



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Electrónica



Puebla, Puebla a 10 de Febrero 2025

Presente

LIBERACIÓN DE TESIS

Por medio de la presente me permito certificar que la tesis del alumno: Fernando Vinicio Sánchez Méndez que lleva como título:

“Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia para el edificio VAL 4 ubicado en CU2.”

cumple con los requisitos establecidos para poder presentar el Examen Final de:

Ingeniería en Energías Renovables

Para la obtención de grado de: Licenciado en Ingeniería en Energías Renovables

Atentamente:

Dra. Laura Alicia Paniagua Solar
Asesor de Tesis

Dr. Luis Armando Moreno Coria
Dra. Nallely Téllez Mendez
Dr. Osvaldo Lopez Hernández



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia para el edificio VAL 4 ubicado en CU2.

Tesis para obtener el grado de:

Licenciado en Ingeniería en Energías Renovables

PRESENTA:

Fernando Vinicio Sánchez Méndez

MATRICULA:

201637533

ASESOR DE TESIS:

Dra. Laura Alicia Paniagua Solar

PUEBLA, PUE. 2025

Agradecimientos

Gracias a Dios por ponerme en este camino lleno de bendiciones y de muchos aprendizajes, por llevarme por el camino correcto el cual no ha sido fácil.

Agradezco a mis padres, María Luisa Méndez Martínez y Salvador Sánchez Jaimes, por todo su apoyo incondicional durante todo este viaje de mi carrera universitaria, por estar cuando los he necesitado por nunca dudar de mí y por lo contrario confiar en mí y en mis capacidades. De igual forma a mis hermanos Luis Alberto Sánchez Méndez y Salvador Sánchez Méndez por ser una motivación para llevar a cabo este logro.

Doy las gracias por tener una cantidad de profesores sumamente preparados durante la universidad y de todos me lleve algún aporte a mí como estudiante y como persona también, sobre todo agradezco a mi asesor la Doctora Laura Alicia Paniagua Solar por su acompañamiento durante este proceso de la tesis.

Doy gracias a todos mis familiares y amigos que contribuyeron en este proceso tan importante para mí a todas las personas que ya no están conmigo, pero su apoyo me ayudo en su momento, gracias.

Sobre todo, gracias a mí y todo el esfuerzo y empeño que puse día con día durante toda la carrera universitaria y llegar a la culminación de este ciclo, solo Dios y yo sabemos todo lo que me ha costado.

Gracias.

Índice

Resumen.....	9
CAPÍTULO 1.....	10
1.1 Introducción	10
1.2 Problema de investigación	10
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivo General	12
1.4.1 Objetivos específicos.....	12
1.5 Hipótesis General	12
1.6 Antecedentes	13
1.7 Descripción de la ubicación.....	15
CAPÍTULO 2.....	17
Marco teórico.....	17
2.1 Agua.....	17
2.1.1Ciclo hidrológico.....	17
2.1.2 Lluvia ácida.....	19
2.1.3 Distribución del agua en el planeta.....	21
2.1.4 Usos del agua por actividad	21
2.2 Precipitaciones en México.....	22
2.3 Cosecha de agua.....	25
2.3.1 Sistemas de cosecha.....	26
2.3.2Componentes de un sistema de cosecha de agua lluvia (SCALL).....	30
2.4 ¿Qué es la energía solar?	32
2.4.1 Radiación solar.....	33
2.4.2 Horas pico solar	34
2.4.3 Angulo de inclinación de un panel solar	35
2.4.4 Movimiento de la tierra.....	35
2.5 Sistemas de aprovechamiento de la energía solar.....	37
2.5.1 Sistemas de aprovechamiento pasivos	38
2.5.2 Sistemas de aprovechamiento activos	39
2.5.2.1 Solar térmico	39
2.5.2.2 Solar fotovoltaico	39
2.5.2.2.1 Partes de un sistema solar fotovoltaico	41

2.5.2.2.2 Módulo fotovoltaico	42
2.6 Bombeo solar	47
2.6.1 Subsistema motor – bomba	48
2.6.1.1 Motores	48
2.6.2 Subsistema acondicionamiento de potencia.....	49
2.6.3 Bombas.....	49
2.6.3.1 Bombas centrífugas sumergibles.....	50
2.7 Agenda 2030.....	52
2.8 Energías renovables en México	55
CAPÍTULO 3.....	56
Metodología	56
3.0 Localización para un sistema de cosecha de agua de lluvia	56
3.1 Demanda de agua	56
3.1.1 Beneficiarios del sistema	57
3.1.2 Dotación Diaria.....	57
3.1.3 Demanda diaria y población eventual.....	58
3.1.4 Demanda mensual de agua.....	58
3.2 Oferta de agua de lluvia	58
3.2.1 Información pluviométrica mensual	58
3.2.2 Cálculo de la precipitación pluvial neta.....	59
3.2.3 Área de captación.....	59
3.2.4 Cálculo de oferta de agua de lluvia	59
3.2.5 Determinación del agua de lluvia disponible (oferta)	59
3.3 Balance	59
3.4 Cálculo de tanque de almacenamiento.....	60
3.4.1 Área captación.....	60
3.4.2 Determinación del volumen de almacenamiento	60
3.4.3 Almacenamiento	60
3.5 Sistema de bombeo solar	61
3.6 Sistema de alimentación eléctrico	61
3.7 Incorporación del agua al suelo	62
CAPÍTULO 4.....	63
Resultados	63

4.0 Localización	63
4.1.0 Demanda de agua	65
4.1.1 Beneficiarios del sistema	65
4.1.2 Dotación Diaria	66
4.1.3 Demanda diaria y población eventual.....	67
4.1.4 Demanda mensual de agua	68
4.2 Oferta de agua de lluvia	70
4.2.1 Información pluviométrica mensual	70
4.2.2 Cálculo de la precipitación pluvial neta.....	72
4.2.3 Área de captación.....	74
4.2.4 Cálculo de oferta de agua de lluvia	74
4.2.5 Determinación del agua de lluvia disponible (oferta)	75
4.3 Balance	75
4.4 Cálculo de tanque de almacenamiento.....	76
4.4.1 Área captación.....	76
4.4.2 Determinación del volumen de almacenamiento.....	77
4.4.3 Almacenamiento	78
4.5 Sistema de bombeo solar	80
4.6 Sistema de alimentación eléctrico	81
4.6.1 Regulador	82
4.6.2 Diagrama unifilar	84
4.7 Incorporación del agua al suelo	86
4.8 Lista de elementos propuestos para el sistema de cosecha de agua de lluvia	88
4.9 Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar en la infraestructura del ecocampus BUAP.	89
4.10 Impacto ecológico	93
4.10.1 Ventajas y desventajas	94
CAPÍTULO 5.....	96
5.1 Conclusiones.....	97
5.2 Recomendaciones	98
5.3 Trabajo a futuro	98
Bibliografía	99
Anexos	103

Índice de figuras

Figura 1 Sistemas de cosecha de agua pluvial empleados en la antigüedad.	14
Figura 2 Junta Auxiliar San Pedro Zacachimalpa.	15
Figura 3 Mapa topográfico Puebla. Ecocampus BUAP VAL 4, altura de 2,114m.	16
Figura 4 Esquema del ciclo hidrológico.	18
Figura 5 Escala de pH. Fuente: [8].	19
Figura 6 Precipitaciones por entidad federativa de México.	23
Figura 7 Estados con mayor precipitación.	23
Figura 8 Sistema de bombeo directo. Fuente: [15]	26
Figura 9 Sistema de bombeo indirecto. Fuente: [15].	27
Figura 10 Sistema por gravedad. Fuente:[15]	28
Figura 11 Sistema de bombeo indirecto para la cosecha de agua de lluvia acompañado de un bombeo solar.	29
Figura 12 Elementos del sistema de cosecha de agua de lluvia.	32
Figura 13 Tipos de radiación. Fuente:[18].	34
Figura 14 Mapa de horas pico solar promedio en México. Fuente: [19]	34
Figura 15 Orientación de una estructura fija para la captación de la radiación solar. Fuente:[20]. ..	35
Figura 16 Estaciones del año en función de la posición de la tierra. Fuente:[21].	36
Figura 17 Muro térmico polivalente, funcionamiento según estación. Fuente:[23].	38
Figura 18 Sistemas conectados a la red. Fuente: [27]	40
Figura 19 Sistema autónomo. Fuente: [27].	41
Figura 20 Sistema híbrido. Fuente: [21].	41
Figura 21 Partes de un panel solar. Fuente:[28]	42
Figura 22 Componentes de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua. Fuente:[35]	47
Figura 23 Bombas sumergibles de cilindro. Fuente:[18]	50
Figura 24 Bombas sumergibles de diafragma. Fuente:[18].	51
Figura 25 Los 17 objetivos de la agenda 2030. Fuente:[37]	52
Figura 26 Agua limpia y saneamiento. Fuente:[37]	53
Figura 27 Energía asequible y no contaminante. Fuente: [37]	53
Figura 28 Ciudades y comunidades sostenibles. Fuente:[37]	54
Figura 29 Energía generada en México en enero 2024.	55
Figura 30 Disposición del terreno de infiltración. Fuente: [39]	62
Figura 31 Junta Auxiliar San Pedro Zacachimalpa.	63
Figura 32 Edificio VAL 4, ubicado en el ecocampus BUAP.	64
Figura 33 Precipitaciones mensuales (2013-2023). Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 34 Área de captación en VAL 4 ubicado en el ecocampus BUAP.	74
Figura 35 Propuesta de almacenamiento principal (300m ³). Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 36 VAL 4, almacenamiento primario y secundario. Fuente: Elaboración propia.	79
Figura 37 Promedio por mes (periodo 2001 -2020) ubicación: 18.9366°, -98.1567°.	81
Figura 38 Diagrama de instalación eléctrica. Fuente:[42].	83
Figura 39 Diagrama unifilar del sistema de bombeo solar.	84
Figura 40 Corte transversal del suelo y componentes para la incorporación del agua al suelo.	86
Figura 41 Red pluvial para la incorporación del excedente de agua. Fuente: Elaboración propia. ..	87

Figura 42 Diseño del sistema para la cosecha de agua de lluvia. Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 43 Área de captación. Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 44 Recolección y conducción. Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 45 Filtrado mediante llaves de paso. Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 46 Almacenamiento principal y secundario, A y B respectivamente.	91
Figura 47 Distribución mediante bombeo solar. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 48 Incorporación de agua al suelo. Fuente: Elaboración propia.	93

Índice de tablas

Tabla 1 Agua en la Tierra.	21
Tabla 2 Uso del agua en el mundo.	21
Tabla 3 Precipitación histórica por entidad federativa (milímetros de H ₂ O) periodo 2013-2023.	22
Tabla 4 Comparación de componentes de un sistema interconectado y uno aislado.	42
Tabla 5 Distintos tipos de celdas fotovoltaicas.	44
Tabla 6 Cantidad de habitantes.	66
Tabla 7 Demanda máxima de consumo por artefacto sanitario [40].	66
Tabla 8 Dotación diaria, por persona.	67
Tabla 9 Demanda diaria de agua del edificio VAL 4.	67
Tabla 10 Demanda de población eventual.	67
Tabla 11 Demanda diaria y población eventual.	68
Tabla 12 Demanda mensual contemplando la demanda diaria y la población eventual.	68
Tabla 13 Promedio anual de precipitaciones (mm H ₂ O) mensuales en Puebla periodo 2013-2023.	70
Tabla 14 Promedios mensuales del periodo 2013-2023.	71
Tabla 15 Coeficientes de escurrimiento para diferentes superficies.	72
Tabla 16 Valores de precipitación promedio neta mensual y anual del periodo 2013-2023 (mm de H ₂ O).	73
Tabla 17 Oferta disponible con respecto al área.	75
Tabla 18 Volumen mensual de agua pluvial disponible y requerida área captación en 950m ²	76
Tabla 19 Volumen acumulado oferta y consumo área captación 950 (m ²).	77
Tabla 20 Lista de elementos propuestos para el sistema de cosecha de agua de lluvia.	88

Nomenclatura y unidades

AC	Alternating Current
BUAP	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CE	Coeficiente de Escorrentía
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CU 2	Ciudad Universitaria 2
DC	Direct Current
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
H ₂ O	Molécula de agua
HP	Caballos de Fuerza
HSP	Horas Solar Pico
HTF	Heat Transfer Fluid
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
MM	Milímetros
M	Metro
M ²	Metro Cuadrado
M ³	Metro Cubico
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MWH	Megwatts Hora
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
PV	Panel Fotovoltaico
PVC	Policloruro de vinilo
SCALL	Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SFB	Sistema de Bombeo Fotovoltaico
SST	Sistema Solar Térmico
VAL 4	Edificio # 4 del Ecocampus BUAP
WH	Watts hora

Resumen

Hoy en día la ausencia de agua en varias partes del país es notable, esto debido a los cambios climáticos provocados por el calentamiento global. Todos estos cambios son más notorios día con día en nuestro planeta, por lo que es importante empezar a buscar alternativas para poder evitar de manera parcial la ausencia de este líquido indispensable para la humanidad en la mayor cantidad de sectores posibles, desde los rurales, casas habitacionales, zonas urbanas e industrias.

La cosecha de agua de lluvia es una técnica ancestral que se ha utilizado desde la antigüedad, esta práctica ofrece múltiples beneficios, como la reducción de la presión sobre los recursos hídricos convencionales, la disminución de la escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones, el ahorro en costos de suministro de agua, y la promoción de una gestión más sostenible del agua, especialmente en regiones con escasez hídrica o precipitaciones irregulares; Además, la cosecha de agua de lluvia puede contribuir a la seguridad hídrica, la resiliencia comunitaria y la adaptación al cambio climático.

Esto mediante una serie de pasos para lograr una cosecha de agua de lluvia, el proceso comienza con la captación, conducción, filtrado (primeras aguas), almacenamiento y por último la distribución.

La captación del agua de lluvia depende del área que se disponga; posteriormente la conducción. Este proceso se lleva a cabo mediante ductos, los cuales pueden ser canaletas o PVC. El siguiente paso es el filtrado para las primeras aguas, que suelen ser las que vienen contaminadas, así como también del área de captación puede haber impurezas o imperfecciones como pueden ser hojas de árboles, es por eso que esa agua se desecha. A continuación, se procede a almacenar el agua consecuente a las primeras lluvias. El almacenamiento será directamente proporcional a la demanda que exista y sobre todo cuántos meses de abastecimiento se requieran posteriormente a la temporada de lluvia. El último paso es el de distribución del agua, o de manera general darle un uso adecuado para los requerimientos de los WC del VAL 4 ubicado en Ciudad universitaria 2.

Para un proyecto de cosecha de agua de lluvia se debe contar con un buen nivel de precipitación ya que con ello la captación varía directamente. Es importante mencionar que Puebla cuenta con una buena ubicación geográfica la cual permite tener un gran nivel de precipitación; de esta manera se garantiza una gran captación de agua de lluvia. Con esto se busca beneficiar a la mayor cantidad de estudiantes.

La cosecha de agua de lluvia puede lograr un beneficio en cualquier ubicación, dependerá de los niveles de precipitaciones que haya en el lugar, se debe tener en cuenta que existen factores como los huracanes y las tormentas tropicales que hacen que durante días llueva en lugares donde usualmente no llueve. De lo anterior, surge el propósito y la importancia de este proyecto ya que día a día tendremos una disminución del vital líquido.

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

A través de toda la historia el ser humano ha buscado cuerpos de agua para poder sobrevivir, sin el agua la vida no puede llevarse a cabo, es por ello por lo que el uso desmedido de este recurso puede llegar a agotarlo. El agua como recurso cuenta con su propio ciclo el cual es fundamental para el ser humano ya que nos provee la generación de alimentos, es importante destacar que es clave para la regulación del clima, existen regiones del país donde ya existe una grave escasez de agua, incluso en el estado de Puebla.

El ecocampus BUAP se encuentra ubicado en la región de Valsequillo, actualmente existe el proyecto de Ciudad Universitaria 2 (CU2), el cual busca aumentar la capacidad estudiantil del plantel de una manera exponencial. La región de Valsequillo no cuenta con un sistema adecuado en su totalidad de agua potable, por lo que depende de pipas de agua para garantizar el uso de estas instalaciones

Una solución parcial para este problema puede ser “la cosecha de agua de lluvia” la cual se refiere a un proceso mediante el cual las estructuras empleadas para la captación, recolección, conducción, almacenamiento y distribución del agua pluvial para su uso posterior (aquella para el consumo humano debería ser potabilizada). No toda el agua usada a nivel domiciliario necesita ser de calidad potable, especialmente el agua usada para WC, lavadora, riego de jardines y limpieza de vehículos, entre otros.

Un sistema de cosecha de agua de lluvia está basado en capturar el agua de lluvia, en alguna superficie. Lo más común es en el techo o en la azotea, la lluvia se redirige a través de canaletas, tejas o tubería externa, posteriormente se almacena en un depósito, éstos pueden ser de concreto o de plástico rígido tipo cisterna o tinaco. Posteriormente el agua pluvial recibe un proceso de filtrado y se distribuye a través de un circuito hidráulico independiente a la red de agua potable.

1.2 Problema de investigación

El problema que acontece en la localidad de Valsequillo donde se encuentra ubicado el ecocampus BUAP es que existe una gran escasez del preciado líquido, incluso existen localidades que no cuentan con suministro básico de agua potable por ende se abastecen mediante pipas de agua o pozos, todo esto debido a los cambios climáticos de las últimas décadas y todos los daños edafológicos. Este problema llega a afectar la salud, la calidad de vida y la economía. Con el crecimiento del ecocampus BUAP como la nueva CU 2 existirá una gran demanda de agua en todo el campus por lo que es de suma importancia tener en

cuenta técnicas de cosecha de agua de lluvia en los futuros edificios de una manera sustentable.

El sistema que se propone para la cosecha de agua de lluvia para el ecocampus BUAP busca ser una solución parcial a este complejo problema como lo es la escasez de agua y contar con un suministro agua potable confiable, mediante la captación de agua pluvia, separación de lluvias ácidas y un bombeo solar, en los meses de precipitaciones pluviales.

Para el 2024 se deberá contar con espacios suficientes para albergar a un aproximado de 4,500 alumnos de nuevo ingreso 2024 de licenciatura [1].

1.3 Justificación

El edificio VAL 4 es uno de los cuatro edificios del ecocampus BUAP, donde principalmente estaba destinado para la carrera de Ingeniería en energías renovables por parte de la BUAP, donde se realizan proyectos de investigación de licenciatura, maestría y doctorado. Pero en la actualidad con la nueva apertura de CU 2 la matrícula de la carrera se verá en aumento. El edificio cuenta con un sistema de energía solar mediante módulos fotovoltaicos para minimizar su impacto ambiental, es por ello que es importante seguir innovando en proyectos sostenibles.

La proyección que se tiene para CU 2 consiste en un aumento gradual de estudiantes, para agosto del 2024 se inauguró con un total de 5 mil 792 estudiantes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que una persona necesita 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades de consumo e higiene. Esto implica un gran crecimiento en los requerimientos del agua, es por esto por lo que en presente investigación busca proponer un sistema de cosecha de agua de lluvia, amigable con el medio ambiente y reducir la dependencia del suministro básico de agua. Es importante destacar que la mayoría de las edificaciones actuales no ocupan en lo absoluto este recurso, solo lo conducen al suelo o en los conductos de aguas grises. Lo que este proyecto busca promover el uso del recurso hídrico para diversas actividades y buscar una solución de apoyo a la escasez de agua, mediante el aprovechamiento de la alta precipitación pluvial con la que cuenta la ciudad de Puebla durante los meses de Abril – Octubre.

