ello para el trazo de rayos se evaluaron diferentes días del año cerca del mediodía solar.

ANÁLISIS DE AGUA

El sistema purificador, se puso en funcionamiento, para verificar y dar cumplimiento con los objetivos planteados en esta investigación. El agua se trasladó del pozo al tanque del CPC. De acuerdo con la metodología se pone en funcionamiento el CPC, las muestras se tomaron entre los meses de febrero y marzo de 2021.

Se tomaron 3 muestras por triplicado, del agua cruda y el agua al final del proceso solar, con los flujos 5.3 L, 10.6 L y 16 L en los horarios 12:00, 13:00 y 14:00 h. Se analizaron los parámetros de bacterias coliformes totales iniciales (BCTi) y bacterias coliformes fecales iniciales (BCFi) antes de que el agua entre al CPC. El tiempo de retención hidráulica (TRH) en el CPC para todos los flujos es de 1 hora.

Para verificar que se llevó a cabo la desinfección solar, se vuelve a analizar el agua al final del proceso solar, midiendo nuevamente las bacterias coliformes totales

finales (BCTf) y bacterias coliformes fecales finales (BCFf). Las muestras se analizaron en un laboratorio certificado por la EMA (entidad mexicana de acreditación). Para la cuantificación de coliformes, se utilizó la Técnica de Tubos Múltiples de Fermentación o Número Más Probable (NMP/100 mL) [APHA, 1992].

Los diferentes flujos de agua se exponen a la radiación por dos horas y se miden los parámetros de temperatura de entrada del agua al CPC (TE) y temperatura de salida del CPC (TS), también se mide radiación global (RADglo), radiación UV y se calcula la eficiencia instantánea (Efec.Ins).

A continuación, se muestran tablas y gráficos de los resultados en promedio.

Para el flujo 5.3 L. Se muestran los resultados en la tabla 5.1, se observa que, para ese flujo la desinfección final fue la adecuada en los tres diferentes horarios, ya que el análisis del agua al inicio, muestra cierta cantidad de coliformes y el análisis al final de la desinfección solar muestra ausencia de coliformes.

Tabla 5.0. Promedio de resultados para el flujo 5.3 L

HORA	TE (°C)	TS (°C)	BCTi (NMP/100 mL)	BCFi (NMP/100 mL)	BCTf (NMP/100 mL)	BCFf (NMP/100 mL)	RADglo (W/m ²)	UV (μmol/m ² s)	Efic Ins (%)
12:00	19.6	68.6	10	6	0	0	815.33	171	32.42
13:00	20.3	70.3	10	6	0	0	894.33	182.83	30.13
14:00	20.3	70.3	12	7	0	0	869	180.5	30.13

En la figura 5.7, se observa el cambio de temperatura del agua, cuando entra al CPC (TE), al inicio de la desinfección (color azul) y la temperatura de salida del agua (TS), al final del proceso solar (color naranja), la temperatura más alta que se alcanza es de 70 °C.

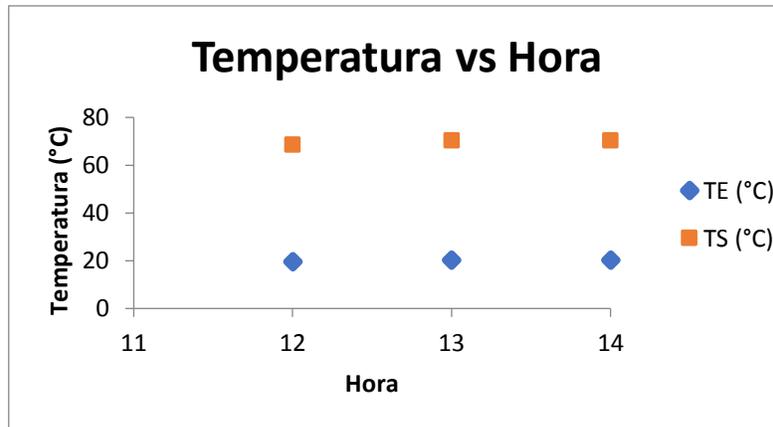


Figura 5.7. Temperatura inicial y final para 5.3 L.

Por otro lado, en la figura 5.8 se observa el cambio en cuanto a bacterias coliformes totales iniciales (BCTi, color azul) y bacterias coliformes fecales (BCFi, color naranja). Después de la desinfección solar, en los tres horarios muestreados, claramente se ve en ceros la cantidad de coliformes totales y finales, que se observa en color amarillo y gris.

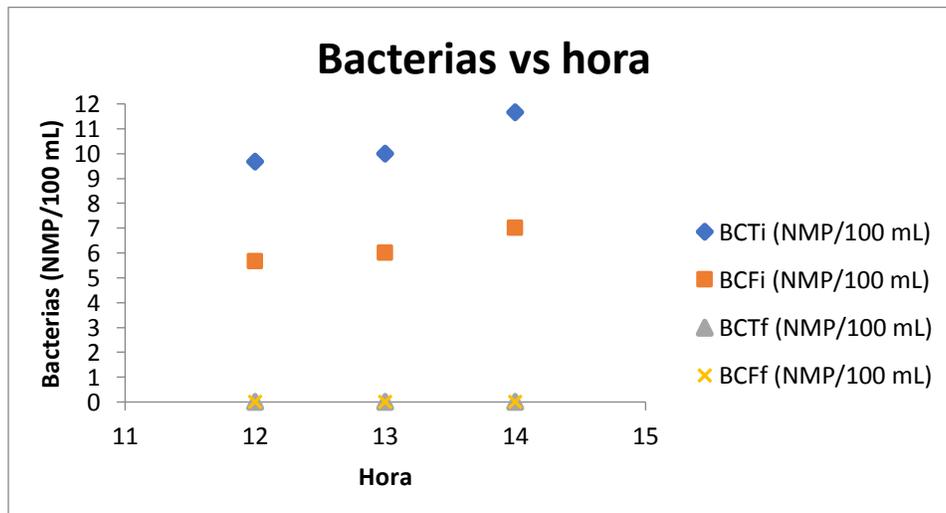


Figura 5.8. Cantidad de bacterias posterior a la desinfección solar para 5.3 L.

Para el flujo 10.6 L, se muestran los resultados en la tabla 5.1, se observa que, para ese flujo la desinfección final fue solo adecuada para las 13:00 h, debido a que

la radiación es mayor y la temperatura promedio del agua fue de 59 °C. A las 12:00 h y 13:00 h no se logra la desinfección total, sin embargo, las bacterias bajan significativamente. Debido posiblemente a que el flujo a desinfectar es mayor y posiblemente requiera más tiempo de retención el agua en el CPC.

Tabla 5.1. Promedio de resultados para el flujo 10.6 L.

HORA	TE (°C)	TS (°C)	BCTi (NMP/100 mL)	BCFi (NMP/100 mL)	BCTf (NMP/100 mL)	BCFf (NMP/100 mL)	RADglo (W/m ²)	UV (μmol/m ² s)	Efic Ins (%)
12:00	19.3	57.6	10	5	3	2	771	174.83	53.73
13:00	19.6	59	8	4	0	0	885.33	181.66	47.61
14:00	20	58.3	11	7	1	0	834	178.16	49.29

En la figura 5.9, se observa el cambio de temperatura del agua al inicio (TE) y la temperatura de salida del agua (TS), al final del proceso solar, la mayor temperatura es de 59 °C y las temperaturas iniciales del agua cruda fueron de 19 °C en promedio.

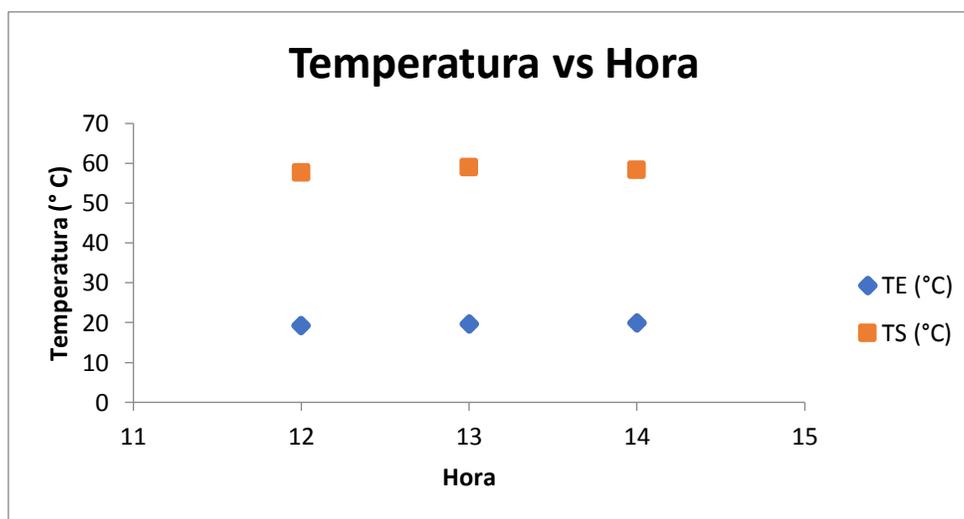


Figura 5.9. Temperatura inicial y final para 10.6 L.

En cuanto a bacterias coliformes iniciales y finales, para el flujo de 10.6 L, se observa en la figura 5.10, después de la desinfección solar, en los tres horarios

muestreados, claramente se ve en ceros la cantidad de coliformes en el horario de 13:00 h, mientras que disminuyeron considerablemente a las 14:00 h.

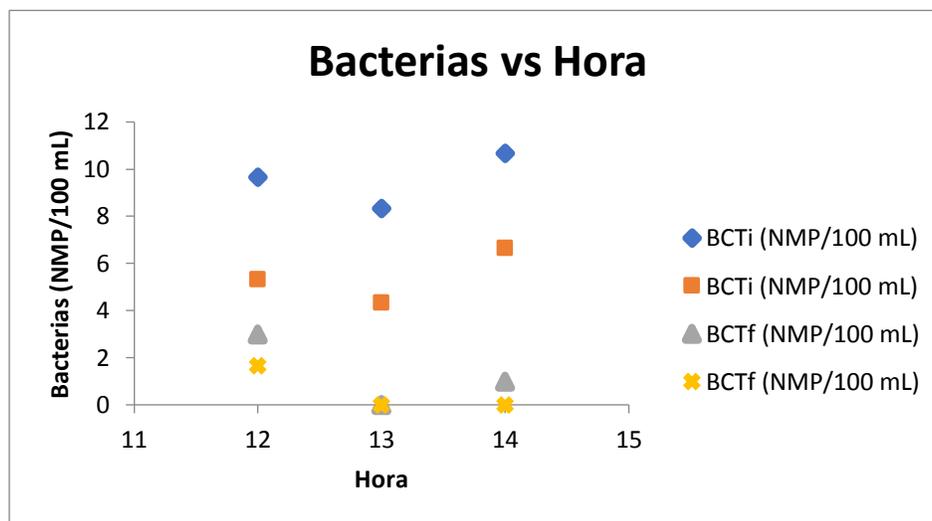


Figura 5.10. Cantidad de bacterias posterior a la desinfección solar para 10.6 L.

Para el flujo 16 L, se muestran los resultados en la tabla 5.2, se observa que, para ese flujo la desinfección final fue igual que para el flujo 10.6 L, solo fue adecuada para las 13:00 h, cuando la radiación fue mayor y la temperatura promedio de 59 °C. También observamos que en este flujo se dieron las mayores eficiencias. A las 12:00 h y a las 14:00 h, no se logró la desinfección total, pero sí disminuyeron en un 50 % las bacterias, Debido posiblemente a que el flujo a desinfectar es mayor y posiblemente requiera más tiempo de retención el agua en el CPC.

Tabla 5.2. Promedio de resultados para el flujo 16 L.

HORA	TE (°C)	TS (°C)	BCTi (NMP/100 mL)	BCFi (NMP/100 mL)	BCTf (NMP/100 mL)	BCFf (NMP/100 mL)	RADglo (W/m ²)	UV (μmol/m ² s)	Efic Ins (%)
12:00	20.33	55.66	10	6	5	2	782.33	174.5	73.06
13:00	20.66	58.66	8	5	0	0	876.33	181.16	70.14
14:00	20.66	53	12	7	5	2	839.66	178.33	62.31

En la figura 5.11, se observa el cambio de temperatura del agua al inicio (TE) y la temperatura de salida del agua (TS), al final del proceso solar, la mayor temperatura es de 58.6 °C y las temperaturas iniciales del agua cruda fue de 20 °C en promedio.

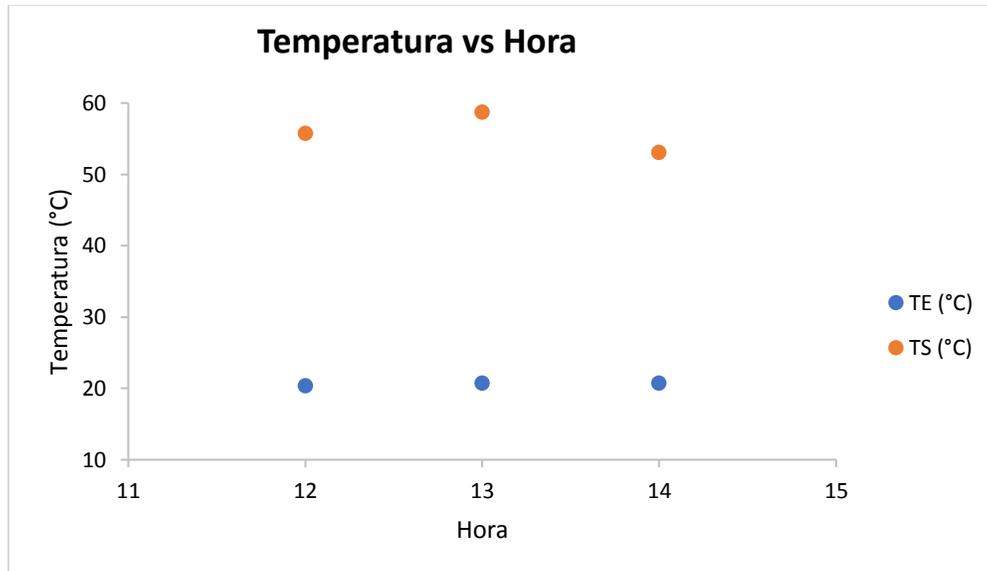


Figura 5.11. Temperatura inicial y final para 16 L.

En cuanto a bacterias coliformes totales iniciales (BCTi) y las finales (BCTf), para el flujo de 16 L, se observa en la figura 5.12, después de la desinfección solar, en los tres horarios muestreados, claramente se ve en ceros la cantidad de coliformes en el horario de 13:00 h, mientras que disminuyeron casi al 50 % a las 12:00 h y las 14:00 h.