1.4 Objetivo General

Proponer un sistema de cosecha agua de lluvia a partir de la recolección, filtración, separación y almacenamiento. Acompañado de un bombeo solar, en el Edificio VAL 4 ubicado en el Ecocampus BUAP, Puebla.

1.4.1 Objetivos específicos

- Estudio de los requerimientos de agua que existen en el edificio VAL 4.
- Estudiar el nivel precipitaciones que existe en la región de Valsequillo, Puebla.
- Investigar los diferentes modelos para la captación de agua de lluvia actuales.
- Proponer un modelo de cosecha de agua de lluvia.
- Determinar un sistema de bombeo solar acoplado al sistema de cosecha de agua de lluvia.

1.5 Hipótesis General

Es posible diseñar un sistema de cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar para el edificio VAL 4 ubicado en el Ecocampus BUAP, que sea viable y que cumpla con los requerimientos necesarios para subsanar la demanda estudiantil y el mantenimiento de las instalaciones.

1.6 Antecedentes

La crisis ambiental a nivel mundial cada vez es más notoria, cambios más drásticos en cuanto a los desastres naturales, al igual que las temporadas del año, conforme pasan los años suelen ser más fuera de tiempo las épocas de frío y calor. La extinción de cientos de especies año con año, el agotamiento y degradación de los recursos naturales, el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, el incremento de las precipitaciones, huracanes y ciclones en algunas regiones, así como la agudización de las sequías son cada vez más extremas. Todo ello sin contar los accidentes ambientales por directa negligencia humana. Uno de los problemas que podría comprometer la existencia del ser humano y los demás seres vivos, las sequías y la escasez del recurso hídrico.

Cuando la sequía y la escasez de agua se conjugan, por lo general deviene una catástrofe social, ya que con la sequía y la situación de escasez termina por colapsar, sin embargo, resulta difícil percibir una sequía, ya que es un fenómeno poco espectacular y quizá por esto no llama mucho la atención es por eso que se tiende a subestimarla. Se comporta como los enemigos silenciosos: avanza sigilosa y progresivamente, uno se da cuenta de su presencia cuando su ataque ya está muy avanzado[2].

Una sequía se define como la disminución o la ausencia de precipitaciones pluviales respecto al índice anual, contrario a lo que se supone, es un evento normal que se presenta de forma cíclica en todas las zonas climáticas del mundo, aunque con mayor intensidad y recurrencia en las zonas áridas y semiáridas. En nuestro país estos fenómenos ocurren en promedio cada 20 años, cuando se presentan provocan un desbalance hídrico en el ciclo del agua, ya que la disponibilidad del recurso es insuficiente para satisfacer las necesidades de los seres vivos. Una sequía puede durar en promedio de uno a tres años, termina cuando las lluvias regresan, se recupera el índice normal de precipitación y se restablece el funcionamiento de los cuerpos de agua [2].

Los efectos de las sequías son diferenciados de acuerdo con las condiciones geográficas y climáticas naturales, constitución de la población, estructura económico-productiva del territorio, estado o región. Por ejemplo, en el siglo XIX, como bien lo analizan los historiadores, los efectos inmediatos de la sequía impactaban de manera distinta en la condición de vida del campesino indígena y la del empresario agricultor. En todo caso, la severidad de una sequía depende de su duración o extensión geográfica, así como de las demandas del recurso hídrico, para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas.

La revisión de la literatura sobre las sequías muestra que en México ha sido un fenómeno recurrente y cíclico, donde las consecuencias y respuestas sociales también parecen seguir un patrón. Se observa una construcción social en torno a la sequía como problema público y en algunas épocas con gran protagonismo de la religiosidad para enfrentarla. La principal preocupación fueron los efectos agrícolas y las consecuencias que se vivían en la población, como migraciones, enfermedades o muertes, para derivar en conflictos sociales. Las grandes

sequías de la historia del país coinciden con episodios de graves conflictos políticos, como la Independencia o Revolución, por un descontento social ante abusos de empresarios y grandes agricultores frente a la población que no tenía medios de subsistencia [3].

Desde la antigüedad, el hombre ha empleado el agua de lluvia para abastecer sus requerimientos diarios, mediante la construcción de estructuras destinadas a la captación (en patios y tejados) y almacenamiento de agua pluvial. Ejemplo de ello son los aljibes construidos en la antigua Roma, además del chultún (contracción de chulub=agua de lluvia, tun=piedra) implementado por la cultura maya en la península de Yucatán, los cuales consistían en depósitos subterráneos en forma de botellón teniendo las paredes recubiertas con varios aplandados de estuco para hacerlas impermeables [4].

Dichos sistemas eran empleados para obtener agua para uso y consumo humano dentro de las viviendas (Figura 1). Aunque a mediados del siglo XVIII esta práctica fue relegada a zonas rurales debido a su simplicidad técnica; hoy en día, a causa de los problemas hídricos que enfrenta la sociedad, se ha retomado como una práctica sustentable de abastecimiento de agua incluso en zonas urbanas [4].

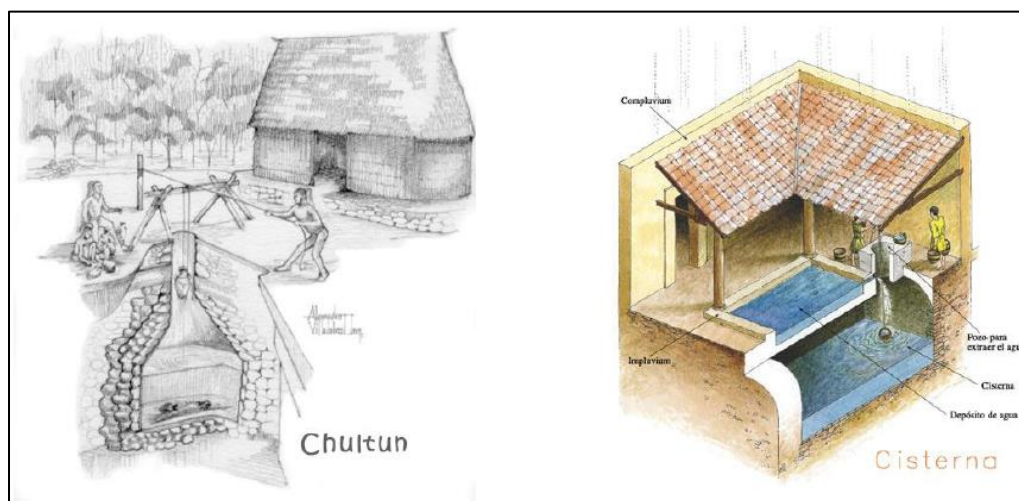


Figura 1 Sistemas de cosecha de agua pluvial empleados en la antigüedad.

Fuente: [4]

1.7 Descripción de la ubicación

La ciudad de Puebla cuenta con una altitud media de 2,140 metros sobre el nivel del mar. Se ubica en un valle relativamente plano, que tiene elevaciones importantes hacia el poniente y el norte, mientras que hacia el oriente el ascenso es más gentil. El único descenso se presenta hacia el sur, donde el valle de Puebla colinda con el valle de Atlixco (hacia el suroeste) y la Mixteca poblana (hacia el sur y el sureste).

Para la elaboración de este proyecto se eligió el edificio VAL 4, que se encuentra en el Ecocampus BUAP, con dirección: Independencia O 2 Sur 50, CP:72960 San Pedro Zacachimalpa, Pue, México.

San Pedro Zacachimalpa, se trata de una de las 17 juntas auxiliares de la capital poblana y se ubica en el suroeste como se muestra en la Figura 2 en donde a San Pedro Zacachimalpa le corresponde el número 13, está se encuentra a poco más de 12 kilómetros del Centro Histórico y en los límites de la Presa de Valsequillo. Es importante destacar que las autoridades han reconocido que existe una problemática para lograr abastecerse de agua potable, ya que el agua de la presa es de residuos de aguas grises y por lo mismo no sirve para el servicio doméstico.

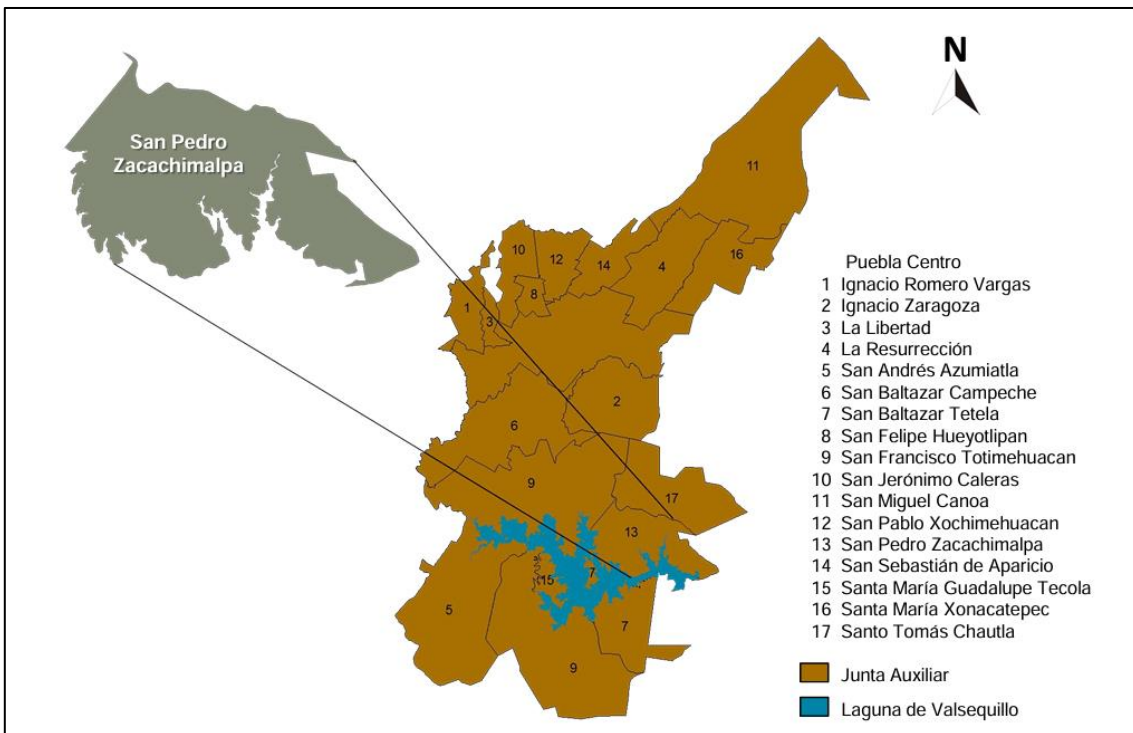


Figura 2 Junta Auxiliar San Pedro Zacachimalpa.

Fuente: Conformación de las Juntas Auxiliares, Administración del municipio de Puebla

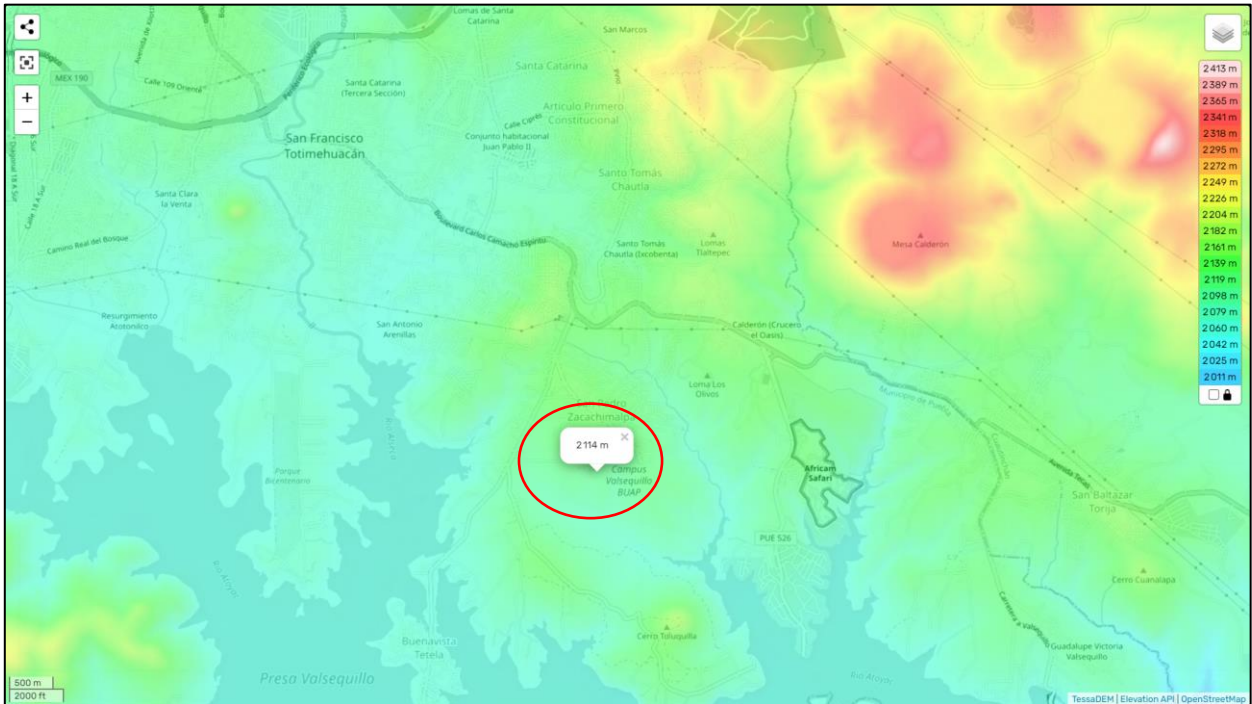


Figura 3 Mapa topográfico Puebla. Ecocampus BUAP VAL 4, altura de 2,114m.

Fuente: <https://es-mx.topographic-map.com/>

En la Figura 3 se muestra a detalle mediante un mapa topográfico, en donde se puede observar la cantidad de metros que se encuentra la zona CU 2, la cual corresponde a 2,114 metros sobre el nivel del mar, al contar con una gran extensión territorial la altura puede variar. De acuerdo con los datos de Conagua en la región de San Pedro Zacachimalpa, tiene una temporada de lluvias de abril a octubre. Puebla a nivel nacional se encuentra en el quinto lugar con mayor precipitación.

CAPÍTULO 2

Marco teórico

2.1 Agua

El agua es una sustancia la cual está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrogeno. Se trata de un líquido inoloro, insípido y por último incoloro, también el agua puede encontrarse en estado sólido o en estado gaseoso. Diariamente en el mundo se usan grandes cantidades de agua y es difícil cuantificar la cantidad necesaria para mantener la calidad de vida a la que el ser humano está acostumbrado.

El 70% de la superficie de la tierra es agua, pero en su mayoría es agua oceánica y sólo el 3% de toda el agua del mundo es agua dulce. De este porcentaje no toda se halla disponible pues una gran parte de esta se encuentra en forma de hielo y glaciares situados en áreas polares muy lejos de las poblaciones. Lo que nos deja solamente un 1% de agua disponible y el agua que encontramos en lagos, ríos y a poca profundidad del suelo de donde se puede extraer sin mayor costo. Pero sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente, por lo tanto, se considera como un recurso sostenible y renovable [5].

2.1.1Ciclo hidrológico

La hidrología es una palabra que tiene origen griego, está compuesta por dos partes: la primera es “hidros” que tiene como significado “agua” y la segunda es “logos” que se traduce como “ciencia”. Con estas breves definiciones tenemos como resultado que la “Hidrología” es la ciencia del agua.

Una definición propuesta por el “U.S. Federal Council for Science and Technology” (1962), cuando se requiere describir a la Hidrología como una ciencia, tal definición es la siguiente:

“Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas, su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivientes. El dominio de la Hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra”[6].

Por otra parte, es conveniente citar, además, la definición de Hidrología que presenta la Organización Meteorológica Mundial, ya que ella destaca la importancia de dicha ciencia en relación con los recursos hidráulicos de la tierra y su aprovechamiento, tal definición es la siguiente:

"Hidrología es la ciencia que trata de los procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos de agua en las áreas continentales de la tierra y en - las diversas fases del ciclo hidrológico" [6].

El ciclo hidrológico se trata de un conjunto de procesos simultáneos interrelacionados. A pesar de ello, por motivos didácticos, se suele asumir que comienza en los océanos con la evaporación del agua. El calor del sol aporta la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua. Este proceso de cambio de estado de fase líquida a gas (vapor de agua) se denomina evaporación. Cuando la humedad relativa del aire es del 100% (punto de saturación) comienza la condensación, proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida dando lugar a la formación de nubes. Estas nubes en determinadas condiciones de presión y temperatura originan precipitaciones [7].

La precipitación también puede ocurrir en forma de nieve y acumularse en los glaciares. Su fusión, junto con el resto de las precipitaciones da lugar al agua superficial y subterránea. Una parte del agua superficial fluye hasta el mar. Otra parte se infiltra en el terreno y el resto, se evapora. El agua que se infiltra atraviesa una zona no saturada, donde puede evapotranspirarse por acción de las plantas o fluir hasta el acuífero (zona saturada). Debido a las fuerzas de presión y de gravedad, el agua subterránea se mueve de zonas de mayor a menor potencial hidráulico. Además, mantiene una estrecha relación con el agua superficial siendo sus aportaciones en muchos casos imprescindibles para mantener el caudal de los ríos [7]. En la Figura 4 se muestra de una manera grafica como es que funciona el ciclo hidrológico, justo como se menciona en los párrafos anteriores.

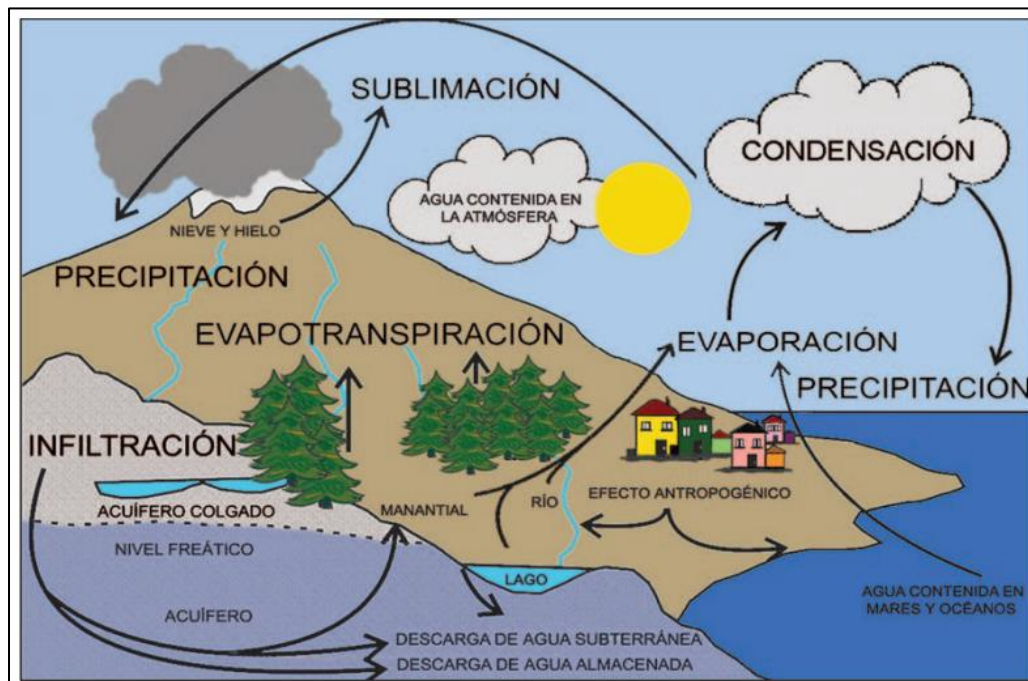


Figura 4 Esquema del ciclo hidrológico.

Fuente: "El ciclo hidrológico: Experiencias prácticas para su comprensión" [7].

2.1.2 Lluvia ácida

La degradación del medio ambiente producto de la explotación de los recursos naturales de las grandes concentraciones industriales y urbanas, la enorme cantidad de sustancias contaminantes arrojadas tanto a la atmósfera como al medio terrestre ha dado lugar a un grave problema de contaminación ambiental. Sin embargo, las consecuencias no solo se traducen en efectos directos al ser humano, sino también en la generación de otros fenómenos dañinos que han afectado el medio ambiente a escala mundial, tal es el caso de las precipitaciones ácidas, comúnmente denominadas “lluvias ácidas” [8].

Las primeras apariciones del fenómeno denominado “lluvia ácida” se observaron en Suecia (1848), Inglaterra (1877) y en Alemania (1867), donde se publicó que por alguna razón las lluvias eran más ácidas de lo normal según la Universidad Nacional de Colombia, 2010. Se determinó que el fenómeno de la lluvia ácida ocurre en la troposfera, en ésta las corrientes de aire pueden llevar a los compuestos sobre cualquier parte del planeta.

La lluvia ácida es catalogada como un complejo problema, debido a que sus efectos han sido documentados en diferentes regiones, como un problema planetario que afecta directamente ecosistemas alejados a las fuentes precursoras de lluvia ácida, por lo tanto, países con una baja producción de emisiones contaminantes se ven afectados por zonas con alta producción de óxidos de azufre. Se considera como una sustancia ácida cuando los óxidos de azufre intervienen en la química de la atmósfera y en su equilibrio, causando que el pH de la lluvia disminuya a menos de 5 o 6 unidades, por ejemplo, en zonas con atmósferas contaminadas por sustancias acidificantes la lluvia ácida tiene un pH de hasta 4 o 3 y en algunas ocasiones puede ser de 2 o 3 [9].

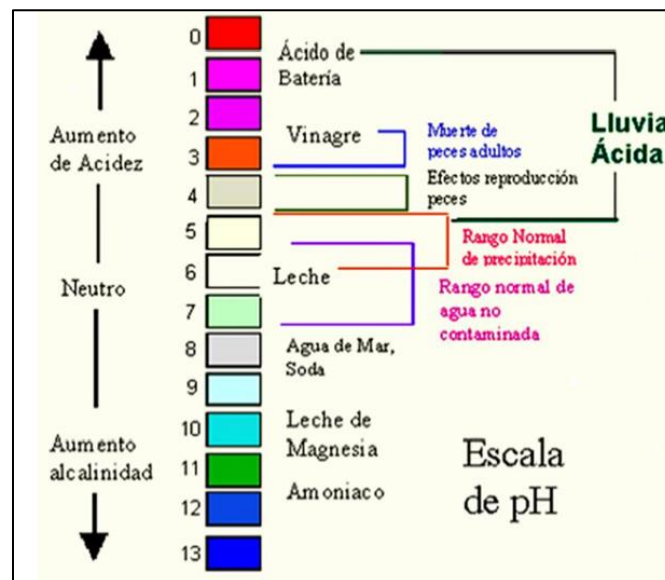


Figura 5 Escala de pH. Fuente: [8].

Cuando la lluvia se mezcla con ácido sulfúrico y ácido nítrico, su pH experimenta un cambio que, al entrar en contacto con el suelo y las aguas, alteran sus propiedades químicas, desestabilizando así el equilibrio de los ecosistemas. Este fenómeno se denomina acidificación ambiental y tiene consecuencias significativas, como pueden ser los siguientes ejemplos:

- Daño a los bosques: La lluvia ácida puede afectar la salud de los bosques al dañar las hojas de los árboles y acidificar el suelo. Esto puede tener un impacto negativo en la capacidad de los árboles para absorber nutrientes esenciales.
- Impacto en cuerpos de agua: Los lagos, ríos y arroyos pueden volverse más ácidos debido a la lluvia ácida. Esto puede tener consecuencias graves para la vida acuática, ya que muchos organismos son sensibles a los cambios en el pH del agua.
- Impacto en la salud humana: Aunque los efectos directos sobre la salud humana son menos comunes que en el medio ambiente, la exposición prolongada a la contaminación atmosférica, que incluye los precursores de la lluvia ácida, puede tener efectos negativos en la salud respiratoria.

La solución al problema de la acidificación del medio ambiente está en manos del ser humano, para mitigar la lluvia ácida es imprescindible reducir las emisiones contaminantes. Algo para lo cual es necesario que exista un compromiso a nivel gubernamental y empresarial que impulse una serie de medidas [10]:

- Filtrar y desintoxicar el agua utilizada por las fábricas antes de devolverla a los ríos.
- Reducir la emisión de gases contaminantes por parte de la industria.
- Favorecer la producción y el uso de energías limpias, en detrimento de los combustibles fósiles.
- Disminuir el consumo energético en las fábricas y empresas.
- Potenciar la innovación y las nuevas tecnologías encaminadas a optimizar el consumo energético y desarrollar energías limpias.
- Plantar árboles para que absorban el aire contaminado.
- Concientizar a la población sobre la importancia de reducir el consumo de energía en los hogares.

2.1.3 Distribución del agua en el planeta

La Tierra es el único planeta del sistema solar con agua superficial en estado líquido. Un 70% de la superficie terrestre está cubierta de agua y un 97,5% del total de agua existente en el planeta ($1\,383\,000\,000\text{ km}^3$) se encuentra en los mares como agua salada. Tan sólo el 2,5% ($35\,000\,000\text{ km}^3$) del agua del mundo es agua dulce y de esta cantidad el 0,3% se encuentra en lagos; reservorios y ríos, 31% es agua subterránea que incluye la humedad del suelo, pantanos y permafrost 68,7% se encuentra en glaciares y nevados [11]. En la Tabla 1 se puede observar los porcentajes de agua y su distribución alrededor del mundo.

Tabla 1 Agua en la Tierra.

	Volumen $\text{km}^3 \cdot 10^6$	%
Océanos y mares	1.350	97.6
Casquetes polares	26	1.9
Subterránea	7	0.5
Superficial	0.3	0.02
Del suelo	0.2	0.01
Atmosférica	0.02	0.001
Total	1.383	100

Distribución del agua en el mundo. Fuente: "Agua fuente de la vida"[12].

2.1.4 Usos del agua por actividad

Es importante resaltar el consumo total de agua alrededor del mundo y su evolución histórica, así como la distribución en relación con el uso (siguiente tabla).

Tabla 2 Uso del agua en el mundo.

Año	Consumo total	Agricultura		Industria		Agua potable	
	$\text{Km}^3/\text{año}$	$\text{Km}^3/\text{año}$	(%)	$\text{Km}^3/\text{año}$	(%)	$\text{Km}^3/\text{año}$	(%)
1900	400	350	87.5	30	7.5	20	5
1950	1100	820	74.5	220	20	60	5.5
1975	3000	2200	73	650	22	150	5
2000	5000	3400	68	1250	25	350	7

Uso del agua a través de los años en el mundo. Fuente: de "Agua fuente de la vida"[12]

Lo que podemos interpretar de la Tabla 2, es el predominio total de la agricultura como el principal consumidor de agua con un aproximado del 68% del total extraído desde 1900, de manera consecutiva queda la industria rondando por el 25% y por último queda el consumo humano que solo incide en un promedio 6%.

2.2 Precipitaciones en México

Tabla 3 Precipitación histórica por entidad federativa (milímetros de H₂O) periodo 2013-2023.

Fuente: [13].

Entidad federativa	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Promedio 2012-2022
Tabasco	2,404	2,410	2,409	2,410	2,401	2,396	2,390	2,384	2,392	2,385	2,386	2,397
Chiapas	1,999	2,003	2,004	2,000	1,995	1,995	1,991	1,989	1,991	1,988	1,989	1,995
Veracruz	1,503	1,508	1,508	1,508	1,508	1,511	1,511	1,506	1,507	1,507	1,507	1,508
Oaxaca	1,511	1,508	1,503	1,497	1,490	1,489	1,486	1,481	1,476	1,473	1,470	1,489
Puebla	1,277	1,278	1,278	1,277	1,276	1,278	1,277	1,274	1,272	1,272	1,268	1,275
Quintana Roo	1,263	1,272	1,273	1,276	1,274	1,276	1,276	1,273	1,281	1,281	1,281	1,275
Campeche	1,184	1,191	1,194	1,196	1,196	1,198	1,201	1,202	1,209	1,209	1,212	1,199
Guerrero	1,115	1,117	1,119	1,117	1,115	1,116	1,116	1,116	1,114	1,116	1,117	1,116
Nayarit	1,086	1,088	1,090	1,095	1,097	1,099	1,102	1,103	1,104	1,107	1,109	1,098
Yucatán	1,076	1,080	1,081	1,080	1,077	1,078	1,077	1,076	1,086	1,087	1,087	1,080
Colima	901	915	928	942	947	957	966	976	985	1,001	1,007	957
San Luis Potosí	958	957	955	953	950	945	941	936	929	926	920	943
Morelos	892	900	912	917	929	942	955	964	971	981	986	941
México	862	862	862	862	863	863	866	866	864	865	865	864
Jalisco	817	821	823	827	828	830	833	834	835	838	838	829
Michoacán	809	813	814	816	815	815	819	819	817	819	819	816
Hidalgo	800	800	800	798	797	795	792	788	784	782	778	792
Tamaulipas	772	776	779	780	780	778	777	774	773	772	769	775
Sinaloa	760	761	763	767	766	765	768	770	769	771	772	767
Ciudad de México	722	721	720	717	716	713	714	712	709	708	706	714
Tlaxcala	710	712	714	715	716	716	715	713	711	711	708	713
Guanajuato	612	614	614	617	618	618	621	620	619	621	619	618
Nuevo León	610	612	613	614	614	613	613	612	610	609	607	612
Querétaro	560	563	566	568	571	571	571	569	567	568	565	567
Zacatecas	512	514	514	517	516	516	517	516	514	515	513	515
Durango	498	498	498	499	500	499	499	498	497	497	497	498
Aguascalientes	461	465	466	471	472	473	477	477	477	480	479	473
Chihuahua	428	431	432	434	435	436	436	437	435	434	435	434
Sonora	421	421	422	425	425	425	427	430	429	430	431	426
Coahuila	333	334	336	338	341	341	342	341	340	338	338	338
Baja California	201	201	200	200	201	200	199	199	198	196	196	199
Baja California Sur	178	179	181	183	184	183	183	184	183	183	185	182

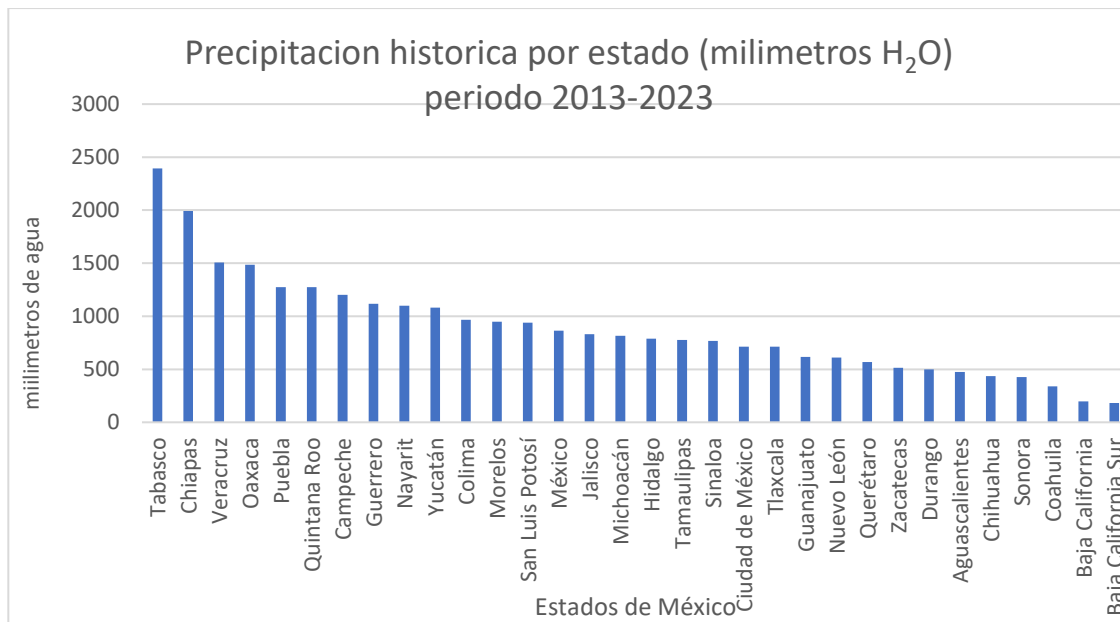


Figura 6 Precipitaciones por entidad federativa de México.

Fuente: [13].

México es un país geográficamente diverso, con lo que implica una variedad de climas, en el norte grandes extensiones territoriales desérticas (seco), al centro del país varía siendo más templado húmedo y en las sureste selvas tropicales donde el clima es cálido húmedo. Esta variabilidad climática se refleja claramente en la distribución de las precipitaciones a lo largo y ancho del territorio mexicano.



Figura 7 Estados con mayor precipitación.

Fuente:[13].

Las precipitaciones anuales en México van desde los 180 milímetros de agua hasta los 2,400 milímetros de agua, en la Tabla 3 se muestra a detalle cómo hay variaciones año con año, también se puede ver de manera más ilustrativa en la Figura 6. Las regiones más secas que son los estados que se encuentra en el norte del país, como Baja California, Coahuila, Sonora, Chihuahua, por otro lado, los estados del sur tienen una mayor precipitación donde el estado con mayor precipitación llega a sobrepasar los 2,000 milímetros, siendo Tabasco, en la Figura 7 se encuentran los 5 estados con mayores precipitaciones, es importante destacar que Puebla es uno de ellos.

Una gran parte de las precipitaciones en México se concentran durante la temporada de lluvias, que de manera regular empieza en mayo con las “primeras lluvias” las cuales suelen estar contaminadas, las lluvias continúan de junio a octubre. La distribución a lo largo del año varía considerablemente según la región.

Factores geográficos como la altitud, la cercanía a los océanos y la influencia de sistemas climáticos juegan un papel fundamental en la determinación de los patrones de precipitación en el país. La disponibilidad de agua de lluvia son un aspecto clave a considerar para el diseño e implementación de sistemas de cosecha de agua de lluvia y aprovechamiento de este recurso natural renovable.

2.3 Cosecha de agua

La recolección de agua de lluvia para el consumo humano se recomienda principalmente en áreas rurales o urbanas marginadas, donde los niveles de precipitación permitan satisfacer las necesidades de la población y no haya acceso a fuentes superficiales cercanas. Esto es especialmente relevante cuando el nivel freático de las aguas subterráneas es bajo. Sin embargo, en la actualidad, es esencial aprovechar la captación de agua en todas las zonas habitadas, incluso cuando existe un sistema de suministro establecido. Se debe considerar la captación de agua como un sistema alternativo o complementario para la distribución de agua, independientemente de la disponibilidad de otros recursos hídricos.

La cosecha de agua de lluvia se refiere a las estructuras empleadas para la captación, recolección, conducción y almacenamiento del agua pluvial para su uso posterior (aquella para consumo humano debería ser potabilizada). No toda el agua usada a nivel domiciliario necesita ser de calidad potable, especialmente el agua usada para cisternas de WC, lavadora, riego de jardines y limpieza de vehículos.

Un sistema de cosecha de agua de lluvia está basado en captar el agua de lluvia, en alguna superficie lo más común es en el techo o en la azotea del hogar, la lluvia se redirige a través de canaletas, tejas o tubería externa, posteriormente se almacena en un depósito, estos pueden ser de concreto o de plástico rígido tipo cisterna o tinaco. Posteriormente el agua pluvial recibe un proceso de filtrado y para finalizar este proceso se distribuye a través de un circuito hidráulico independiente a la red de agua potable mediante un sistema de bombeo solar [5].

La FAO (2013), señala que la práctica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se define como la técnica o procedimiento capaz de aumentar la disponibilidad de agua en un espacio o terreno, para uso doméstico, animal o vegetal. Considera además que, por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos, agua, manejo de cultivos y animal. Así como la construcción de obras hidráulicas que permitan captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia entre otras existen:

- **Micro captación:** Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos.
- **Macro captación:** Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macro captación interna) o apartadas del área de cultivo (macro captación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas.
- **Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables:** Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas, establos, patios, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico.

En las técnicas de captación es importante identificar los principales componentes del Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL), su funcionamiento, criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción, la forma de construir estos sistemas; de manera que la puesta en marcha de los proyectos sea factible con un enfoque de sostenibilidad. No tienen grandes variaciones entre sí, la mayoría constan básicamente de tres componentes: captación, conducción y almacenamiento [14].

2.3.1 Sistemas de cosecha

Existen diferentes tipos de sistemas para la cosecha de agua de lluvia en los cuales cuentan con los mismos componentes, lo que los diferencia entre sí es la parte final del proceso la cual es “suministro” del recurso recolectado y almacenado, son tres tipos de sistemas básicos; directamente bombeado, indirectamente bombeado y por gravedad. Cualquiera de las tres opciones funciona, solo es importante ver cual se adecua de mejor forma a la demanda con la que cuenta el sitio.

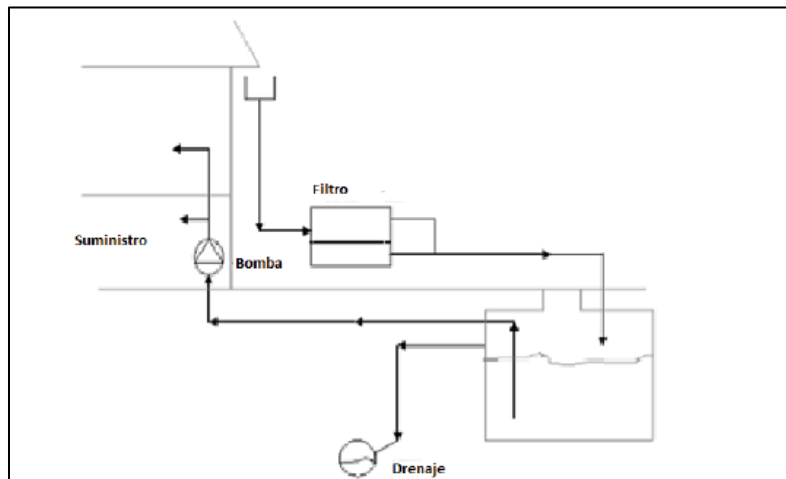


Figura 8 Sistema de bombeo directo. Fuente: [15]

1. En la Figura 8 se observa el sistema de bombeo directo, el cual consiste en recolectar y redirigir el agua mediante las estructuras hacia el filtrado del agua para su posterior almacenamiento, una vez almacenada se pone a disposición del suministro con ayuda de una bomba de agua de manera directa, la capacidad de la bomba dependerá directamente de la edificación.