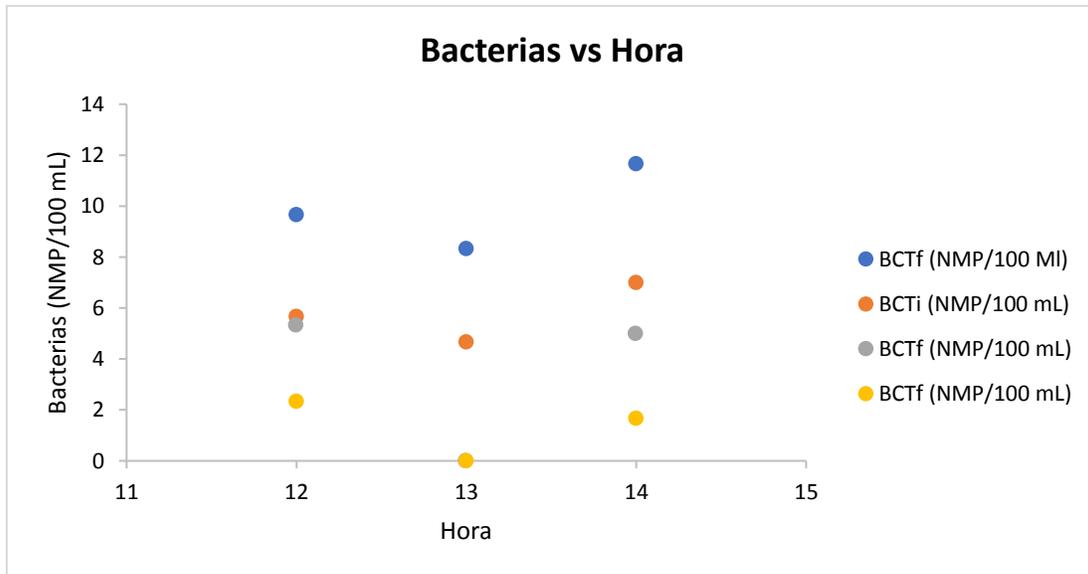


Figura 5.12. Cantidad de bacterias posterior a la desinfección solar para 16 L.

PORCENTAJE DE REMOCIÓN BACTERIANA.

Con los resultados de la cuantificación de coliformes fecales y totales posteriores a la desinfección, se calculó el porcentaje de remoción [Muñoz y Baumann 2017], haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{Entrada - Salida}{Entrada} \times 100$$

cuyos resultados de remoción bacteriana se presentan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Porcentaje de remoción bacteriana.

Hora	% DE REMOCION		
	5.3 L/h	10.6 L/h	16 L/h
12.00	100	70	50
13:00	100	100	100
14:00	100	90.9	58.3

Se observa claramente el 100 % de remoción en 5.3 L en los tres diferentes horarios, en los otros flujos, el 100 % de remoción solo se da a las 13:00 h. Aun así, el

porcentaje de remoción a las 12:00 h está entre el 50 % y 70 % y a las 14:00 h está en un intervalo de 58 % a 90.9 %.

EFICIENCIA DEL CPC.

La eficiencia térmica del captador solar determina el calor que el CPC aprovecha para realizar su función. En las pruebas realizadas el rendimiento térmico oscila entre 0.44 a 0.49, siendo un rendimiento aceptable para estos sistemas. En la figura 5.13, se observa la eficiencia del CPC en función de la diferencia de temperatura de entrada y de salida con respecto a la irradiancia.

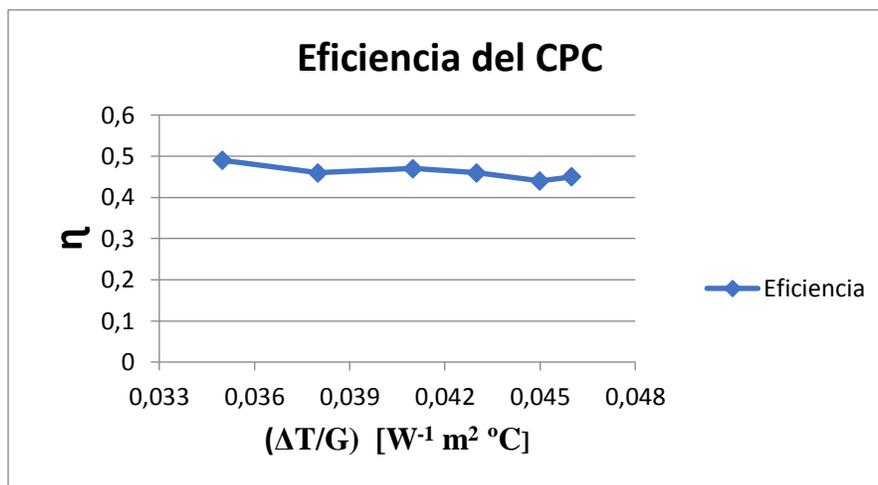


Figura 5.13. Eficiencia del CPC

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE COSTOS

El costo de un proyecto, siempre resulta un elemento importante a considerar en la aplicación de las nuevas tecnologías de investigación. No es lo mismo un proyecto que se aplica en laboratorio en condiciones controladas, a un proyecto que se construye fuera del entorno universitario y se instala directamente en una comunidad para su operación, ya que se tienen que considerar otros gastos. La investigación desarrollada en este trabajo promueve la salud al desinfectar agua, al cuidado ambiental ya que usa energía asequible, es una producción limpia, con bajo costo operacional y cumple con parte de los objetivos de desarrollo sostenible.

Es claro que cualquier nueva tecnología, puede ser cara en comparación de otros procesos tecnológicos, pero si se compara el costo con el valor añadido medioambiental que proporciona este proyecto para solucionar un problema de contaminación de agua, no sería relativamente caro. Ya que el CPC tiene una vida media de 14 años y poco mantenimiento, además se pueden hacer sinergias, con empresas o gobierno para bajar costos y poder aplicar este proyecto de desinfección de agua solar en diferentes comunidades rurales.

Los costos que influyen en este proyecto son: diseño, ingeniería, instalación, operación y tratamiento de agua, a continuación, se describe cada uno de ellos.

Costo de diseño e Ingeniería: Este costo incluye el diseño completo, planificación, dirección del proyecto para la construcción del prototipo con las especificaciones necesarias de los diferentes componentes, así como la utilización de las máquinas, herramientas, operadores y soporte técnico que se usaron en su construcción.

Costo de Instalación: Se incluyen el total de los equipos y componentes de la instalación. Las estructuras de soporte, os canales del CPC, las tuberías de vidrio, conexiones de agua y electricidad, tanques, tuberías, bomba e instrumentación.

Costos de operación: Se incluye el equipo y gasolina para el transporte de agua desde el tanque de distribución hasta el CPC, la electricidad que se necesita para la bomba de agua.

Costo de tratamiento de agua: Considera los materiales para muestrear, conservar, transportar y analizar el agua para análisis del agua.

La tabla 6.0, muestra los costos de la prensa de conformado que se utilizó, para la elaboración de los canales parabólicos del CPC. Cabe mencionar que este costo es inicial. Ya que si necesitaran producir más CPCs con esta prensa ya no se incluiría este costó posteriormente.

Tabla 6.0 Costo de la prensa de conformado

MATERIALES	COSTO
PTR de 1 1/2", cal.14 acero al carbón	\$1,500.00
Maquinado de flechas y mecanismos	\$1,800.00
Baleros	\$300.00
Resortes de compactado	\$350.00
Lamina de acero galvanizado cal. 18	\$150.00
Pailería de mecanismos y brazos	\$950.00
Mano de obra de fabricación	\$1,200.00
Diseño de Proceso e conformado	\$3,500.00
TOTAL	\$9,750.00

Por otro lado, los costos de la construcción del CPC y estructuras de soporte se muestran en la tabla 6.1. El costo total de \$66,500.00, incluye método, maquinaria, materiales, mano de obra e instalación hidráulica.