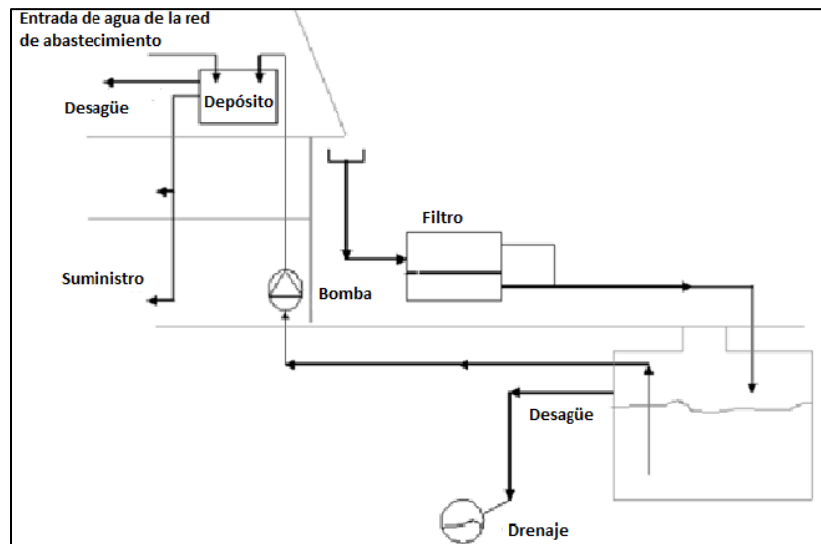


Figura 9 Sistema de bombeo indirecto. Fuente: [15].

2. En la Figura 9 se observa el sistema de bombeo indirecto, el cual consiste en recolectar y redirigir el agua mediante las estructuras hacia el filtrado del agua para su posterior almacenamiento, una vez almacenada se ocupa una bomba de agua para llevar el agua de nuestro depósito inferior a un depósito (tinaco) que se encuentra en la parte superior de la edificación, el cual deberá estar por al menos 1 metro por encima de los puntos a suministrar, así garantizar un suministro mediante gravedad a partir de este depósito. En caso de que el tanque se encuentre vacío, el tanque será abastecido con agua del sistema de red de agua potable. La ventaja principal del bombeo indirecto es que, en caso de falla eléctrica o falla mecánica, se podrá contar con el suministro del depósito superior. Como también que cuenta una mayor capacidad de almacenamiento de reserva.

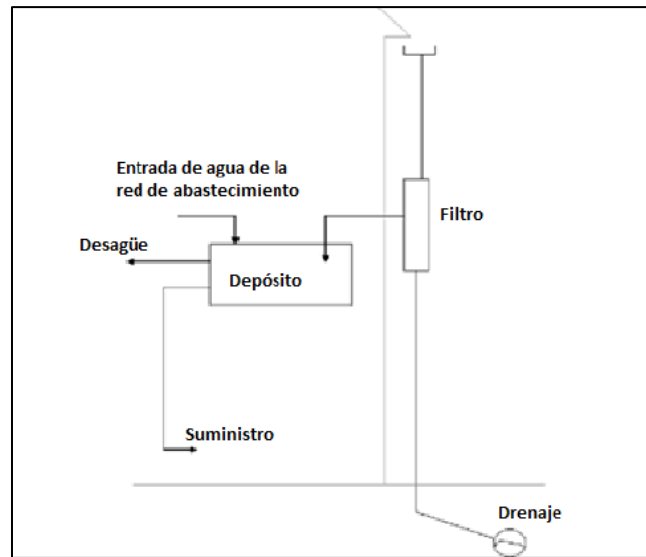


Figura 10 Sistema por gravedad. Fuente:[15]

3. En la Figura 10 se observa el sistema alimentado por gravedad el cual consiste en recolectar y redirigir el agua mediante las estructuras hacia el filtrado del agua para su posterior almacenamiento, pero en este caso no existe ningún sistema de bombeo, simplemente alimenta la instalación mediante la fuerza de gravedad, por lo que es indispensable que el depósito se encuentre al menos a un metro por encima del nivel de los puntos de suministro.

Cuando el depósito llegue a estar vacío, el agua será suministrada por el sistema de red de abastecimiento de agua. Si el tanque se encuentra lleno cualquier aporte de agua de lluvia adicional será redirigido al desagüe. La principal ventaja del sistema es que no requiere bombeo eléctrico, por lo que se encuentra ausente de posibles fallas mecánicas o eléctricas. Por otro lado, la desventaja sería que la presión en los suministros no sería la más óptima.

- En la Figura 11 se observa el sistema que se propone, “Sistema de bombeo indirecto para la cosecha de agua de lluvia acompañado de un bombeo solar”, es similar al sistema #2, pero como lo dice su nombre se trabaja mediante una bomba solar para suministrar el agua y de esta forma eliminar una de las principales desventajas del sistema anterior, la cual era posibles fallos de suministro eléctrico, con éste el sistema cuenta con el respaldo del almacenamiento secundario y logra suministrar los servicios mediante gravedad. Hay que destacar que también es amigable con el medio ambiente, con el ahorro de suministro eléctrico que requiere la bomba. El agua remanente en la temporada lluvia será reincorporada al suelo mediante un sistema de tubería sanitaria.

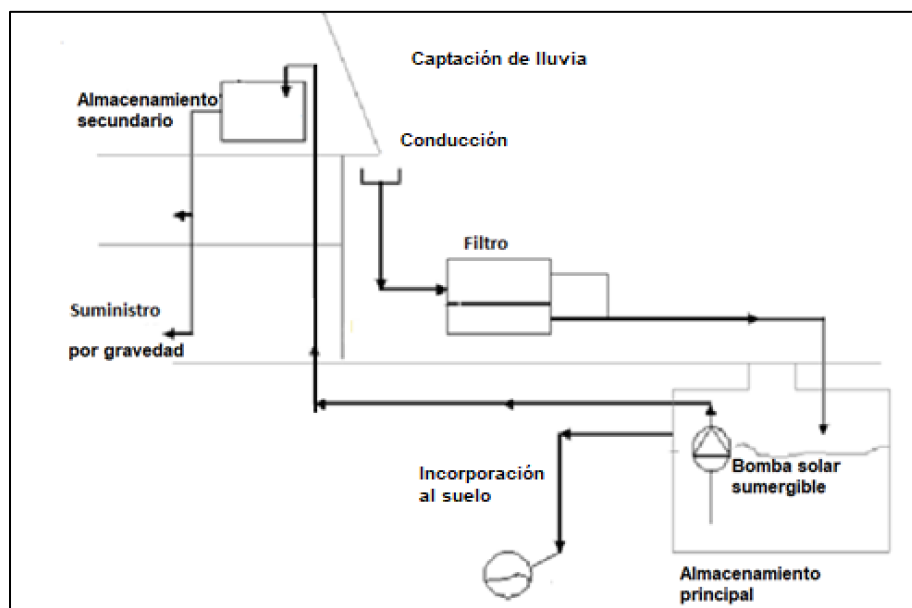


Figura 11 Sistema de bombeo indirecto para la cosecha de agua de lluvia acompañado de un bombeo solar.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de: [15].

Es relevante señalar que los sistemas de cosecha de agua de lluvia no pueden reemplazar completamente a los sistemas de red de suministro de agua, especialmente en situaciones donde la demanda de agua de una edificación es significativa. Los sistemas de cosecha de agua de lluvia son valiosos para ciertos usos, pero no siempre pueden satisfacer todas las necesidades de agua de un edificio debido a las fluctuaciones en la disponibilidad y la cantidad de precipitación. En muchos casos, los sistemas de cosecha de agua de lluvia se utilizan de manera complementaria a los sistemas de abastecimiento convencionales. Pueden ser eficaces para satisfacer las demandas de agua no potable, como el riego de jardines, la limpieza de instalaciones o incluso para sistemas de inodoros, reduciendo así la dependencia de recursos hídricos convencionales, también ofrecen beneficios ambientales y económicos.

2.3.2 Componentes de un sistema de cosecha de agua lluvia (SCALL)

Los componentes del sistema de captación de agua de lluvia en techos están compuestos de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor/ filtrador; y d) almacenamiento E) distribución por bombeo solar F) incorporación del agua excedente.

A. Captación: La captación de agua de lluvia es la parte inicial del proceso de cosecha, usualmente está conformado por el techo de la edificación, por lo que este debe contar con superficies inclinadas o ángulo de pendiente que permita el flujo del agua hacia el siguiente paso, hoy en día todos los edificios cuentan con su sistema de caída de agua. Para evitar acumulaciones de agua, se debe estudiar la superficie donde se planea emplear el proyecto, debe encontrarse libre de posibles agentes que puedan contaminar el agua.

Los materiales con los que está elaborada la superficie también son influyentes, algunos ejemplos son: láminas metálicas, tejas de arcilla, paja, láminas de fibra de vidrio, policarbonato o la plancha de concreto impermeabilizada. Se debe tomar en cuenta que el material no contamine el agua de lo contrario puede ser peligroso. También cada material cuenta una cantidad diferente en su coeficiente de escorrentía.

B. Recolección y conducción: Esta parte está conformado por las canaletas que se encargan de redirigir el agua hacia los puntos de almacenamiento, éstas pueden ser de metal, PVC, madera o incluso bambú; cada materia tiene sus ventajas y desventajas, de igual forma la elección del material varía según la edificación en la que se proponga el sistema de cosecha de agua de lluvia, en el caso de este tema de investigación se propone en un edificio de 3 pisos. Al ser ya algo de un tamaño industrial, éste ya cuenta con su sistema de caída de agua interna de tal forma que no es visible desde el exterior y se ocupa PVC sanitario. También un punto a tomar en cuenta es al momento de realizar uniones de las canaletas (sea el material que sea), ya que deben de unirse de manera uniforme para prevenir fugas y respetar los ángulos de caída de agua. Para el caso de las primeras aguas es necesario contar con un dispositivo de descarga, ya que éstas constituyen una posible fuente de contaminación por posibles agentes contaminantes que se hayan acumulado durante la temporada de sequía, como también las primeras lluvias de la temporada, lluvias ácidas.

C. Filtrador /Interceptor de primeras aguas: Este componente también conocido como dispositivo de descarga de las primeras aguas, cumple con el impedimento de que el material no deseado ingrese al tanque de almacenamiento; desde basura, hojas de árbol, polvo, en el caso particular de la región de Puebla es importante destacar la ceniza volcánica, como también las lluvias ácidas que por naturaleza son las primeras de la temporada. Es por eso por lo que su función es capturar y desechar las primeras lluvias, para así minimizar la contaminación y poder mejorar la calidad de agua que se utilizará posteriormente.

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo [5]. Una vez lleno, el agua se empezará a redirigir a nuestro almacenamiento principal, este es el método convencional del interceptor de primeras aguas.

Los filtros de agua son herramientas que se utilizan para filtrar las impurezas y los contaminantes del agua a fin de proporcionar agua limpia. Para eliminar las impurezas y mejorar la calidad del agua, estos filtros funcionan con una variedad de tecnologías y procedimientos.

- D. Almacenamiento: Consiste en la parte del proyecto destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia, según los requerimientos que tenga la edificación y poder subsanar una parte del uso de la red de agua. Hoy en día existen varias opciones; pueden ser de concreto de manera subterránea o a nivel de piso, se recomienda que la altura del tanque no supere los 2 metros. Esto minimiza las sobre presiones y contribuye a la estabilidad estructural del tanque. También existe las cisternas plásticas éstas de igual forma pueden estar a subterránea o a nivel de piso, es más recomendable que se instalen bajo tierra, para mitigar los rayos de luz, polvo, insectos o cualquier agente contaminante. Para complementar esto una tapa con cierre hermético y de un tamaño grande para poder realizar servicios de limpieza o reparaciones en caso de ser necesarias.
 - E. Distribución mediante bombeo solar: Se refiere al conjunto de tuberías que tiene como tarea la distribución del agua recolectada a los servicios requeridos en toda la edificación mediante un sistema de bombeo solar. Existen bombas de superficie y bombas sumergibles, cualquiera de las dos es una buena opción. A la hora de elegir la capacidad de la bomba se debe tomar en cuenta el servicio con mayor altura junto con la distancia que recorrerá a lo largo de toda la edificación. Posteriormente realizar el dimensionamiento solar para la capacidad instalada de la bomba.
- La distribución mediante bombeo solar es una opción sostenible, ya que aprovecha una fuente de energía renovable y reduce la dependencia de fuentes no renovables.
- F. Incorporación del agua excedente al suelo: Este segmento se lleva a cabo mediante el agua remante que exista durante la temporada de lluvia, porque debido a la alta precipitación que existe, siempre existirá un excedente de agua, por la cual ésta se incorpora al suelo mediante un sistema de tuberías sanitarias.

La Figura 12 muestra los principales elementos para un sistema de cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar.



Figura 12 Elementos del sistema de cosecha de agua de lluvia.

2.4 ¿Qué es la energía solar?

El Sol es una estrella enorme. Con un diámetro de 1,4 millones de kilómetros podría albergar a 109 planetas en su superficie. Si fuera hueco, más de un millón de Tierras podrían vivir en su interior, pero no lo es. Está relleno de gases calientes que representan más del 99,8 por ciento de la masa total del sistema solar. La temperatura alcanza los 5.500 grados centígrados en la superficie y más de 15,5 millones de grados centígrados en el núcleo. Comparado con los mil millones de estrellas del universo, el Sol pasa desapercibido. Sin embargo, para la Tierra y otros planetas de alrededor, el Sol es un poderoso centro de atención: su luz da vida, calor y mantiene unido el sistema solar [16].

Al igual que muchas otras fuentes de energía, el Sol no es eterno. Ya tiene 4,5 mil millones de años y ha utilizado casi la mitad del hidrógeno de su núcleo, por lo que se agotará en unos cinco mil millones de años, pasando el helio a ser su combustible principal. El Sol se hará más grande, alcanzando casi 100 veces su tamaño actual, tras absorber a la Tierra y otros planetas. Arderá como una estrella gigante roja durante otros mil millones de años y luego estallará en una enana blanca del tamaño del planeta Tierra [16].

La energía solar se define como constante solar la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie y unidad de tiempo sobre una superficie perpendicular al Sol situada en el límite de la atmósfera, a la distancia media anual Tierra-Sol. Su valor es de 1.353 W/m^2 y representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre. Por otro lado, esta energía corresponde a una radiación electromagnética formada por un conjunto de longitudes de onda (λ), cuya velocidad de propagación es de 300.000 km/s . La descomposición de esta radiación origina el llamado espectro solar, el cual está formado por tres bandas de longitudes de onda, comprendidas entre los siguientes valores:

- Ultravioleta (UV): $\lambda < 0,35 \mu\text{m}$
- Visible: $0,35 < \lambda < 0,75 \mu\text{m}$
- Infrarrojo: $\lambda > 0,75 \mu\text{m}$

Cada longitud de onda transporta una cantidad de energía, siendo el valor máximo a 0,47: m, es decir, dentro de la zona visible del espectro solar. En conjunto, la radiación visible transporta el 47% de la energía solar, la radiación IR, el 46%, mientras que la radiación UV transporta el 7% restante [17].

La distribución de la energía solar que llega a la Tierra no es uniforme y los factores de que depende ésta son, por un lado, la hora del día, la latitud del lugar y la orientación de la superficie receptora, y por otro, las condiciones climatológicas. Los primeros factores son perfectamente calculables, pero las condiciones climáticas sólo son predecibles en términos estadísticos. Todo ello hace necesario determinar experimentalmente la radiación solar que llega en cada momento a un lugar determinado, lo que se lleva a cabo mediante diferentes tipos de instrumentos. Así, los piranómetros miden la radiación global, los pirheliómetros miden la radiación directa y los heliógrafos miden la duración de la insolación (horas reales de sol). Con los resultados obtenidos de los distintos métodos, tanto de medida como de cálculo, en diversos puntos, se elaboran los mapas solares, que permiten utilizar los datos disponibles de la forma más cómoda posible con vistas al diseño y emplazamiento de los equipos captadores de la energía solar [17].

El primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos sistemas de características muy diferentes: sistemas pasivos y sistemas activos.

2.4.1 Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas que llegan en diferentes frecuencias, esta se mide en KWh/m^2 , la cual llega de cuatro maneras diferentes:

- Radiación directa: este tipo de radiación es la que como indica su nombre llega desde el sol de manera directa sin que exista algún desvío en su camino.
- Radiación difusa: es la que en su viaje desde el sol hasta el panel sufre cambios en su dirección lo cual se debe a la reflexión y difusión causada por la atmósfera.
- Radiación reflejada: ésta es reflejada por la superficie terrestre, esta depende directamente del coeficiente de reflexión de la superficie.
- Radiación Global: es la radiación total, es decir la suma de las tres radiaciones anteriores.

Se debe tomar en cuenta que mientras mayor sea la radiación solar que llega a los paneles solares mayor será su aprovechamiento para luego transformarla a energía eléctrica. En la

Figura 19 se puede apreciar de mejor manera los tipos de radiación y como es que varían a pesar de que provienen del sol.

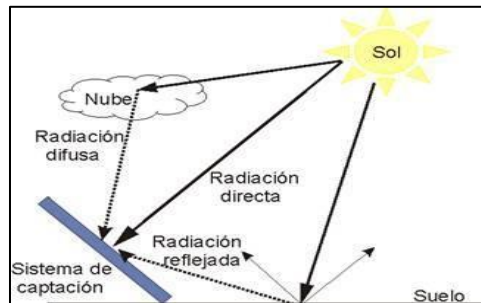


Figura 13 Tipos de radiación. Fuente:[18].

2.4.2 Horas pico solar

Las horas de sol pico (HSP) en una unidad de medida de irradiación (energía) suponiendo una radiación constante de 1000 W/m^2 . Por lo tanto, es una magnitud que se mide en “horas”. Cuando hablamos de 1 hora de sol pico (HSP), nos referimos a la energía recibida por una radiación de 1000 W/m^2 durante 1 hora. Este parámetro nos permite calcular de forma sencilla la energía recibida en un periodo de tiempo.

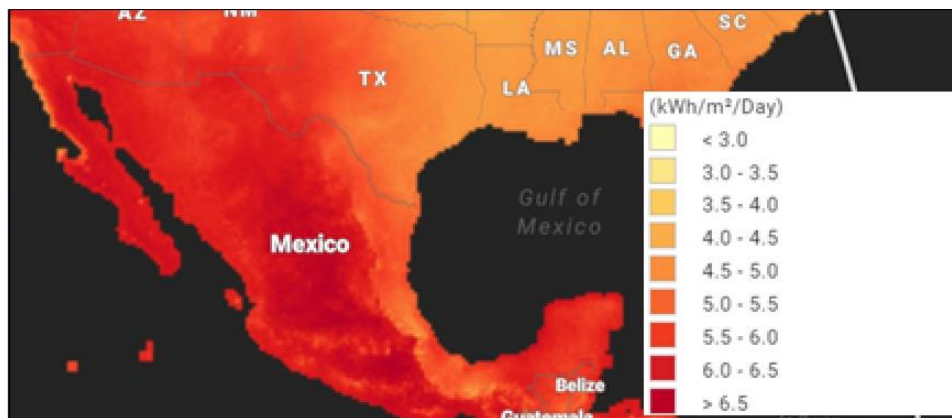


Figura 14 Mapa de horas pico solar promedio en México. Fuente: [19]

En toda la extensión del territorio mexicano se cuenta con una alta irradiación como se ve en la Figura 20 donde se muestran un mapa de las horas pico solar donde la mayor parte del territorio ronda entre 5 y 6 horas, lo cual es muy benéfico para los proyectos de energía solar y en general para la generación de energía a través de energías renovables, teniendo la capacidad de cumplir los retos energéticos que existen.

2.4.3 Angulo de inclinación de un panel solar

El ángulo de inclinación es el que nos indica la forma en que se deben colocar los paneles para obtener el mejor rendimiento a través de los rayos del sol y se encuentra entre el plano horizontal y el panel solar. El sol se desplaza en el cielo de éste a oeste. Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular cuando esté a mediodía. Por lo general los paneles solares son colocados sobre un techo o sobre una estructura y tiene una posición fija; no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo. Por lo tanto, no están orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90 grados) mientras sea de día [20].

La recomendación para colocar los paneles solares se hace tomando en cuenta la latitud del lugar en el que se va a colocar el panel o paneles más 5° grados, según sea el caso, además hay que tomar en cuenta que al instalarlos hay que orientarlos hacia el sur geográfico como se observa en la figura siguiente. Esto se debe principalmente a que, con esta inclinación, el panel solar tendrá un mejor rendimiento anual, la orientación del sol varía según la hora del día y también de acuerdo con el día del año, Figura 20 [20].

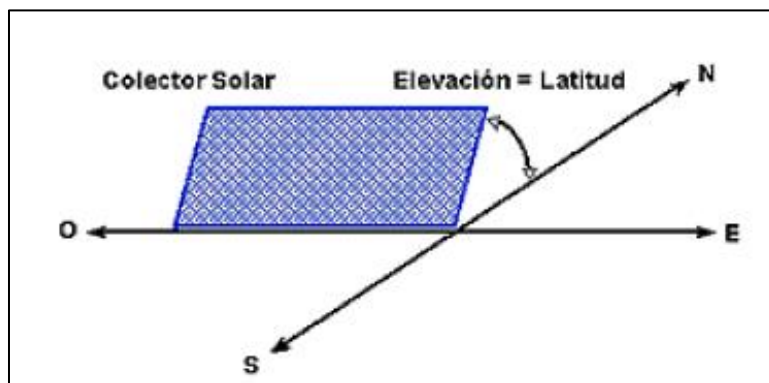


Figura 15 Orientación de una estructura fija para la captación de la radiación solar. Fuente:[20].

2.4.4 Movimiento de la tierra

El planeta tiene dos tipos de movimientos, rotación y traslación, que se producen al mismo tiempo.

- Rotación: Es el tiempo que tarda la tierra en dar un giro sobre sí misma (en sentido antihorario, tomando de referencia el polo norte), este movimiento define el tiempo de los días y de las noches. Este movimiento también genera que en el planeta haya

diferentes zonas horarias, estos son factores para tener en cuenta a la hora de diseñar la instalación fotovoltaica.

- **Translación:** En segundo lugar, está el movimiento de translación que es el tiempo que tarda en dar una vuelta completa a nuestro astro más cercano, el sol. Que este tiempo es de 365 días 5 horas, 45 minutos y 46 segundos, como se puede observar, no tarda un año exacto en girar (365 días) por esta razón existen los años bisiestos, para equilibrar el tiempo cada 4 años.

Estaciones

En la Figura 13 se muestra la trayectoria que tiene la tierra, urante la órbita elíptica de la Tierra sobre su eje inclinado alrededor del Sol se producen las cuatro posiciones principales del planeta que dan lugar a las diferentes épocas del año, pasando por equinoccios y solsticios. Centrados en el hemisferio norte, los solsticios ocurren el 21 de marzo y el 23 de septiembre, que es el momento del año en el que el sol forma un eje perpendicular con el ecuador, estos días la duración de la noche y del día es igual[21].

En cuanto a los solsticios, cabe diferenciar el solsticio de invierno y el de verano. El solsticio de invierno es el que marca el principio de la estación, es el momento en el que la posición del sol en el cielo se encuentra en la mayor distancia angular negativa del ecuador celeste. Se manifiesta la reversión de la tendencia al alargamiento de la duración de las noches y el acortamiento de las horas diurnas. El solsticio de verano es lo contrario al de invierno, marca el comienzo del verano y es el momento en el que la posición del cielo se encuentra en la mayor inclinación positiva al sol (23, 27°)[21].

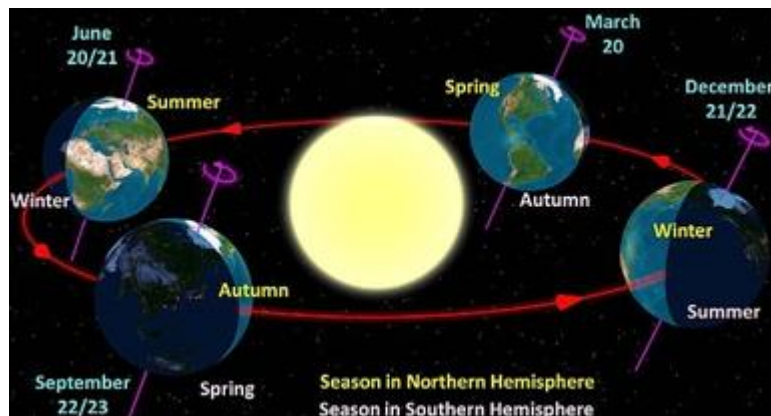


Figura 16 Estaciones del año en función de la posición de la tierra. Fuente:[21].

2.5 Sistemas de aprovechamiento de la energía solar

La energía solar tiene dos formas de emplearse, a través de la energía activa que es la más conocida ya que en este punto se incluye la energía térmica y fotovoltaica, y mediante energía solar pasiva.

Existen varias diferencias entre ambas tecnologías, pero la más importante y característica es que la energía activa consiste en una transformación de energías, convirtiendo la corriente continua generada por la energía solar, en corriente alterna disponible para utilizar en todos los aparatos eléctricos de nuestro hogar. Sin embargo, la energía solar pasiva permite disfrutar directamente de la energía producida por el sol sin haber entrado en ningún proceso de transformación energético. Esto va directamente condicionado con las estructuras de las edificaciones, para lograr el mayor aprovechamiento de la energía de la luz solar.

2.5.1 Sistemas de aprovechamiento pasivos

La energía solar pasiva se consigue principalmente con la arquitectura bioclimática: un principio de diseño de edificios donde, con el uso de diferentes materiales y orientaciones, se consigue utilizar la energía captada durante el día para mantener el edificio cálido durante la noche, o evitar el calor excesivo durante las horas de más sol. También Aprovecha la energía calórica de los rayos solares como sistemas de calefacción en invierno y los evita en verano para mantener los espacios más frescos, este tipo de arquitectura plantea una mayor aplicabilidad de propiedades físicas de los materiales para realizar procesos de selección acorde con las consideraciones climáticas y a los requerimientos ambientales del proyecto, sea aislación o acumulación térmica [22].

Aunque todo esto puede parecer muy moderno y tecnológico, en realidad es una de las maneras más antiguas de aprovechar la energía solar: adaptar los edificios a la climatología de la zona para conseguir una climatización perfecta en cada momento, tal cual como se puede observar en la Figura 14, donde un muro polivalente funciona de diferente forma según la estación del año y por su puesto el requerimiento térmico.

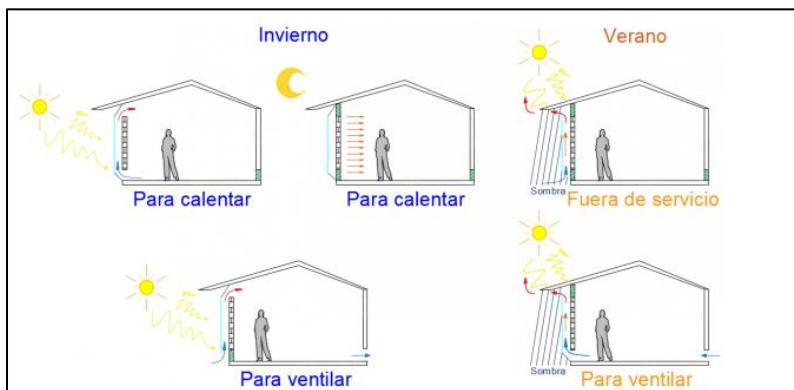


Figura 17 Muro térmico polivalente, funcionamiento según estación. Fuente:[23]

En diferentes lugares del mundo se han proyectado obras que, debido al entendimiento del clima por parte del arquitecto, han logrado ser obras ejemplares, las cuales son objeto de estudio en los procesos de formación de arquitectos conscientes de su responsabilidad ambiental. Las primeras propuestas de arquitectura solar datan de los años 30, con el arquitecto George Keck, considerado pionero en este tipo de arquitectura, el cual diseñó la “Casa del mañana” en 1933 y posteriormente la casa Sloan, en 1940, la cual fue la primera en ser llamada casa solar [22].

2.5.2 Sistemas de aprovechamiento activos

2.5.2.1 Solar térmico

Un sistema solar térmico (SST) tiene como objetivo transformar la radiación solar a energía térmica para luego ser aprovechada, en procesos industriales o a nivel domiciliario. Existen distintas formas de realizar esta conversión dependiendo del tipo de colector utilizado, al igual que existen diversas formas de utilizar el calor generado. El fluido que circula al interior del SST, y que finalmente permite transportar la energía captada, recibe el nombre de fluido caloportador (HTF, Heat Transfer Fluid). Se pueden utilizar diferentes tipos según la tecnología solar considerada o temperatura objetivo del sistema, tales como agua (pura o con algún anticongelante), aire, aceite térmico, sales fundidas, entre otros. Así también, la energía térmica capturada puede ser utilizada directamente en procesos o de manera indirecta a través del uso de intercambiadores de calor [24].

Los colectores solares se pueden dividir en dos grandes grupos, aquellos colectores que concentran la radiación solar directa recibida en un punto o una línea, permitiéndoles alcanzar mayores temperaturas de trabajo y aquellos que captan la radiación solar sin concentrarla. Pese a que existen distintos tipos de colectores, éstos se rigen bajo los mismos principios de operación, la radiación llega a un absorbedor el cual se calienta para luego entregar este calor al fluido caloportador (HTF) que circula a través de un circuito hidráulico [24].

2.5.2.2 Solar fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos.

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica. Están formados por celdas hechas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, siendo capaces de generar cada una de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios. Los paneles se colocan en serie para conseguir un voltaje adecuado a la aplicación eléctrica en cuestión o demandada, entonces los paneles capturan la energía solar transformándola energía eléctrica. Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados[25].

Un panel fotovoltaico (PV), comúnmente llamado panel solar, contiene células PV que absorben la luz del sol y convierten la energía solar en electricidad. Estas células, hechas de un semiconductor que transmite energía (como el silicio), se encadenan para crear un módulo. Un típico panel solar de tejado tiene 30 módulos. Cuando el semiconductor de los paneles fotovoltaicos absorbe la luz solar, los electrones (que forman la base de la electricidad) se liberan de su lugar y fluyen por el semiconductor. Estos electrones liberados, cada uno con una carga negativa, circulan a través de la célula hacia la superficie frontal, creando un desequilibrio de carga entre la parte delantera y la trasera [26].

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, que permite construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados. Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos:

- Los sistemas conectados a la red son sistemas que están integrados con los sistemas eléctricos residenciales e industriales convencionales. Pueden utilizarse cuando sea necesario en alternancia o en combinación con la red eléctrica para responder a las necesidades energéticas del usuario final.

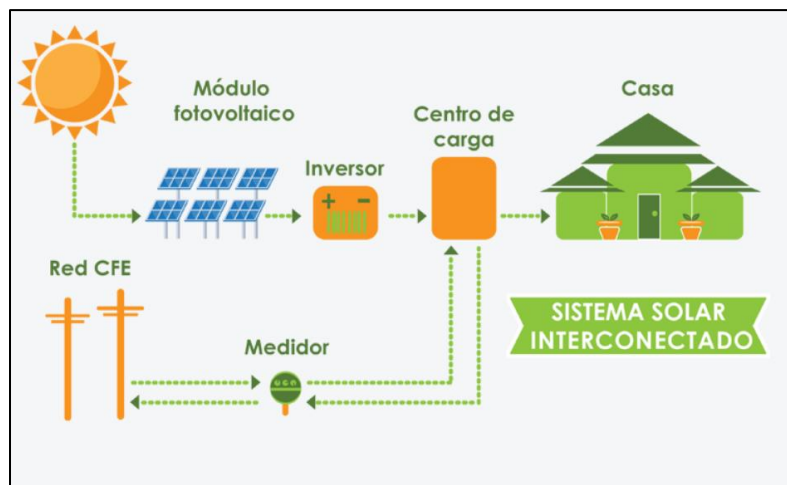


Figura 18 Sistemas conectados a la red. Fuente: [27]

- Los sistemas autónomos se diseñan de tal manera que incluyen un sistema de baterías para garantizar el suministro de energía eléctrica incluso durante la noche o cuando el nivel de irradiación solar es insuficiente o nulo. Los módulos fotovoltaicos pueden ser conectados de dos maneras diferentes las cuales son en serie o en paralelo esto dependiendo de lo que busque obtener ya sea el voltaje en el caso de una conexión en serie, o en paralelo para aumentar la intensidad de corriente.

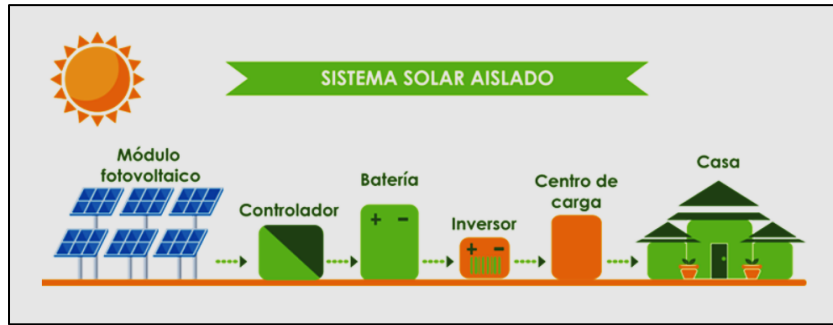


Figura 19 Sistema autónomo. Fuente: [27].

- Sistemas híbridos: Además de la fuente fotovoltaica tienen una fuente de energía adicional. En este tipo de sistemas la red puede funcionar como almacenamiento. Normalmente la otra fuente de energía utilizada es la energía eólica, pero se pueden utilizar otros tipos de generación eléctrica [21]. Un sistema híbrido también puede estar conectado a la red, para asegurar el suministro eléctrico cuando haya falta de energía.

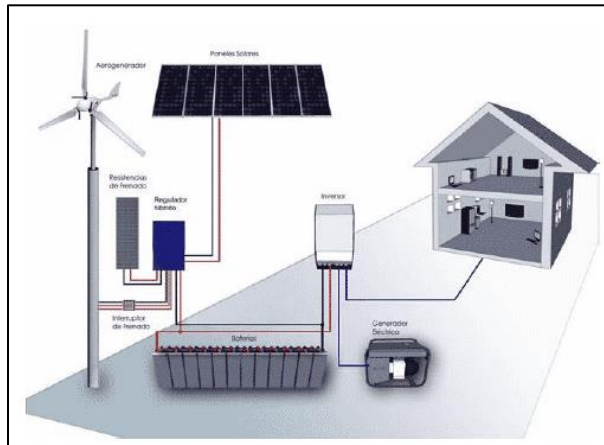


Figura 20 Sistema híbrido. Fuente: [21]

2.5.2.2.1 Partes de un sistema solar fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico cuenta con varias partes para lograr su funcionamiento de manera adecuada, existen algunos componentes que pueden variar dependiendo si es un sistema interconectado o un sistema aislado. La Tabla 4 enlista las partes y posteriormente se describe cada uno de ellos.

Tabla 4 Comparación de componentes de un sistema interconectado y uno aislado.

Parte	Sistema interconectado	Sistema aislado
Modulo FV	✓	✓
Inversor	✓	✓
Centro de carga	✓	✓
Medidor	✓	
Red CFE	✓	
Controlador		✓
Batería		✓
Usuario	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.2.2 Módulo fotovoltaico

El principal componente de los paneles solares es el silicio, el cuál es, después del oxígeno, el elemento químico más abundante del planeta y constituye el 28% de la corteza terrestre. El silicio comercial con purezas del 99%, se obtiene a partir de sílice o dióxido de silicio (SiO_2) el cual se encuentra en algunos minerales como la arena, cuarzo, ópalo y jaspe. Sin embargo, el panel solar está compuesto por otros elementos importantes[28]. En la Figura 18, se muestran las partes de un módulo fotovoltaico, de tal forma que se pueden apreciar de mejor forma, en los siguientes puntos se describirán.

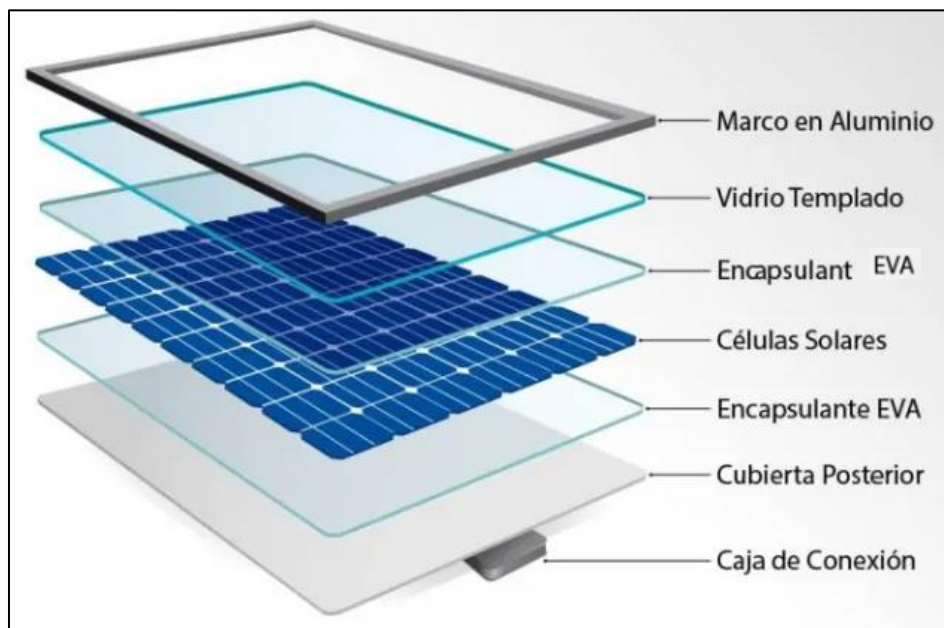

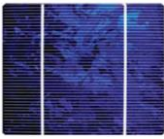



Figura 21 Partes de un panel solar. Fuente:[28]

1. **Marco:** El marco del panel solar está hecho de aluminio anodizado, el cual es resistente a la corrosión y su función es proteger los componentes internos de las tensiones térmicas y mecánicas, además de proporcionar puntos de fijación para el montaje de los módulos.
2. **Vidrio Templado:** Esta capa del panel solar que por lo general tiene un espesor de 3 a 4mm cumple varias funciones; Proporciona protección mecánica a las células fotovoltaicas frente a impactos durante la instalación o transporte. Garantiza una baja reflectancia y una alta transmitancia del módulo, lo que se traduce en mejor aprovechamiento de la luz. Protege a las células solares contra factores externos como el agua, vapor o suciedad.
3. **Encapsulante EVA:** Por sus siglas en inglés Ethylene Vinyl Acetate (EVA) es un material que tiene buena transmisión de radiación y baja durabilidad a la luz solar. Una de las funciones de esta película es adherir las células solares a la capa superior (vidrio templado) y a la superficie posterior del módulo. Al aplicar calor a este polímero termoplástico en conjunto con las células solares actúa como agente encapsulante, creando una película sellante y aislante alrededor de las células. Así, evita la entrada de aire y la formación de humedad, deja pasar la energía del sol y es resistente a la degradación de la luz solar con el tiempo.
4. **Células Solares:** Son la parte más importante del módulo solar y como comentamos al principio su componente principal es el silicio. Su función es convertir la luz solar en energía eléctrica DC. Existen diferentes tipos de células solares, como son las monocristalinas, policristalinos y amorfos. Actualmente son más usadas las células monocristalinas por tener mayor eficiencia y mostrar mejor comportamiento frente a la temperatura. En la Tabla 5 se mencionan las características principales de los diferentes tipos de célula.