Tabla 6.1 Costo de construcción del CPC

MAQUINARIA	COSTO
Roladora (diseño, manufactura, prueba, ajuste)	\$5,000.00
Soldadura	\$1,000.00
Cizalla	\$1,000.00
Torno	\$2,500.00
Dobladora	\$1,000.00
Compresor para pintura	\$500.00
Subtotal	\$11,000.00
MÉTODO	COSTO
Plano de manufactura	\$8,000.00
Subtotal	\$8,000.00
MANO DE OBRA	COSTO
Pailero	\$4,000.00
Fontanero	\$1,500.00
Tornero	\$2,500.00
Ingeniero	\$10,000.00
Supervisor	\$4,000.00
Subtotal	\$22,000.00
MATERIALES	COSTO
Lámina de acero galvanizado cal. 22	\$1,300.00
Lámina de aluminio anodizado alta reflectividad	\$1,500.00
PTR de 2", cal. 14	\$3,000.00
Tubos de vidrio borosilicato Duran	\$7,000.00
Accesorios de PVC hidráulico	\$2,500.00
Bomba de carga	\$1,200.00
Tanques 100 L	\$1,600.00
Vidrio para cubierta	\$2,000.00
Accesorios de sellado	\$400.00
Otros gastos	\$5,000.00
Subtotal	\$25,500.00
TOTAL= \$66,500.00	

Por último, en la tabla 6.2, se muestran los costos de los instrumentos que se utilizaron para medir los diferentes parámetros, así como los costos del análisis de agua.

Tabla 6.2 Costo de los instrumentos

INSTRUMENTOS Y OTROS	COSTO
Termómetros (5)	\$1,000.00
Medidores de radiación (2)	\$8,000.00
Sensor UV	\$5,000.00
Flujómetro	\$1,500.00
Voltímetro	\$300.00
Hielera	\$700.00
Refrigerantes (6)	\$1,200.00
Frascos para muestras (6)	\$900.00
Recipientes de agua	\$200.00
Análisis de muestras (108)	\$32400.00
Transporte	\$4,000.00
TOTAL	\$55,200.00

El costo total del proyecto es de \$131,450.00; sin embargo, como se explicó al principio de este capítulo, si se compara el costo con el beneficio, definitivamente no es un precio exorbitante ya que a medida que las fuentes de agua sean más escasas y mayor la demanda tanto industrial como de salud pública, será igualmente mayor la necesidad de tratamientos de desinfección de aguas innovadores y competitivos en costo, existiendo un claro potencial para los proyectos, como los CPCs, basados en la luz solar.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En este proyecto se confirma el tratamiento de aguas contaminadas con coliformes totales y fecales por medio de tecnologías solares, empleando un CPC.
- El CPC es un sistema que puede utilizarse en poblaciones alejadas para obtener agua que sea apta para consumo humano, utilizando energías limpias y con un bajo consumo energético.
- El CPC, se construye artesanalmente sin tener que usar una tecnología tan especializada, lo cual hace que pueda ser reproducido fácilmente en otras comunidades rurales.
- Las pruebas llevadas a cabo con el prototipo CPC, se realizaron en condiciones reales, en una comunidad rural, obteniendo como resultado un porcentaje elevado de remoción bacteriana, específicamente de coliformes totales y fecales. En los diferentes flujos que se analizaron se observa que en la hora de mayor radiación que es a las 13:00 h, se pueden desinfectar hasta 16 L.
- Los resultados obtenidos van de acuerdo a la radiación solar, esto indica que el desempeño del CPC depende de las condiciones climáticas. Se observa un claro incremento de temperatura entre el flujo de entrada y el que sale del CPC.
- La ubicación geográfica de Ahuatenco y sus condiciones climáticas hacen posible implementar el Método SODIS por medio del CPC, como alternativa de desinfección del agua.
- Este proyecto podrá ser utilizado por las personas de bajos recursos y que no cuenten con el acceso al agua potable, por su eficacia inactivando microorganismos causantes de enfermedades.

- Después de haber aplicado la desinfección solar, los resultados de las pruebas microbiológicas del agua mostraron disminución hasta el punto que eliminaron por completo la presencia de coliformes totales y fecales.
- El agua desinfectada cumple con los estándares de coliformes totales y fecales, definidos por la norma NOM-127-SSA1-1994, esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.
- La tecnología desarrollada, es construido con materiales que se consiguen fácilmente y puede ser reproducido sin inconvenientes. El CPC se pone al servicio de la comunidad para ayudar a mejorar su calidad de vida. Esto hace parte de la responsabilidad social de la ciencia y la tecnología. El CPC.

RECOMENDACIONES

- El CPC, se fabricó como un prototipo a escala, sin embargo, con la prensa de conformado se puede hacer en mayor tamaño, para desinfectar mayores volúmenes de agua.
- Con la tecnología instalada se puede capacitar a las familias que usarán el CPC, para que lo cuiden y de que lo utilicen adecuadamente.
- En el CPC se puede montar otro tipo de material que tenga un alto índice de reflectancia en el rango de los rayos UV, como el Mylar.
- Realizar la desinfección de agua en otros horarios y en otras temporadas del año como la época de lluvia y días nublados.
- Probar la desinfección solar del CPC para diferentes microorganismos y con diferentes concentraciones.
- Es recomendable no utilizar agua turbia durante la desinfección solar ya que los rayos del sol no penetraran por completo, reduciendo la eficiencia del método.

- Se debe consumir el agua en un lapso de tiempo de no más de 2 días después de haberla desinfectado, ya que puede haber regeneración del ADN bacteriano.

REFERENCIAS:

- Abdallah, S., & Nijimeh, S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Convers, manage*, 45(11-12), 1931-1939.
- Aboushi, A., Hamdan, M., Abdelhafez, E., Turk, E., Ibbini, J., & Abu Shaban, E. (2021). Water disinfection by solar energy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(17), 2088-2098.
- Acosta, A. M. (2010). *Plan de negocios para la distribución de paneles solares con la utilización de energías renovables. Tesis de Maestría*. Jalisco, México: ITESO.
- AEM. (2019). Agencia Estatal de Metereología. *La radiación solar*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Aguayo, D., Velázquez, N., & Ojeda, S. (2010). II Simposio Iberoamericano de Ingenieria de Residuos. *Desarrollo de un sistema de calentamiento solar y acoplamiento a un digestor anaeróbico*. Barranquilla, Colombia.
- Almanza, R., & Muñoz Gutiérrez, F. (1994). *Ingeniería de la Energía Solar*. México: Colegio Nacional.
- Amundarain, M. (2012). La energía renovable procedente de las olas. *Ikastorratza, e-Revista Didáctica*(8).
- Anderson, B. (1977). *Solar Energy: fundamentals in building desing*. New York: McGraw-Hill.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (17 ed.). USA: Ediciones Días de Santos S.A.
- Arias, D., Magaña, P., Cárdenas, E., & Ruíz, S. (2017). Desinfección solar de agua embalsada implementando un sistema de concentrador de canal parabólico. Centro Universitartio de Tonalá. Universidad de Guadalajara.

- Astromía. (2019). *Movimientos y estaciones de la tierra*. Recuperado el 21 de febrero de 2019, de Astromía.com: <https://www.astromia.com/solar/estatierra.htm>
- Ballestrín, J., & Marzo, A. (2012). Solar radiation, attenuation in solar tower plants. *Solar Energy*, 86(1), 388-392.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2010). *Agua potable, saneamiento y los objetivos de desarrollo del milenio en América Latina y el Caribe*. Washington D.C: BID.
- Baranov, V., & Melnikov, G. (1966). Study of the illumination characteristics of hollow focons. *Sov. J. Opt. Technol*, 33, 408-411.
- Bermudes, D., & Solano, C. (2015). Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario en el sector La Pereira, Provincia de El Oro. *Tesis de Licenciatura*. Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Blanco Gálvez, J. (2002). Desarrollo de colectores solares sin concentración para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua. *Tesis Doctoral*. España: Universidad de Almería.
- Blanco, J., Malato, S., Maldonado, M. I., Fallmann, H., Krutzler, T., & Bauer, R. (1999). Technoeconomical assesment of solar detoxification systems with compound parabolic collectors. *J. Phys.*, IV(3), 259-264.
- Brunotte, M., Tratzky, S., & Doenitz, F. (1998). *Development of a highly UV transmissivity glass reactor*. Schott-Rohrglas GmbH. Proyecto SOLARDETOX: Informe de progreso.
- Carvalho, M. J., Collares-Pereira, M., Gordon, J. M., & Rabl, A. (1985). Truncation of CPC Solar Collectors and its Effect on Energy Collection. *Solar Energy*, 35(5), 393-399.
- Castrillon, J., & Hincapié, D. (2012). Análisis experimental de un colector solar parabólico usando tubos de calor para potabilizar agua. Medellín: ITM.
- Celada, C., & Marques, L. (1993). Uso de la energía solar en la desinfección del agua. *Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar*. México: Asociación Nacional de Energía Solar.
- Chao, B. T., & Rabl, A. (1977). *Means of increasing efficiency of CPC solar energy collector*. Google Patents.
- Claure, M. A. (2006). Validación del método SODIS como alternativa para la desinfección de agua en la ciudad de Catamas. *Tesis de licenciatura*. Honduras: Departamento de Olancho.

- Collares-Pereira, M. (1995). The relevance of Non- Imaging optics for solar energy: a review. *Revista de Engenharia Técnica, IST(3)*.
- CONAGUA. (2015). Comisión Nacional del Agua. *Atlas del agua en México*. Mexico: SEMARNAT. Gobierno de México.
- CONAGUA. (2016). Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable*. México: SEMARNAT. Gobierno de México.
- CONAGUA. (2019). Comisión Nacional del Agua. *Estadísticas del Agua en México*. México: SEMARNAT. Gobierno de México.
- Concheiro, A., & Rodriguez, L. (1985). *Alternativas Energéticas*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Cotler Ávalos, H. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México*. (I. d. Ecología, Ed.) México: Pluraria ediciones e impresiones S.A. de C.V.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. New York: McGraw-Hill.
- Cruz Nájera, A. (2016). Impacto de la generación fotovoltaica conectada a la red de baja tensión. *Tesis de licenciatura*. México: INP.
- De Cusa, J. (1998). *Energía solar para viviendas*. España: Ediciones CEAC.
- De la Cuesta, C. R. (2012). Diseño de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria. *Proyecto fin de carrera*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Díaz, C. D. (2017). *Afloramientos de agua*. Santiago, Chile: Instituto Profesional INACAP.
- Díez, G. (2007). *Diseño de laboratorio de tratamientos de agua para sistemas de potabilización*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Durán Juárez, J. M., & Torres Rodríguez, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad, XII(36)*, 129-162.
- Echavarría, L. C. (2011). Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua. *Tesis de Maestría*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- EcuRed Contributors. (2019). *Desarrollo sostenible*. Recuperado el 28 de enero de 2021, de https://www.ecured.cu/index.php?title=Desarrollo_sostenible&oldid=3591008

- EDPILO. (2020). *Uso de los rayos UV para esterilizar objetos*. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de Novomun CNC technology: <https://www.novomun.com/blog-novomun/radiacion-uv-para-esterilizar/>
- Energya. (2018). *Energía Solar Térmica*. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de Energya VM: <https://www.energyavm.es/energia-solar-termica/>
- EPA. (1999). *Desinfección con luz ultravioleta*. United States Environmental Protection, Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Washindton, D.C.: Agency Office of Water.
- Estébanez Nuñez, N., Fraile Lafuente, I., & Santano Rivero, D. (2008). *Microorganismos patógenos del agua*. Estudio de Molinao Erreka. San Sebastian, España: Colegio la Anunciata.
- ESWAG/SANDEC. (2017). *SODIS bulletins*. Boletines de la seccion Agua y Saneamiento. Suiza: Instituto Federal Suizo para el Medio Ambiente, la Ciencia y la Tecnología.
- FCEA. (2020). *VISIÓN GENERAL DEL AGUA EN MÉXICO*. Obtenido de Agua.org: <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/>
- Fernández, J. (2008). *Compendio de Energía Solar: fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*. Madrid, España: AMV Ediciones.
- Flores, B. C. (2019). *Tipos de Radiación*. Recuperado el 28 de enero de 2021, de Biofísica: <https://medbiofisicaug.blogspot.com/p/unidad-3.html>
- FUMEC. (2019). *Sector de energía solar*. Fundación México-Estados Unidos para la ciencia. México: Gaceta de la Secretaria de Economía y de FUMEC.
- Funk, P. A., & Larson, D. L. (1998). Parametric model of solar cooker performance. *Solar Energy*, 62(1), 63-68.
- García-Gil, A., García-Muñoz, R. A., McGuigan, K. G., & Marugán, J. (2021). Water Disinfection to Produce Safe DrinkingWater: A Review of Parameters, Enhancements, and Modelling Approaches to Make SODIS Faster and Safer. *Molecules*(26), 3431.
- Garrido, I., Fernández Da Silva, R., & Storaci, V. (2013). Evaluacion del método "SODIS" en la desinfección del agua para abastecimiento en La Guadalupe, Chirgua, municipio Bejuma del estado Carabobo. *Revista Ingeniería UC*, 20(2), 29-38.
- Gill, W., & Price, C. (2010). Preliminary observations of a continuous flow solar disinfection system for a rural community in Kenya. *Energy*(35), 4607-4611.
- Gjessing, E. T., & Kallqvist, T. (1991). Algicidal and chemical effect of u.v.-radiation of water containing humic substances. *Water Research*, 25(4), 491-494.

- Global Solar Atlas. (2017). *Radiación Global*. (W. B. Group, Editor) Recuperado el 28 de enero de 2021, de Folleto SOLARGIS: <https://globalsolaratlas.info/map?c=8.494105,26.542969,3>
- Gómez-Couso, H., Fontán-Sainz, M., Navntoft, C., Fernández-Ibáñez, P., & Ares-Mazás, E. (2012). Comparison of different solar reactors for household disinfection of drinking water in developing countries: evaluation of their efficacy in relation to the waterborne enteropathogen *Cryptosporidium parvum*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 106(11), 645-652.
- González Pérez, D. (2017). Tratamiento ultravioleta del agua a escala doméstica: sistema de desinfección solar usando la óptica anidólica. *Tesis de Maestría*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- González Reynoso, A. E., Jiménez Cisneros, B., Barrios Reynoso, J. E., & Torregrosa y Armentia, M. L. (2019). *Calidad del Agua en las Américas. Riesgos y oportunidades*. México: The Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS).
- Greenpeace. (2017). *La energía solar termoeléctrica*. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de [greenpeace.org](http://archivos.greenpeace.org/espana/es/news): <http://archivos.greenpeace.org/espana/es/news>
- Grocock, N. H. (1984). Disinfection of drinking water by ultraviolet light. *J. of the Institute of Water Engineers and Scientists*, 38(20), 163-172.
- Hass, G. (1965). *Applied Optics and Optical Engineering* (Vol. III). New York: Academic Press.
- Hinterberger, H., & Winston, R. (1966). Efficient Light Coupler for Threshold Čerenkov Counters. *Rev. Sci. Instrum.*, 37(8), 1094-1095.
- Ibáñez Plana, M., Rosell Polo, J. R., & Rosell Urrutia, J. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid: Mundiprensa.
- Ideam. (2020). *Características de la radiación solar*. Recuperado el 20 de febrero de 2021, de [ideam.gov](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar): <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- IEEE. (2017). El agua fuente de conflicto o cooperación. *Cuadernos de Estrategia* 186. (I. E. Estratégico, Ed.) España: Ministerio de Defensa.
- INEGI. (2020). *Características de las defunciones registradas den México durante 2019*. Recuperado el 29 de octubre de 2020, de Comunicado de prensa núm. 480/20: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/EstSocio demo/DefuncionesRegistradas2019.pdf>