Tabla 5 Distintos tipos de celdas fotovoltaicas.

Cedulas	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características
 [29]	Monocrystalino	25%	15 – 18%	*Mayor rendimiento. *Su coste es superior al resto. *Color azul homogéneo.
 [29]	Policristalino	16-20%	12 – 14%	*Económico *Menor rendimiento *Distintos tonos de color azul.
 [29]	Amorfo	16%	< 10 %	*Más económico. *Menor rendimiento. *Flexibles. *Color marrón.

Fuente: Elaboración propia con datos de [30].

5. **Cubierta posterior:** El propósito principal es proteger el módulo de las radiaciones UV además de proveer aislamiento eléctrico del sistema y ofrecer durabilidad. Por lo tanto, para proteger un módulo durante toda su vida útil, la capa posterior debe tener tres propiedades: resistencia a la intemperie, resistencia mecánica y adherencia.
6. **Caja de conexión:** Es una caja pequeña resistente a la intemperie ubicada en la parte posterior del panel. Esta caja es el punto central donde todos los conjuntos de celdas se interconectan, por tanto, deben estar protegidas contra la humedad y suciedad.

Después de analizar de que están hechos los paneles solares y cada elemento, comprendemos la importancia de cada uno de ellos. De ahí que sea fundamental seleccionar fabricantes de módulos fotovoltaicos, que, entre otras cosas, ofrezcan garantía de producto cercana o igual a su vida útil. Hay fabricantes que ofrecen 25 años de garantía de potencia, pero solo 10 o 12 años de garantía producto [28].

Inversor

Un inversor de corriente, o convertidor de corriente, es un dispositivo eléctrico que se utiliza para transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) de manera que el voltaje proporcionado sea el mismo que el que podemos encontrar en cualquier enchufe de una vivienda o establecimiento. Estos se utilizan para aprovechar la energía eléctrica generada en los paneles solares con el fin de que puedan ser empleados en el uso diario, aunque también en generadores o en baterías de gran potencia[31].

El inversor en las instalaciones autónomas es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a la misma electrodomésticos de los utilizados habitualmente en las viviendas. En el caso de las instalaciones conectadas a red, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica a la que está conectado[32].

Centro de carga

Los centros de carga son tableros metálicos que soportan una cantidad determinada de pastillas termomagnéticas o fusibles para proteger y desconectar pequeñas tensiones eléctricas.

Los fusibles son el medio más antiguo de protección de los circuitos eléctricos y se basan en la fusión por efecto Joule de un hilo o lámina intercalada en la línea como punto débil. La construcción de los fusibles comprende una gran variedad de modelos, con distintos tamaños, formas y métodos de montaje; y para ser utilizados con diferentes gamas de tensión, corriente y tiempos de actuación. Así hay fusibles con montaje a rosca, a cuchilla o cilíndricos; hay fusibles de acción rápida o retardada; hay fusibles de alta capacidad de ruptura, etcétera.

Un interruptor termomagnético, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Los interruptores termomagnéticos (Breakers) combinan varios de los sistemas de protección, en un solo aparato. Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica[33].

Medidor bidireccional

Un medidor bidireccional es un dispositivo imprescindible en cualquier proyecto de energía renovable a nivel residencial. Éste tiene la capacidad de diferenciar entre la energía que CFE nos suministra y la energía que entregan los paneles solares cuando no es consumida en su totalidad por el mismo usuario.

Red CFE

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa pública de carácter social que provee energía eléctrica, servicio fundamental para el desarrollo de una nación. Es una

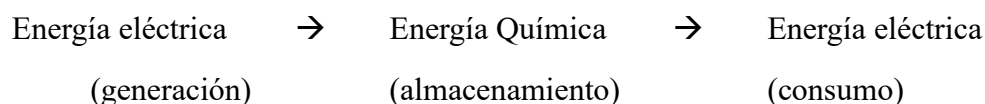
empresa productiva del Estado, propiedad exclusiva del gobierno federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

Controlador

Este dispositivo se encarga de gestionar el consumo directo de las placas, las baterías y la carga. Evitando sobrecargas o descargas profundas. Se instalan entre el generador y las baterías, tomando de éstas la energía para su funcionamiento. Los controladores actuales analizan el estado de carga de las baterías, su temperatura o la tensión, aplican esa información de control para modificar las condiciones de carga [20].

Batería

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente;



Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida. Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. Se define como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo[32].

Usuario

El usuario final es el consumidor de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Puede ser un hogar, una empresa, una instalación industrial o cualquier otra entidad que requiera suministro eléctrico

2.6 Bombeo solar

Un sistema de bombeo solar fotovoltaico consiste en la alimentación eléctrica a una bomba mediante paneles solares para poder transportar el agua de un sitio a otro, extraer agua de pozos, el uso más convencional es en los sistemas de riego agrícola.

Un sistema de bombeo fotovoltaico está compuesto principalmente por un generador fotovoltaico (paneles solares compuestos de varias células fotovoltaicas) que alimentan a un motor/bomba, un sistema de almacenamiento (puede ser bien por baterías como un sistema aislado o en forma de agua en un depósito situado a mayor altura que el suministro), un pozo o balsa de donde extraer el agua, un sistema de tuberías y puede incluirse también un sistema de acondicionamiento de potencia. El sistema de acondicionamiento puede ser un controlador DC/DC, para mejorar la curva de trabajo, un convertidor DC/AC, si la bomba trabaja en régimen alterno, u otro tipo de dispositivos electrónicos [34].

En la Figura 22 se muestran los principales componentes de un sistema de bombeo fotovoltaico (SFB):

- Subsistema de generación (módulos fotovoltaicos conectados en serie o paralelo)
- Subsistema motor-bomba
- Subsistema de acondicionamiento de potencia
- Subsistema de acumulación y distribución

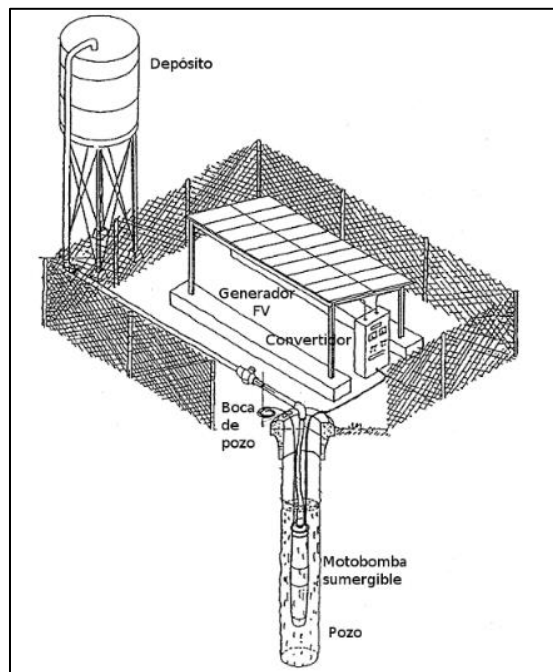


Figura 22 Componentes de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua. Fuente:[35]

2.6.1 Subsistema motor – bomba

En este apartado se analizará las características y funciones de los elementos de un sistema de bombeo;

- El motor
- La bomba

2.6.1.1 Motores

Un motor es una máquina que transforma de energía eléctrica a energía mecánica. Los motores pequeños de alto rendimiento (<5kW) son utilizados para sistemas de bombeo fotovoltaico.

Según el tipo de alimentación eléctrica, los motores pueden clasificarse en

- Motores de CC

Se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad nominales y por el par de arranque. La potencia que puede desarrollar es siempre proporcional al par de arranque y a la velocidad. El par de arranque es proporcional al flujo inductor y a la intensidad de carga, por lo tanto, la velocidad de giro del motor variará al voltaje, con la intensidad de funcionamiento y con el flujo magnético [36].

Entre las principales ventajas de estos motores para sistemas fotovoltaicos se encuentran:

- Altos rendimientos.
- No necesitan inversor.
- En general se pueden acoplar directamente al generador fotovoltaico

- Motores CA

Los motores de corriente alterna se componen fundamentalmente de dos partes un rotor y un estator y se caracterizan por su voltaje y potencia nominales, por su velocidad de giro (que depende de la frecuencia de la tensión de alimentación) y por el par de arranque. Estos motores tienen un factor de potencia que limita el aprovechamiento de la corriente suministrada, lo que da lugar a pérdidas adicionales. Su utilización en un sistema de energía solar fotovoltaica trae consigo un aumento del coste económico de la instalación, ya que es necesario utilizar un inversor CC/CA. Además, también son necesarios dispositivos electrónicos auxiliares que proporcionen las altas corrientes de arranque necesarias para este tipo de motores. Como ventaja principal de los motores CA frente a los CC es que en general son más eficientes y económicos [36].

2.6.2 Subsistema acondicionamiento de potencia

El subsistema de acondicionamiento de la potencia es proporcionar al motor-bomba la combinación más adecuada de voltaje/corriente asegurado, que el generador opera en su punto de máxima potencia. Los dispositivos de acondicionamiento de potencia pueden ser:

- Dispositivos de acoplo de impedancia o convertidores CC/CC: Son seguidores de máxima potencia (MPTT / Maximum Power Point Tracking) manteniendo al generador y a la carga en su respectivo punto de trabajo óptimo. Sus cometidos en el sistema son: Suministrar las elevadas corrientes de arranque del motor para que éste pueda funcionar a bajos niveles de irradiancia, maximizar la potencia que entrega el generador fotovoltaico [35], [36].
- Inversores CC/CA: La función principal de los inversores CC/CA es transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna para que puedan utilizarse motores CA [36].

2.6.3 Bombas

Una bomba hidráulica es un elemento el cual es capaz de mover o impulsar algún fluido haciendo uso de energía, todas las bombas constan mínimo de un orificio entrada del líquido y otra de salida, estos elementos se dividen en dos grandes grupos o tipos que son bombas volumétricas y las centrífugas.

- Bombas Volumétricas: son conocidas como volumétricas o bombas de desplazamiento positivo, su funcionamiento se basa en un cilindro o pistón el cual es el encargado de impulsar el fluido que se desee transportar de una manera periódica, este tipo de bomba se usa mucho en pozos de gran profundidad [18].
- Bombas centrífugas: También conocidas como bombas cinéticas, su funcionamiento se basa en generar diferencia de presión, son por lo general rotativas y son capaces de transformar la energía mecánica en presión de un fluido. Dentro de este grupo de bombas existen tres subdivisiones las cuales son: centrífugas, axiales o diagonales. Dentro del grupo de las bombas centrífugas encontramos las que son sumergibles y las que trabajan en la superficie, la elección de éstas depende mucho de su aplicación o de donde se va a tomar el agua ya que las que trabajan en la superficie presentan problemas cuando se debe extraer agua a una profundidad de 8 metros. Es por esto por lo que para la impulsión de agua desde un pozo la mejor elección son las bombas o electro sumergibles [18].

2.6.3.1 Bombas centrífugas sumergibles

Este tipo de bombas como su nombre lo indica son sumergibles en agua es decir se las puede colocar dentro de un pozo o de un tanque o de donde se desee sacar el agua, ya sea para un sistema de riego o suministrar de agua a una casa, por lo general estas bombas son diseñadas para funcionar con sistemas fotovoltaicos por lo cual no existe dificultad al momento de trabajar con potencia variable.

La mayoría de estas bombas aprovechan su capacidad de resistencia al agua para evitar un sobrecalentamiento, aunque hay fabricantes que para evitar cualquier tipo de calentamiento les colocan a las bombas un aceite refrigerante. Estas bombas para que puedan ser sumergidas en agua sin que exista el riesgo de algún problema eléctrico se encuentran sus circuitos herméticamente sellados y pueden sumergirse hasta 60 metros dentro del agua sin sufrir daños ni por presión del agua ni por posibles filtraciones de agua entre sus circuitos Dentro de este tipo de bombas centrífugas sumergibles, se encontraran dos tipos según su funcionamiento: Bombas de cilindro y Bombas de diafragma [18].

- Bombas de cilindro: De acuerdo a la Figura 23, este tipo de bombas al igual que las de diafragma son sumergibles y esto les otorga gran ventaja ya que lo que hacen es impulsar el agua y al no necesitar la presión del aire pueden impulsar el agua a grandes alturas sin mucha dificultad, este tipo de bombas también se encuentran selladas herméticamente para evitar cualquier tipo de daño; para su funcionamiento hacen uso de un pistón y un cilindro para impulsar el agua hacia el exterior pasando por la cámara de bombeo, el agua entra a la cámara cuando el cilindro baja y una vez que esté llena empieza la impulsión del fluido [18].

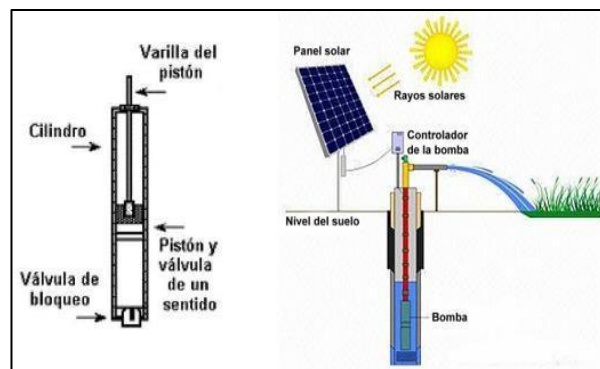


Figura 23 Bombas sumergibles de cilindro. Fuente:[18]

- Bombas de diafragma: Son conocidas como bombas sumergibles de diafragma o de doble membrana, este tipo de bombas tienen paredes elásticas las cuales en combinación con válvulas check o de retención son capaces de introducir el agua a la cámara de bombeo para luego impulsarla de la misma manera, en la Figura 24 se

puede observar como para el funcionamiento de la bomba se procede al ingreso del agua por medio de la válvula de entrada hasta que se alcanza la máxima capacidad en la cámara de bombeo, posteriormente se procede al cierre de la válvula de entrada y a la apertura de la válvula de salida, una vez abierta, las paredes elásticas aumentan la presión existente en la cámara y esto genera la impulsión del agua hacia el exterior [18].

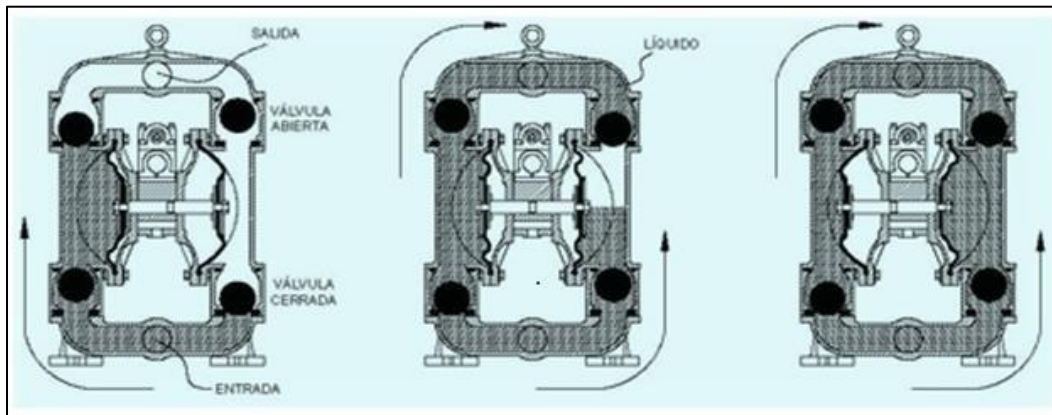


Figura 24 Bombas sumergibles de diafragma. Fuente:[18]

2.7 Agenda 2030

La Asamblea General de la ONU adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Los Estados miembros de la Naciones Unidas aprobaron una resolución en la que reconocen que el mayor desafío del mundo actual es la erradicación de la pobreza y afirman que sin lograrla no puede haber desarrollo sostenible [37].

La Agenda plantea 17 Objetivo, Figura 25, con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental. La nueva estrategia regirá los programas de desarrollo mundiales durante los próximos 15 años. Al adoptarla, los Estados se comprometieron a movilizar los medios necesarios para su implementación mediante alianzas centradas especialmente en las necesidades de los más pobres y vulnerables [37].



Figura 25 Los 17 objetivos de la agenda 2030. Fuente:[37]

La Agenda implica un compromiso común y universal, no obstante, puesto que cada país enfrenta retos específicos en su búsqueda del desarrollo sostenible, los Estados tienen soberanía plena sobre su riqueza, recursos y actividad económica, y cada uno fijará sus propias metas nacionales, apegándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dispone el texto aprobado por la Asamblea General [37].

Además de poner fin a la pobreza en el mundo, los ODS incluyen, entre otros puntos, erradicar el hambre y lograr la seguridad alimentaria; garantizar una vida sana y una educación de calidad; lograr la igualdad de género; asegurar el acceso al agua y la energía;

promover el crecimiento económico sostenido; adoptar medidas urgentes contra el cambio climático; promover la paz y facilitar el acceso a la justicia [37].



Figura 26 Agua limpia y saneamiento. Fuente:[37]

En la Figura 26 agua limpia y saneamiento que representa el objetivo 6. El acceso al agua potable, el saneamiento y la higiene representan la necesidad humana más básica para el cuidado de la salud y el bienestar. Miles de millones de personas no tendrán acceso a estos servicios básicos en 2030 a menos que se cuadrupliquen los avances. El rápido crecimiento de la población, la urbanización y las crecientes necesidades en materia de agua de los sectores agrícola, industrial y energético están provocando un aumento de la demanda de agua. La demanda de agua ha superado el crecimiento demográfico y la mitad de la población mundial actualmente sufre una escasez de agua grave durante al menos un mes al año. Se prevé que la escasez de agua aumente con el incremento de las temperaturas globales, provocado a su vez por el cambio climático [37].

La cosecha de agua de lluvia ayuda a promover el acceso al agua limpia, para los usos que se requieran de tal forma que este trabajo de investigación va de la mano con este objetivo y buscar la mayor difusión del tema en la población, para que se pueda llegar a cumplir la meta del objetivo en 2030.



Figura 27 Energía asequible y no contaminante. Fuente: [37]

El Objetivo 7 que corresponde a la Figura 27. Pretende garantizar el acceso a una energía limpia y asequible, clave para el desarrollo de la agricultura, las empresas, las comunicaciones, la educación, la sanidad y el transporte. Para garantizar acceso universal a electricidad asequible en 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal. Ampliar las infraestructuras y mejorar la tecnología para suministrar energía limpia en todos los países en desarrollo son objetivos cruciales que contribuyen tanto al desarrollo como al medioambiente [37]. Con la cosecha de agua de lluvia mediante un bombeo solar ayuda a mitigar la dependencia de la red eléctrica y garantizar el uso de energía, mediante esta opción renovable.



Figura 28 Ciudades y comunidades sostenibles. Fuente:[37] .

El Objetivo 11 que corresponde a la Figura 11. Pretende lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. No es posible alcanzar el desarrollo sostenible sin transformar significativamente la forma en que se construyen y gestionan los espacios urbanos [37]. En esta propuesta se sitúa una de las edificaciones de CU2, la cual se puede llegar a replicar para llevarla a toda la comunidad universitaria, ya que la proyección para el campus es de una gran magnitud, por lo que se deben tener en cuenta las innovaciones en las comunidades, de manera sostenible. La cosecha de agua de lluvia es una gran aportación para las comunidades, y al encontrarse en una comunidad rural, existe mucho por trabajar.

2.8 Energías renovables en México

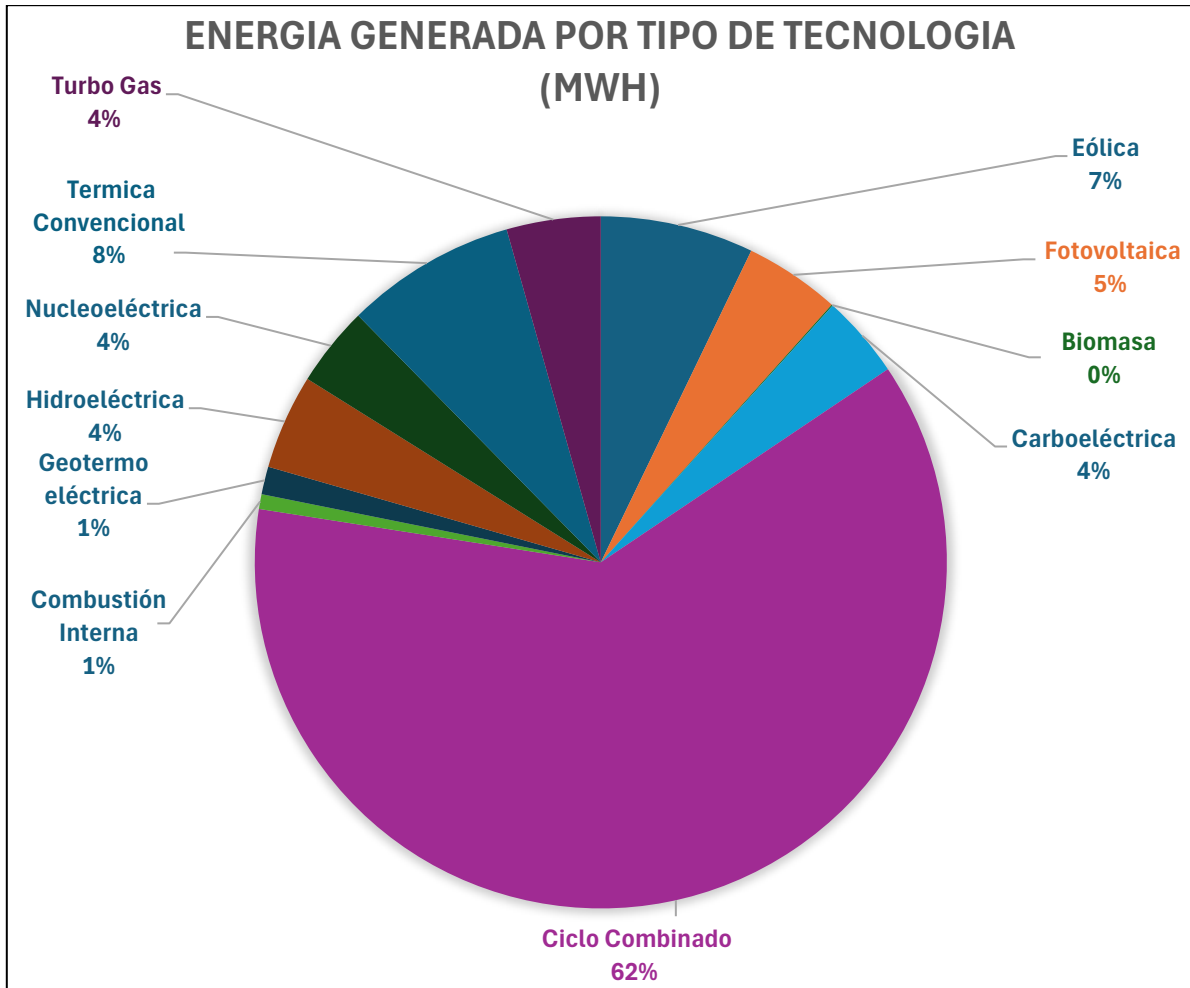


Figura 29 Energía generada en México en enero 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos: [38]

En la Figura 29 “Energía generada en México en el periodo enero 2024” se muestra como esta diversificada la generación de las energías renovables en México de lo cual se puede interpretar que el mayor productor es la energía de ciclo combinado con una participación del 62% en el mes de enero de 2024, con lo que el 38% restante se encuentra diversificado del resto de las energías renovables.

CAPÍTULO 3

Metodología

3.0 Localización para un sistema de cosecha de agua de lluvia

La ubicación de un sistema de cosecha de agua de lluvia se determina teniendo en cuenta diversos factores, incluyendo la recopilación de información general sobre el área, la evaluación del medio ambiente circundante, demandas de agua en la localidad, las precipitaciones pluviales para poder obtener resultados óptimos.

Información básica en el diseño de un SCALL

Antes de emprender el diseño de un Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Demanda de agua.
- Número de personas beneficiadas
- Precipitación en la zona, tomar en cuenta datos pluviométricos de por lo menos 5 años.
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación.

3.1 Demanda de agua

La demanda de agua se considera como la cantidad de agua que requiere una persona diariamente para cumplir físicas y biológicas de su cuerpo. Por lo que se debe considerar el número de estudiantes que se verán beneficiados. De igual forma se deben conocer las instalaciones de donde se llevará a cabo el proyecto. La expresión matemática para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000}$$

Ecuación 1

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

$$j = \text{No. del mes}, j = 1, \dots, 12 \text{ [5]}$$

Donde:

D_j = demanda de agua en el mes j , $m^3/\text{mes}/\text{población}$,

N_u = número de beneficiarios del sistema,

Dot = dotación, en $l/\text{persona}/\text{día}$,

N_{d_j} = número de días del mes j ,

D_{anual} = demanda de agua para la población,

j = número del mes ($j = 1, 2, 3, 12$)

1000 = factor de conversión de litros a m^3 .

Es importante destacar que la Ecuación 1 puede variar los resultados por que toma en cuenta todos los días del año con la misma cantidad de personas, por ello puede variar el resultado a diferencia de cuando se desglosa la población neta en los diferentes días de la semana.

3.1.1 Beneficiarios del sistema

Este fragmento de la investigación se debe de hacer de manera cautelosa, con respecto a la cantidad de estudiantes y profesores del edificio VAL 4, que serán los principales beneficiados con esta propuesta.

3.1.2 Dotación Diaria

Determinar la dotación diaria, se toma en cuenta los usos que se dará al agua capturada de la cosecha de agua de lluvia, por ejemplo, las cajas de llenado de WC, en un hogar, se puede ocupar para las lavadoras, o para limpieza en general, es por eso por lo que se debe determinar el uso que se dará, para poder tabular y realizar los cálculos de la dotación diaria, según sea el uso, establecerlo en “ lt/min ” y “ lt/hora ”, estableciendo la dotación.

3.1.3 Demanda diaria y población eventual

Una vez obteniendo las dotaciones diarias de los servicios, se debe determinar la demanda diaria y la demanda de población eventual, al ser una universidad, la cantidad de estudiantes que asiste en fin de semana es menor que los días de entre semana, por eso se debe realizar un cálculo para las poblaciones eventuales, que sería para sábado y domingo. Si las demandas de agua fueran iguales para todos los días, no sería necesario realizar las demandas de población eventual. Se toma en cuenta estos datos para llegar a un dato más preciso, se establece en “m³/día”

3.1.4 Demanda mensual de agua

La demanda mensual de agua se obtiene con los datos de “demanda diaria” (lunes - viernes) y “demanda de población eventual” (sábado y domingo), solo se multiplicará la cantidad de días (L-V) que tiene cada mes por la “demanda diaria”, posteriormente se multiplica la “demanda eventual” del sábado por la cantidad de sábados del mes y finalmente se multiplicara la “demanda de población eventual” del domingo por la cantidad de domingos que hay en el mes. Desglosando los datos, se podrá ver la diferencia de consumos con respecto a los días habituales y eventuales, así obteniendo la demanda de agua de cada mes y la demanda anual de agua en m³.

3.2 Oferta de agua de lluvia

En este apartado se hará una investigación sobre las precipitaciones en la localidad que se haya elegido, en este caso para la región donde se ubica el Ecocampus BUAP, Puebla. Es importante tomar en cuenta que la temporada de lluvia puede variar según el estado y la región en la que se encuentre, también se debe tener en cuenta períodos de al menos 5 años, entre más años se tomen en cuenta el análisis será más preciso. De igual manera se trabajará con el área disponible para la captación de agua lluvia.

3.2.1 Información pluviométrica mensual

Una vez terminada la recopilación de datos de precipitaciones, se promediaría mes con mes las precipitaciones para ver cuáles son los meses con mayor historial de precipitaciones, de esta manera notar la temporada de lluvia y la de sequía.

3.2.2 Cálculo de la precipitación pluvial neta

La Precipitación Pluvial Neta que podría almacenarse, se tomarán los promedios de las precipitaciones mensuales, para calcular este dato se debe de tener en cuenta el coeficiente de escurrimiento del material de la superficie en el área de captación, según el material puede variar este dato.

3.2.3 Área de captación

Se debe de calcular el área de captación disponible, en el caso de esta propuesta se toma como lugar de estudio la azotea del edificio VAL 4 que se encuentra en el ecocampus BUAP.

3.2.4 Cálculo de oferta de agua de lluvia

A este cálculo corresponde determinar el área de captación requerida para poder cubrir la demanda de agua de manera ideal, si el área sale menor al área con la que contamos, no se podrá cubrir la demanda de manera correcta.

3.2.5 Determinación del agua de lluvia disponible (oferta)

La determinación del agua de lluvia disponible se realiza considerando la Precipitación Promedio Neta Mensual y el Área de captación.

3.3 Balance

Se debe realizar un balance con respecto a la oferta anual de agua de lluvia neta contra la demanda anual de agua, según los requerimientos que tenga el lugar (riego, lavado, inodoros, o para todo el consumo doméstico). Una vez realizado el balance se debe determinar si la cantidad de agua de lluvia neta logra cubrir la demanda anual de agua o que el volumen de agua sea insuficiente.

3.4 Cálculo de tanque de almacenamiento

3.4.1 Área captación

El área de captación incide directamente en el volumen de agua pluvial captada, y éste guarda una relación directa con el volumen de almacenamiento necesario.

3.4.2 Determinación del volumen de almacenamiento

Para la determinación del volumen de almacenamiento, es necesario contemplar todos los requerimientos de agua pluvial, utilizaremos el método de análisis de la curva de volúmenes acumulados, el cual consiste en hacer un acumulado de la oferta de agua neta y un acumulado de consumo, posteriormente se hace una diferencia entre ellos. Una vez con esa diferencia se puede ver la mayor cantidad de agua posible de almacenar en un año.

3.4.3 Almacenamiento

Una vez obteniendo la mayor cantidad de agua posible para almacenar en el año, se puede planear un almacenamiento principal y uno secundario. Para el principal es importante contemplar cuantos meses de abastecimiento con bajas precipitaciones se requieren (las temporadas de sequía varían según ubicación), también buscar la practicidad de estos espacios de almacenamiento ya que existen diversas opciones, como excavar una cisterna, enterrar cisternas plásticas o solo cisternas plásticas al exterior. Dependerá de los m³ de agua que se requieran como también disponibilidad de espacio. Para el almacenamiento secundario, debe ser de menor capacidad ya que se encontrará en la parte superior del edificio para abastecer los servicios requeridos mediante gravedad. Este segundo almacenamiento estará alimentado por un sistema de bombeo solar directamente desde la cisterna principal.

3.5 Sistema de bombeo solar

Un sistema de bombeo es fundamental en un sistema de cosecha de agua de lluvia, ya que se encarga de transferir el agua desde el punto de captación hasta el tanque de almacenamiento. Existen diferentes tipos de bombas y cada una se adecua a necesidades diferentes, en este caso de estudio se propone mediante una bomba solar. A la hora de seleccionar la bomba se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

El caudal y la altura requeridos, basándose en el área de captación, la distancia y el desnivel entre la captación y el tanque.

Potencia de la bomba: La potencia del motor eléctrico de la bomba debe ser suficiente para vencer las pérdidas por fricción y elevación.

3.6 Sistema de alimentación eléctrico

Esta aplicación de la tecnología fotovoltaica posee dos peculiaridades que la hacen particularmente atractiva. En primer lugar, las curvas de generación y de consumo están bien adaptadas: las épocas de mayor radiación solar y consiguiente productividad eléctrica son a la vez las de mayor consumo de agua. En segundo lugar, no es necesario emplear acumuladores electroquímicos para almacenar energía y dotar de autonomía al sistema: un depósito elevado de agua almacena energía potencial de forma más barata, segura, eficiente y fiable. Se habla entonces de un sistema fotovoltaico de bombeo directo[35].

La potencia de los paneles debe ser capaz de alimentar la bomba de agua, considerando la radiación solar promedio del sitio, también es fundamental la colocación de los paneles para optimizar la captación de energía solar.

Asegurar la vida útil de nuestro sistema mediante las protecciones y los dispositivos adecuados.

3.7 Incorporación del agua al suelo

La incorporación del agua de lluvia excedente se incorporará y se distribuirá por el terreno adyacente al edificio VAL 4 mediante infiltración. Esto consiste en una red de tuberías perforadas, colocadas en zanjas rellenas con material poroso (que puede ser grava, escombros o piedra partida) y tapadas con tierra. El agua sale por las perforaciones de la tubería y pasa a través del material de relleno, finalmente llega al fondo de las zanjas y penetra en el suelo. De esta forma una vez que el almacenamiento principal llegue a su nivel máximo, el agua sobrante se reincorpora al suelo y no será vertida directamente al drenaje como es la manera convencional de las salidas pluviales. La Figura 30 muestra la disposición gráfica manera transversal con respecto de la incorporación del agua al suelo.

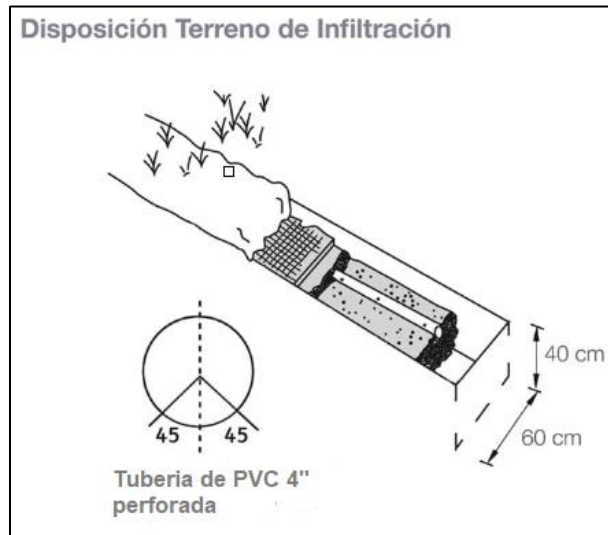


Figura 30 Disposición del terreno de infiltración. Fuente: [39]

CAPÍTULO 4

Resultados

El sistema de cosecha de agua que se propone en este documento consiste en un sistema ordinario mediante unas variantes; primero de un sistema de bombeo solar con lo cual no dependerá de la red eléctrica siendo así un sistema independiente, en segundo lugar, es la incorporación del agua de lluvia al suelo.

4.0 Localización

Para la elaboración de “Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia para el edificio VAL 4 ubicado en CU2.” se eligió el edificio VAL 4, que se encuentra en el Ciudad Universitaria 2, con dirección: Independencia O 2 Sur 50, CP:72960 San Pedro Zacachimalpa, Pue, México. San Pedro Zacachimalpa, se trata de una de las 17 juntas auxiliares de la capital poblana y se ubica en el suroeste como se muestra en la Figura 31.

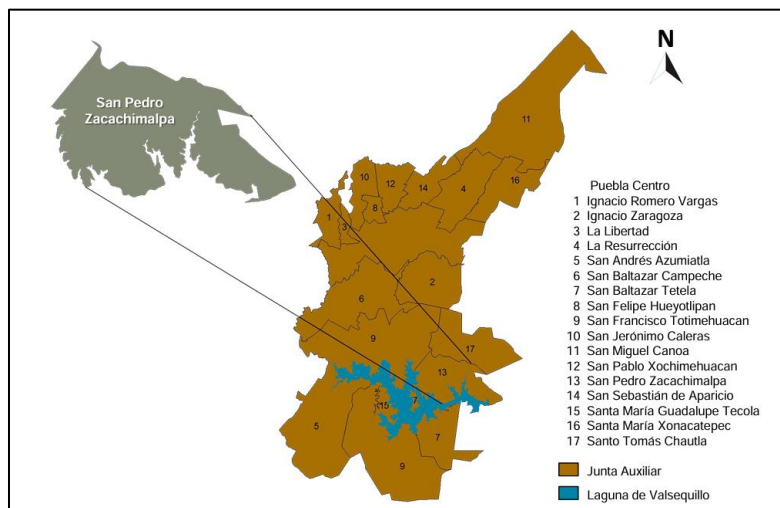


Figura 31 Junta Auxiliar San Pedro Zacachimalpa.

Fuente: Conformación de las Juntas Auxiliares, Administración del municipio de Puebla.

La ubicación del sitio de estudio se encuentra en 18.9366° de latitud norte y -98.1567° de longitud oeste. Cuenta con una altitud de 2,114 m sobre el nivel del mar ($18^\circ56'11''N$, $98^\circ0'24''W$). La Figura 32 podemos ver el área del ecocampus que es donde se encuentra el edificio VAL4.

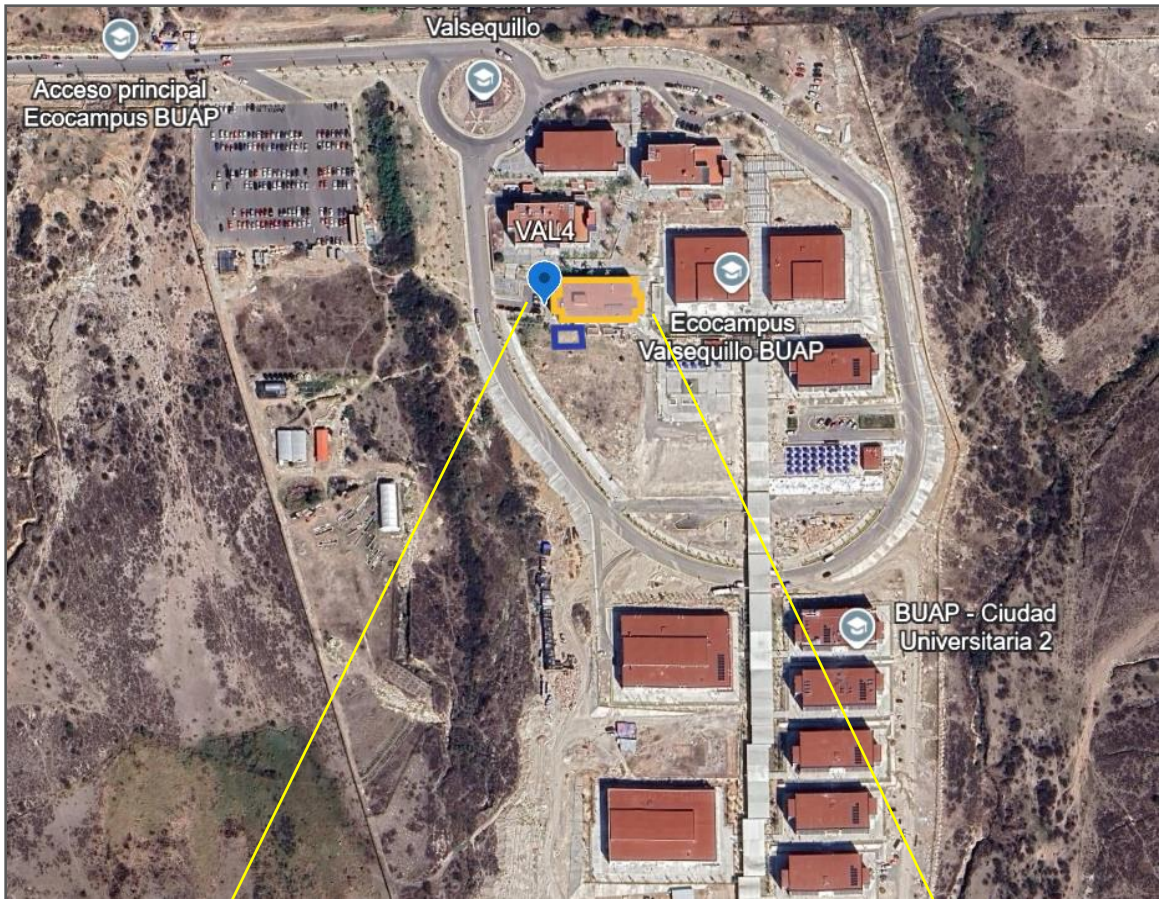


Figura 32 Edificio VAL 4, ubicado en el ecocampus BUAP.