- INEGI. (2022). *Censos de población y vivienda*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/>
- Jagger, J. (1967). *Introduction to research in ultraviolet photobiology*. New Jersey, USA: Englewood Cliffs:Prentice-Hall.
- Jara Tirapegui, W. (2016). *Introducción a las Energías Renovables No Convencionales*. Chile: Leaders, S.A.
- Jaramillo O., A. (2017). *Energía solar térmica de mediana temperatura para calor de proceso*. México: Instituto de Energías Renovables. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kalogirou, S. (2003). The potential of solar industrial process heat applications. *Applied Energy*(76), 336-337.
- Kalogirou, S. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*(30), 231-295.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering: processes and systems*. Burlington, EUA: Elsevier/Academic Press.
- Kalt, P., Birzer, C., Harrison, E., Liew, A., Padovan, M., & Watchman, M. (2014). A solar disinfection water treatment system for remote communities. *Procedia Engineering*, 78, 250-258.
- Khan Academy. (2021). *Luz y pigmentos fotosintéticos*. Recuperado el 21 de febrero de 2021, de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>
- Kothdiwala, A., Eames, P., & Norton, B. (2000). Convective heat transfer correlations for an enclosed horizontal compound parabolic cavity solar collector. *International Journal Solar Energy*, 20(3), 161-175.
- Kreider J., F. (1979). *Medium and High Temperature Solar Processes*. New York: Academic Press.
- Landau, L. (2007). *Física para todos. Academia de Física*. México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- Lindenauer, K. G., & Darby J., L. (1994). Ultraviolet disinfection of wastewater: effect of dose on subsequent photoreactivation. *Water Research*, 28(4), 805-817.
- Lorente, J. (2017). La radiación Solar. *Curso de fotoprotección*, 4, 1-19. (D. d. Meteorología, Ed.) Madrid, España: Universidad de Barcelona.
- MacMahon, J., & Gill, L. W. (2018). Sustainability of novel water treatment technologies in developing countries: Lessons learned from research trials on

- a pilot continuous flow solar water disinfection system in rural Kenya. *Development Engineering*, 3, 47-59.
- Madrid, V. (2009). *Energía solar térmica y de concentración. Manual práctico de diseño, instalación y mantenimiento*. Madrid: AMV ediciones.
- Martín, V. (2019). Rediseño y evaluación de un equipo de radiación UV-C para alimentos de origen vegetal. Tesis. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Martínez-García, A., Vincent, M., Rubiolo, V., Domingos, M., Fernández-Ibáñez, P., & Polo-López, M. I. (2020). Assessment of a pilot solar V-trough reactor for solar water disinfection. *Chemical Engineering Journal*, 399(125719).
- Matías Zapiola, J. (2020). *Día mundial del agua*. Recuperado el 5 de marzo de 2021, de INPER Geoproyectos: <https://www.pozos-de-agua.com/blog/dia-mundial-de-agua>
- McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H. J., duPreez, M., Ubomba-Jaswa, E., & Fernandez-Ibañez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. *Journal of Hazardous Materials*, 235-236, 29-46.
- McIntire, W. R. (1980). Optimization of stationary nonimaging reflectors for tubular evacuated receivers aligned north-south. *Solar Energy*, 24(2), 169-175.
- McLoughlin, O., Kehoe, S., McGuigan, K., Duffy, E., Gernjak, W., Malato Rodríguez, S., & Gill, L. (2004). Solar disinfection of contaminated water: a comparison of three small-scale reactors,. *Solar Energy*, 77(5), 657-664.
- Medina, C. (2010). Análisis del flujo energético 3d en colectores concentradores solares de diversas geometrías. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2011). A review on solar energy use in industries Review Article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1777-1790.
- Méndez Muñiz, J., & Cuervo García, R. (2008). *Energía solar térmica* (3a ed.). Madrid, España: FC Editorial. Fundación Confemetal.
- Ministerio de Salud. (2020). *Salud Ambiental*. Recuperado el 14 de junio de 2021, de Dirección de Salud Ambiental: <http://usam.salud.gob.sv/>
- Molina, M., Sarukhán, J., & Carabias, J. (2017). *El cambio climático*. México: FCE, SEP, CONACyT.
- Muhlia, A. (2017). *Los flujos de radiación solar de onda corta: la radiación global, directa y difusa*. Instituto de Geofísica, Observatorio de Radiación. México: UNAM.

- Muñoz-Nava, H., & Baumann, J. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 287-297.
- Mussengue Chaúque, B. J., Grando Brandão, F., & Marilise Brittes, R. (2022). Development of solar water disinfection systems for large-scale public supply, state of the art, improvements and paths to the future – A systematic review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107887.
- Najm, I., & Trussell, R. (2000). *New and Emerging Drinking Water Treatment Technologies*, en *Identifying Future Drinking Water Contaminants*. Washington: National Academy Press.
- Nalwanga, R., Quilty, B., Muyania, C., Fernandez-Ibañez, P., & McGuigan, K. (2014). Evaluation of solar disinfection of E. coli under Sub-Saharan field conditions using a 25L borosilicate glass batch reactor fitted with a compound parabolic collector. *Solar Energy*(100), 195-202.
- Neville, R. C. (1995). *The Sun and Sunlight. The Solar Cell* (2 ed.). U.S.A: The Solar Cell Elsevier Science.
- O'Gallagher, J., & Winston, R. (1983). Development of compound parabolic concentrators for solar energy. *Int. Journal of Ambient Energy*, 4(4), 171-186.
- OMS. (2019). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 15 de marzo de 2021, de the-top-10-causes-of-death: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- ONU. (2020). *Organización de las Naciones Unidas*. (ONU.ORG, Editor) Recuperado el 2021 de enero de 21, de La promesa de la energía solar: Estrategia energética para reducir las emisiones de carbono en el siglo XXI.: <https://www.un.org/>
- Ortega, N., García-Valladares, R., Best, R., & Gomez, V. (2008). Two-phase flow modelling of solar concentrator applied as ammonia vapor generator in an absorption refrigerator. *Renewable Energy*, 33(9), 2064-2076.
- Osinermin. (2013). *Introducción a las energías renovables*. Obtenido de Organismo Superior de la Inversión en energíiiiiiiiiiiiiiiiiiiii: <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>
- Osinermin. (2013). *Introducción a las energías renovables*. Recuperado el 28 de enero de 2021, de Organismo Superior de la Inversión en energía y Minería: <http://www2.osinerg.gob.pe/EnergiasRenovables/contenido/IntroduccionEnergiasRenovables.html>

- Paredes, V. C. (2012). Diseñador de captador cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. *Tesis de Doctorado*. Paraguay: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Parrotta, M. J., & Bekdash, F. (1998). UV disinfection of small ground water supplies. *Journal AWWA*, 90(2), 71-81.
- Perales, T. (2008). *Instalación de Paneles Solares Térmicos* (3 ed.). México: Alfa-Omega.
- Peuser, F. A., Remmers, K. H., & Schnauss, M. (2002). *Solar Thermal Systems: Successful Planning and Construction* (2 ed.). (S. Praxis, Ed.) Berlin: Earthscan Publications Ltd.
- PNUD. (2021). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. (ungo.org, Editor) Recuperado el 28 de enero de 2021, de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Polo-López, M. I., Fernandez-Ibañez, P., Ubomba-Jaswa, E., Navntoft, C., García-Fernández, I., Dunlop, P. S., . . . McGuigan, K. G. (2011). Elimination of water pathogens with solar radiation using an automated sequential batch CPC reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 196, 16-21.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. parte dos: sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73.
- Pozo, D. (2020). *Más allá del cambio de estaciones: ¿cómo influye la inclinación del eje de la Tierra en el clima?* Recuperado el 2020 de febrero de 26, de Hipertextual: <https://hipertextual.com/2020/12/cambio-estaciones-influye-inclinacion-eje-tierra-clima>
- Quinteros, E. (2008). Valoración de la calidad de la energía eléctrica respecto a huecos de tensión: índices y niveles de calidad. *Tesis Doctoral*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Rabl, A. (1976 b). Solar concentrators with maximal concentration of cylindrical absorbers. *Appl. Opt.*, 15(7), 1871-1873.
- Rabl, A. (1976). Optical and thermal properties of compound parabolic concentrators. *Solar Energy*, 18(6), 497-511.
- Rabl, A., Goodman, N., & Winston, R. (1979). Practical design considerations for CPC solar collectors. *Solar Energy*, 22, 373-381.
- Rabl, A., O'Gallagher, J., & Winston, R. (1980). Design and test of non-evacuated solar collectors with compound parabolic concentrators. *Solar Energy*, 25, 335-351.

- Rainer, F., Lowdermilk, W., Milam, D., Carniglia, C., Hart, T., & Lichtenstein, T. (1985). Materials for Optical Coatings in the Ultraviolet. *Appl. Opt.*, 24(4), 496-500.
- Ramírez Regalado, V. M. (2014). *Química 1*. México: Grupo Editorial Patria.
- Regli, S., Rose, J., Haas, C., & Gerba, C. (1991). Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water. *Journal AWWA*, 83(11), 76-84.
- Reiff, F. (1996). The Status of Drinking Water Disinfection in Latin America and the Caribbean. Washington: PAHO.
- Reiff, F., Witt, V., & Vincente, M. (1995). Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. *Serie Técnica No. 30*. Washington, D.C., U.S.A: OPS/OMS.
- Restrepo, I., Sánchez, L., Gavis, A., Rojas, J., & Sanabria, I. (2007). Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Washington: Universidad del Valle.
- Reve. (2015). *Energías Renovables: Energía Solar en México*. Recuperado el 21 de enero de 2021, de Asociación empresarial eólica: <https://www.evwind.com/2015/04/01/empresas-de-energia-solar-crecen-1200-en-mexico-en-4-anos-anes/>
- Rincon, A., Pulgarin, C., Adler, N., & Peringer, P. (2001). Interaction between E. Coli inactivation and DBP-precursors. Dihydroxibenzene isomers in the photocatalytic process of drinking-water disinfection with TiO₂. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 139(2-3), 233-241.
- Rincón, E., & Osorio, F. (2002). A new troughlike nonimaging solar concentrator. *Journal of Solar Energy Engineering*, 124(1), 51-54.
- Robles, L., Ortiz, F., & Martínez, L. (2007). Inactivación de coliformes totales en agua para consumo humano vía luz ultravioleta y calor mediante hornos solares, en zonas urbanas y/o rurales de Querétaro. *Simposio Brasileño de Captación y Manejo de Agua de Lluvia*. Brasil: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Ronnelid, M., & Karlsson, B. (1996). Experimental investigation of heat losses from low-concentrating non-imaging concentrators. *Solar Energy*, 52(2), 93-109.
- Sanchez, S., & Muñoz, P. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para la empresa BATNCSA en el periodo 2016-2017. *Tesis*. Managua, Nicaragua: UNAN.

- Sayigh, A. M. (1981). Characteristics of Solar Radiation. *Selected Lectures from the 1980 International Symposium on Solar Energy Utilization*, 1-5. Canada: Solar energy Conversion II.
- Seattone, O., Paredes, L., Quino, F., Ponce, A., & Eyzaguirre, P. (2017). Diseño, construcción y caracterización de un concentrador parabólico compuesto truncado con impresión 3d para desinfección de agua por fotocatalisis. *XIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES)*. Lima: XXIV- SPES.
- SketchUP. (2022). *Software de diseño 3D*. Obtenido de Trimble Inc: <https://www.sketchup.com/es>
- Solsona, F., & Méndez, J. P. (2002). *Desinfección de agua. Capítulo 2, Desinfección Solar*. Lima, Perú: OPS/CEPIS.
- Strauss, A., Reyneke, B., Waso, M., & Khan, W. (2018). Compound parabolic collector solar disinfection system for the treatment of harvested rainwater. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 4(7), 976-991.
- Suresh, D., O'Gallagher, J., & Winston, R. (1990). Thermal and optical performance test results for compound parabolic concentrators (CPCs). *Solar Energy*, 44(5), 257-270.
- Tain-Jin, K. (2018). Mitigation of equatorial Earthquake impact. *Open journal of Earthquake Research*(7), 195-219.
- Tejeda, A., & Gómez, G. (2015). Prontuario solar de México. *Capítulo 3: Radiación solar en México*, 51-55. México: Universidad de Colima ; Universidad Veracruzana.
- Tonatiuh. (2021). *Ray tracing for solar energy*. Obtenido de <https://www.cener.com/documentacion/TONATIUH.pdf>
- Troyan, J. (1989). "Treatment of Microbial Contaminants in Potable Water Suppliers. *Treatment of Microbial Contaminants in Potable Water Suppliers*. U.S.A: Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corp.
- UPME. (2007). Estrategia de uso racional de energía en el sector industrial Colombiano. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Villaruel Fuentes, M. (2017). Educación superior y desarrollo sustentable. *Revista Iberoamericana de Educación*(18), 1-7. Obtenido de <https://rieoei.org/historico/deloslectores/1214Villaruel.pdf>
- Von Sonntag, C., & Schuchmann, H. (1992). UV disinfection of drinking water and by-product formation-some basic considerations. *Aqua-Journal of Water Supply: Research and Technology*, 41(2), 67-74.

- Watzke, E., & Kloss, T. (1994). Reducing melt borosilicate glass having improved uv transmission properties and water resistance and methods of use. *Patente: DE 4335204.9*. Alemania.
- Winston, R. (1974). Principles of solar concentrators of a novel desing. *Solar Energy*, 16(2), 89-95.
- Wright, H., & Cairns, W. (2011). Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Ontario, Canada: Trojan Technologies Inc.
- Yang, K., Le Jeune, J., Alsdorf, D., Shunm, C., & Liang, S. (2012). Global distribution of outbreaks of water-associated infectious. *Plos Neglected Tropical Diseasesv*, 6(2), 483.

Cuernavaca, Mor., a 16 de noviembre de 2022.

Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña
Dr. Moisés Montiel González
Dra. Josefina Vergara Sánchez
Dr. Mario Murillo Tovar
Dr. Iván Salgado Tránsito
Dr. Carlos Antonio Pineda Arellano
Dr. Cesar Torres Segundo
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta TERESA ORTIZ HERNANDEZ, titulada: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CAPTADOR SOLAR TIPO CPC PARA DESINFECCIÓN DE AGUA APLICADO A COMUNIDADES RURALES”, realizada bajo la dirección de la DR. JOSEFINA VERGARA SÁNCHEZ del Programa Educativo de Doctorado en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQEI

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQEI

P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dr. Hugo Albeiro Saldarriaga Noreña	APROBADO	
Dr. Moisés Montiel González	APROBADO	
Dra. Josefina Vergara Sánchez	APROBADO	
Dr. Mario Murillo Tovar	APROBADO	
Dr. Iván Salgado Tránsito	APROBADO	
Dr. Carlos Antonio Pineda Arellano	APROBADO	
Dr. Cesar Torres Segundo	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2022-11-18 13:18:09 | Firmante

Zb3B43II+tfmg6sPi4bbJtvUyjBPdNYdTxKRLYLtU0UrkFxcN+rI9F/rVBYZAMAJ4AAAtcln3mmrCwCSw9G1+679oNupm/SoDNcHIH6UFvZZB0Qg6T1xT1fu89EjjA+DPotjtkDcDf/CLs
iEqwYFISbQ39Qz9OH3RQlsemA01BEv8nKWSMSyWF9c/64KO3Y/fum1AUruMdC/9itrRnMakwY7F7kp+D8RPr+YpQ0xRpPuZM2lZfJQxrwPjUfNhACd3Or3HGB8MS8S39pG3cj
zCsisTTTTQWF3nHxVaBntEhqlUtDhSpmJBEeM69mN5gbLM386mqOMQSeRoW o87RRYxBg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



u2x1t7LoK

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/8VkwLuRBYmgxfnwxgGsrTWuMtvTmJgFe>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JOSEFINA VERGARA SANCHEZ | Fecha:2022-11-22 12:08:27 | Firmante

PvqIlgUg1NKpvhQbFjmt3y/GQ27KfbTAcFy60j/leW3tQkDmn6zS2K8hazfO+rXdBeGNMnjjtsLOzLg/+onlyjhzkxw42rjka00h7GZUDoJT3ZPpTqLiE2jrV6KfWavewWwSpet8exU6yP
KnRjHJ2UcY04FTaSnx67QpIkss9lzl10jA8lOgqG+9gLUsyKRuWRFGrqxwFca5LZM8kZQnUbuU9CTXQ2vUeIU1ym74jFJaAF86RvPIKZVB0XRRr1N0PGC4Q/ovW1DapaL5T
4b2ykYrMRuLdliaJUXVskBkJKbtXlgrYsoSOJ9+h7kM3os7kTta6/POIV+FiNzhuAQ==

CARLOS ANTONIO PINEDA ARELLANO | Fecha:2022-11-22 12:13:21 | Firmante

Mcij/vFYFphlRrARQbvvy1OAdw+lundIAz54nvYd1a6ZjoFJJVKkMwUgiV1wXmD/CwT1JQ2pdUUAra63qfRvQJzkytDIHIOtIUlOh6CiaFruSKIhSx8/pq56nh8zR7EveIOb7LPWQH
ziaJzWueyHT86NdmE5OpQCjerUPT4Bt1WclJApPlnypsMZ+XEzZgQXfQdVlYtF0F6zWTPJ2T7T01YP3BRMCDlSKfCfRq3v+/wPHgF9eezXR5UunqCXyUeXqmZcMtxEBREcRlXhm
9Vc7Yvh6NzeKxc2mn9b6oakeNXzsV/P3r1j1ijUsUNQAPp/AlYhhIU9S1Es3sSYCnow==

IVAN SALGADO TRANSITO | Fecha:2022-11-22 12:19:00 | Firmante

m1P4x5U7rEw9fB+sEUu7S/4y8874emWV3A8vkQqLAR//clytC+7DLRmkiLVZQrA2y1ItVHJAY3fkx+TO/hbafBaHW6NAOjqJ01Clu3MEVLUuzJ4mnrTPaFNHYHrW07H1hemoPh
c1nM7J9vIUh6ggUU7PhvB0fmQ+2arC/0A3h8LFB6EMgnnhTzm0u9W3IDUR6cNYNKdb03WrgDG38D4fNDUQuHuY+HLKs7Xh7KcljKXOZAIK3G8jRLtnwWpATEx+XQ3BNkfw/
zxFobYydPzTqKfGpneCxPp7WumCw/91R7Y0zjMmlfVW+a131ztIdVlcyKMzIMZwC7UNTvjnQSA==

MOISES MONTIEL GONZALEZ | Fecha:2022-11-22 12:50:11 | Firmante

FgPUPXDwXoMfM6SGD202RwGtW/hzYQc3lXtQ8qMxs/gUgxeclroLvtKJbyHGfMRjwO2hFg2Nmhd7423R9zDaEezOvwcUx4S9Bph3/LOEuyGzGof5W7n6/BLsaqZPLT4R1TjZx
7woNhK2n1PVJfzhmOWyM7x8f2NTH+BK/wKlp6F+vS9WSh3rtfKnpRE1zJrPgRIIDn4R4WkSwgImSBF/Snyob7Hay9AKTuRDP2I+v0qTJnB376EZG+2qZwgNUc+qldo7VJ6mBK
3kRk8ffHal1ChqoPAirchz/MLwXX+72XIEGAikGkZIREiYRu30Q07+IY8zHn3OgeA1ww2xxEPog==

HUGO ALBEIRO SALDARRIAGA NOREÑA | Fecha:2022-11-22 13:07:15 | Firmante

ZOVj/muvq1ajFHIYgG0fxpBLHniGOU2SOD+xaMQCIIMWkvVgg0CaTYPvKyku6pxCw3Y4dhTLM7Ve5FNDhhQxxY/wCH1JOWP61adWmVveHuYnHB3CJsmM/N5GkA2gun9E
NjmSKmPgYb0Jy23X5shR005lq8Ltr3uhGQOXq3P33QZeU9M0YND0c3n6n1zLl2+9sV21OraqHcPfoLjY/HpPC+1InpfuuhDdr8x/qQEGxcSJDLFf8m1wd9gX2NkZt2VHX7YKZY
/v25qa61RIDOIDxzuyFwQA6NC+1DU/2w1x80AJ05bj4cT6pwW/7n/d2AAJkHhVjkk721kAnfCasjwg==

CESAR TORRES SEGUNDO | Fecha:2022-11-22 14:34:16 | Firmante

ZFwkAMLYRqcDQBf8DzSpU6iCtkTznHDSwGyXQvVQopOPM3XBkQb7018NWfVpXAkkeQlwwm/YhkcMSKCqzq7PuGThPqkYQGwpHH8yMCyVhgCuC9oGHQFOZnG1VRd
n3DGf6FZ8Rq4XxaFSJl8/5NL6ByZhWanwM7CGPW9tYzeM2nKQIRhI2e4AQpovABNdeH554hsRvAw6p5Zn+aZxD19AZs+ENApRZGdXo3LsvHCuOx7/agC7rqM3iciWgOG1Fv
eLRQWHdzyFw0jktcBFS0DZKOaErh0zlsY2Clio+H+1iPGydtOAsoiP8rQeEECQuUmr4WtSRzuYmbFgrG7RLA==

MARIO ALFONSO MURILLO TOVAR | Fecha:2022-11-22 14:53:35 | Firmante

nMoiU5gwipCbzislj1zjwboqZlSgLU+PtzxoqpWwDG1MRfejaqVWdzqrehqFRK8OXhhtCsQR0EQbGt0PELFioSjsrYsfdtZUNARg/PglzRumSvgoEWfKxfdgphsAMv4fAHUFGgmbJc
lmwqY47CdeTY1Yx24SaSCKOXoHfvQwpzFUEaess4O6WcJGGZExV8PTKYFOvsiv/LL+Qgs0KIUQ2JKaiBe/6RjF8OpjggPrU1S0FNZpWQsI2fuoEnxvbtu+9hbeC0dcliWwKfC/
vbNwZxB0F5p3wAJPl0A7P09XS47Eua+9/2TR6BkyKXhImldfQ27M31wLqoNShtCxsda==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



j8AgdQYfy

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/gruL6JdxFORQ5s19wiYDfgtlaYRIND0A>