Fuente: Google Earth – atribución de datos - 23/1/2025.

4.1.0 Demanda de agua

El establecer la demanda de agua implica conocer la infraestructura, la cual está compuesta por 2 pisos, y una planta baja, existen 21 baños (WC), 9 baños de varones, 12 baños de mujeres y cuenta con un área útil de techo de 950 m².

4.1.1 Beneficiarios del sistema

El edificio VAL 4 está conformado por diferentes aulas y laboratorios, a continuación, se en listan, siendo los 100 correspondientes a la planta baja, los 200 al primer piso y los 300 al segundo piso:

- Recepción 101
- Taller de energías renovables 102
- Laboratorio de sostenibilidad 103
- Coordinación 106
- Mundo interactivo 107
- Laboratorio catálisis y energía 201
- Aplicaciones fotovoltaicas 202
- Sala de juntas 204
- Recepción 205
- Oficina 206
- Laboratorio de calidad del aire 209
- Taller De Energías Renovables 210
- Laboratorio sistemas y materiales complejos cids icuap 301
- Laboratorio de electrónica flexible 302
- Laboratorio de mediciones 303
- Laboratorio de microelectrónica 304
- Sala de juntas 305
- Laboratorio de cómputo fcfm - cern 306
- Pruebas rpcs alice 307
- Pruebas rpcs cms 309
- Área de pintura 310
- Área de manufactura 311
- Ensamble de rpcs 312
- Oficina alice 313
- Laboratorio de electrónica fcfm - cern 314
- Clean room fcfm cern 315

- Sala de usos múltiples / cubículos
316

El edificio VAL 4 cuenta con 9 laboratorios con capacidad promedio de 20 estudiantes cada uno, es decir 180 estudiantes, también cuenta con varios espacios como oficinas, salas de juntas, talleres, cubículos, salones de pruebas, con un aproximado de 20 profesores en total.

Tabla 6 Cantidad de habitantes.

Usuarios	Cantidad	Unidad
Alumnos:	180	Personas
Docente y personal administrativo:	20	Personas
Total	200	Personas

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se observa el total de personas que realizan actividades en el edificio VAL 4, este número se utilizará para determinar la dotación de agua.

4.1.2 Dotación Diaria

La determinación de la Dotación diaria, considerando que el agua de lluvia únicamente se destinará para los WC, se presenta a continuación la Tabla 7 describe el consumo del WC que se encuentra en el edificio VAL 4, la ficha técnica indica que gasta 3.5 lt /min y en el caso de que se ocupará todo el día de manera continua el consumo sería de 5,040 lt/día. Este equipo de WC es un modelo ahorrador por la baja cantidad de agua a la hora de la descarga.

Tabla 7 Demanda máxima de consumo por artefacto sanitario [40].

Dotación de consumo por artefacto		
Inodoro c/fluxómetro	3.5	lt/min
Inodoro c/fluxómetro	5,040	lt/día

Fuente: Elaboración propia.

La dotación diaria por persona es aproximadamente de 10.5 lt como se muestra en la Tabla 8, tomando en cuenta los usuarios pasan alrededor de medio día en la institución y en todo caso también acuden a otros edificios.

Tabla 8 Dotación diaria, por persona.

Dotación diaria sanitaria por alumno		
Inodoro	10.5	lt/alumno
c/fluxómetro		

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Demanda diaria y población eventual

Mediante los datos obtenidos en las tablas anteriores podemos obtener la demanda diaria del VAL 4.

Tabla 9 Demanda diaria de agua del edificio VAL 4.

	Cantidad de personas	de Dotación diaria sanitarios	Dem. diaria (lt/día)
Estudiantes	180	10.5 lt/alumno/día	1,890 lt/día
Docentes y administrativos	20	10.5 lt/alumno/día	210 lt/día
Total			2,100 lt/día
La demanda es de:			2.10 m³/día

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se puede observar que la demanda diaria corresponde a 2.10 m³/día, que será considerada como “regular” de lunes a viernes ya que es una institución educativa, pero se toma en cuenta una demanda adicional que corresponderá a los días de sábado y domingo la cual se denominará como “demanda de población eventual” que se mostrará en la Tabla 10.

Tabla 10 Demanda de población eventual.

Día	Cantidad de personas	Dotación diaria sanitarios	Dem. diaria (lt/día)
Sábado	30	10.5 lt/alumno/día	315 lt
Domingo	10	10.5 lt/alumno/día	105 lt
Total			420 lt/día
La demanda es de:			.40 m³/día

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Demanda mensual de agua

En la Tabla 11 se muestra el resultado de la demanda diaria y la demanda de población eventual, estos datos se requieren para poder llegar a un resultado más preciso con respecto a cada mes. Los datos están dados en m³/día, al ser una institución educativa la mayor demanda se considera de “lunes a viernes” y en los fines de semana es mínima la demanda.

Tabla 11 Demanda diaria y población eventual.

	Días	Cantidad m ³ /día
Demanda diaria	Lunes a viernes	2.10
	Sábado	.315
Población eventual	Domingo	.105

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos previamente de la demanda diaria y la demanda de población eventual, se puede determinar la demanda mensual de cada mes, las cuales se muestran respectivamente en la Tabla 12. Se desglosa de esta manera las diferentes demandas para poder llegar a un resultado adecuado sobre la cantidad de agua requerida. Los consumos son muy similares por la cantidad de días que tiene cada uno, febrero al tener la menor cantidad de días tiene el menor consumo.

Tabla 12 Demanda mensual contemplando la demanda diaria y la población eventual.

Mes	Nº de días del mes			Consumo (m ³ /día)			Total (m ³ /mes)
	L - V	S	D	L - V	S	D	
Enero	23	4	4	48.3	1.26	0.42	49.98
Febrero	20	4	4	42	1.26	0.42	43.68
Marzo	21	5	5	44.1	1.57	0.52	46.2
Abril	22	4	4	46.2	1.26	0.42	47.88
Mayo	23	4	4	48.3	1.26	0.42	49.98
Junio	20	5	5	42	1.57	0.52	44.1
Julio	23	4	4	48.3	1.26	0.42	49.98
Agosto	22	5	4	46.2	1.57	0.42	48.195
Septiembre	21	4	5	44.1	1.26	0.52	45.885
Octubre	23	4	4	48.3	1.26	0.42	49.98
Noviembre	21	5	4	44.1	1.57	0.42	46.095
Diciembre	22	4	5	46.2	1.26	0.52	47.985
Total	261	52	52	548.1	16.38	5.46	595.94m³/ anual

Fuente: Elaboración propia.

La Ecuación 1 de demanda de agua mencionada en 3.2.1 podemos ver que se resuelve para cada mes y posteriormente se realiza la sumatoria para obtener la demanda anual.

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000}$$

$$D_{j1} = \frac{200 * 10.5 * 31}{1000} = 65.1 m^3$$

Una vez realizada la formula como se indica se puede observar que es un valor diferente al mencionado en la tabla 7 en el mes de enero, esto es debido a que se toma en cuenta los 31 días el mes, y no se contemplan las dotaciones para la población eventual y al ser una institución es esencial tomar en cuenta esos días, aplicando la misma fórmula para las demandas ordinarias y las demandas eventuales, se llega al resultado siguiente:

$$D_{j1L-V} = \frac{200 * 10.5 * 24}{1000} = 48.3 m^3$$

$$D_{j1S} = \frac{30 * 10.5 * 4}{1000} = 1.26 m^3$$

$$D_{j1D} = \frac{10 * 10.5 * 4}{1000} = 0.42 m^3$$

$$D_{j1} = 48.3 + 1.26 + 0.42 = 49.98 m^3$$

Ahora tomando en cuenta lo mencionado previamente se puede observar cómo es que, si coinciden los datos y de esta forma se realizó la tabla, para llegar a datos más precisos en cuestión de las demandas de agua mensuales y la demanda anual, la cual es $569.94m^3$.

4.2 Oferta de agua de lluvia

4.2.1 Información pluviométrica mensual

Para poder conocer la disponibilidad del recurso, agua de lluvia, la CONAGUA en su página web contiene mucha información al respecto de las precipitaciones en todo el país, pero en este caso solo se requieren los datos de Puebla. Los datos analizados corresponden a la precipitación total mensual, la cual se mide en milímetros, tomando como historial del año 2013 al 2023.

En base a los datos señalados se han establecido los valores de precipitación promedio mensual y anual, que se muestran en la Tabla 13 en la cual se muestran los años y los meses de precipitación además las dos últimas columnas muestran el total de “precipitación anual” y el “promedio mensual” de cada año, para el 2014 se muestra un total de precipitación 1527.6mm de agua que en promedio mensual sería de 127.30 mm de agua lo cual indica que fue el año con mayor precipitación.

Tabla 13 Promedio anual de precipitaciones (mm H₂O) mensuales en Puebla periodo 2013-2023.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Total, anual (mm deH ₂ O)	Promedio mensual
Años														
2013	1.4	0	2	5.9	79.1	243.2	281.7	138.4	276.6	112.5	59.1	8.5	1208.4	100.70
2014	1.9	0	11.2	36.7	129.3	455.1	159.8	195.1	210.5	119.5	182.1	26.4	1527.6	127.30
2015	0	0	59.1	33.8	181.2	140.6	125.1	112.9	197.5	69.5	27.5	0	947.2	78.93
2016	28.5	1.5	100	36	81.7	267.7	102.1	212.6	143.4	40.7	71	0.8	1086	90.5
2017	0	0	19	25.3	158.4	266.1	238.6	377	188.9	46.7	0	0	1320	110
2018	0	0	8.5	62	137.6	154.7	44.7	113.3	160	86.5	118.5	0	885.8	73.82
2019	41.3	84.5	5	30.2	53.1	113.8	281.7	353.3	174.8	4	0	0	1141.7	95.14
2020	0	0	0	30.8	40.1	262.8	182.3	240.7	74.4	64.9	0	3.2	899.2	74.93
2021	1	37	11.8	10.7	51	257.4	337.5	262.2	283.1	51	4.4	0	1307.1	108.93
2022	24.3	12.6	10.3	38.3	27	152.6	129.7	194.7	220.5	82.1	32	15.3	939.4	78.28
2023	9.6	5.8	22.5	45.4	90.7	54.9	162.5	224.3	85.4	131.1	67.3	35.7	935.2	77.93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 Promedios mensuales del periodo 2013-2023.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual (2013- 2023) mm de H ₂ O
Promedio	9.82	12.85	22.67	32.28	93.56	215.35	185.97	220.41	183.9	73.50	51.08	8.17	1,108.87

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se observa el promedio de los últimos 10 años mostrados en la tabla 13 de cada mes, dando como resultado un promedio anual de 1,108.87 mm de agua. En la tabla 14 se puede observar claramente los meses de la temporada de mayores precipitaciones en Puebla, de igual forma algunas irregularidades en algunas ocasiones de las precipitaciones alrededor de los años, como en diciembre del año pasado se registró alta precipitación pese a ser época de muy poca lluvia, los datos muestran que en promedio anualmente la precipitación acumulada es de 1,108.87 mm de agua, teniendo como el mes más lluvioso el de agosto con 220.41mm y el mes con menos lluvioso diciembre con 8.17 mm.

4.2.2 Cálculo de la precipitación pluvial neta

La Precipitación Pluvial Neta, que podría almacenarse depende del coeficiente de escurrimiento del material del área de captación, para este caso de estudio tenemos, que de acuerdo con la Tabla 15 de Coeficientes de escurrimiento para diferentes superficies; Techo de Hormigón y asfalto. Coeficiente de escorrentía (Ce): 0.9.

Tabla 15 Coeficientes de escurrimiento para diferentes superficies.

Material	Coeficiente de escurrimiento “Ce”
Césped, pasto, maturación intensiva de techo	0.0 – 0.2
Grava con césped o pasto	0.2 – 0.3
Maturación extensiva de techo	0.3 – 0.5
Rejillas de bloques de cemento con relleno de pasto	0.4 – 0.5
Losetas pequeñas con juntas abiertas	0.5 – 0.6
Pavimento poroso aligerado	0.5 – 0.7
Losetas grandes con juntas abiertas	0.5 – 0.7
Empedrado o losetas con o sin aglomerante en las juntas	0.5 - 0.8
Hormigón y asfalto	.90
Techos de metal o vidrio	.95

Fuente: Diseño de sistemas de cosecha de agua.

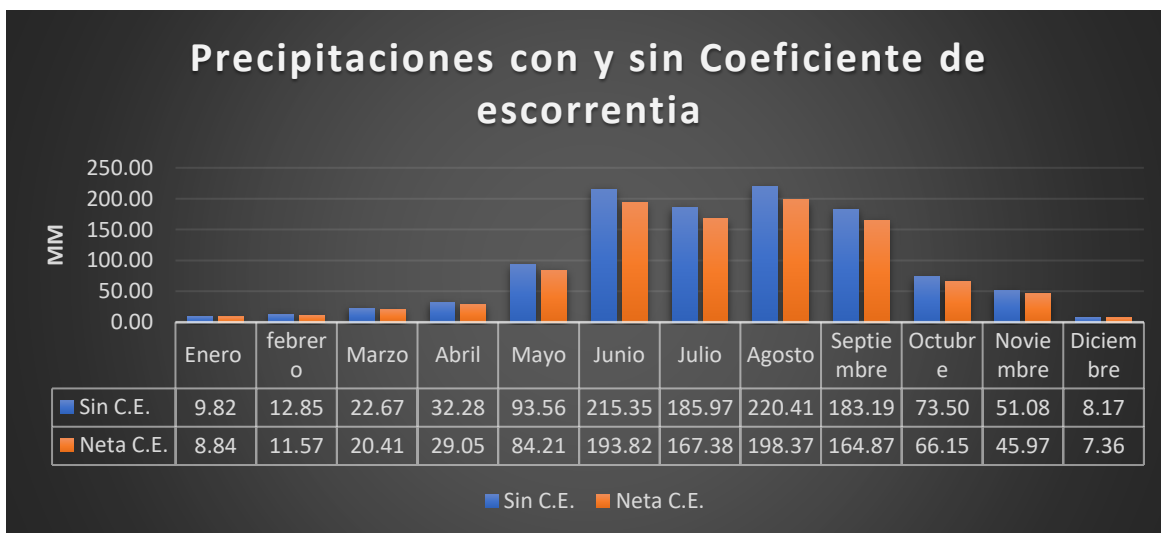


Figura 33 Precipitaciones mensuales (2013-2023). Fuente: Elaboración propia.

La Figura 33 muestra de una manera más grafica la temporada de lluvia y de sequía en el estado de Puebla, de igual forma se puede ver la diferencia entre los datos sin coeficiente de escorrentía y con coeficiente de escorrentía.

Tabla 16 Valores de precipitación promedio neta mensual y anual del periodo 2013-2023 (mm de H₂O).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual (2013- 2023) mm H ₂ O
Precipitación promedio	9.82	12.85	22.67	32.28	93.56	215.35	185.97	220.41	183.19	73.50	51.08	8.17	1108.87
Coefficiente de escorrentía	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Precipitación promedio neta	8.84	11.57	20.41	29.05	84.21	193.82	167.38	198.37	164.87	66.15	45.97	7.36	997.99

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se toma en cuenta el coeficiente de escorrentía que corresponde al “hormigón y asfalto” con un valor de 0.9, que es el segundo por debajo de “techos de cristal y vidrio” con un valor de 0.95, se realiza el cálculo para obtener la “precipitación promedio neta” los valores que nos arroja son menores a los que se tenían, con esto se garantiza el dato obtenido, el valor con el que se trabajará será el 997.99 mm de agua.

4.2.3 Área de captación

El edificio VAL 4 cuenta con la siguiente área disponible para captación de agua de lluvia, se muestra en la Figura 34, el edificio cuenta con un aproximado de 950 m².



Figura 34 Área de captación en VAL 4 ubicado en el ecocampus BUAP.

Fuente: Google Earth 23/01/2025

4.2.4 Cálculo de oferta de agua de lluvia

Área de captación requerida

Una vez definido el consumo y la precipitación promedio neta, el área requerida para captar el indicado consumo, teóricamente sería la siguiente:

$$\text{Área} = \text{Demanda anual} / \text{Precipitación neta}$$

$$\text{Área} = 569.94 \text{ m}^3 / 0.99799 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 571.08 \text{ m}^2$$

Con este resultado vemos que el área requerida es menor que el área con la que se cuenta en el edificio VAL 4, la cual corresponde a 950m².

4.2.5 Determinación del agua de lluvia disponible (oferta)

La determinación del agua de lluvia disponible se realiza considerando la Precipitación Promedio Neta Mensual y el Área de captación, cuyo resumen se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17 Oferta disponible con respecto al área.

Mes	Precipitación prom. neta (mm H ₂ O)	Área captación (m ²)	Oferta (m ³ /mes)
Enero	8.84	950	8.39
Febrero	11.57	950	10.99
Marzo	20.41	950	19.39
Abril	29.05	950	27.60
Mayo	84.21	950	80.00
Junio	193.82	950	184.13
Julio	167.38	950	159.01
Agosto	198.37	950	188.45
Septiembre	164.87	950	156.63
Octubre	66.15	950	62.84
Noviembre	45.97	950	43.67
Diciembre	7.36	950	6.99
Total	997.99		948.09

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Balance

De acuerdo con los cálculos efectuados, la Demanda anual de agua para sanitarios (inodoros y urinarios) es de 569.94 (m³), según la tabla 12 y la Oferta de agua de lluvia neta es 948.09(m³), según la Tabla 17 la cual indica que por volúmenes totales cubre el total la demanda de agua.

Entonces teóricamente se puede apreciar que, el volumen anual captado es suficiente para cubrir el volumen anual requerido en el edificio VAL 4, esto debido a la buena precipitación que cuenta el estado de Puebla.

- Demanda anual de agua para sanitarios es de 569.94 (m³/año)
- Oferta anual de agua de lluvia neta es 948.08 (m³/año)

4.4 Cálculo de tanque de almacenamiento

4.4.1 Área captación

El área de captación incide directamente en el volumen de agua pluvial captada, y éste guarda una relación directa con el volumen de almacenamiento necesario, haremos los cálculos en forma secuencial.

La captación se realizará sobre la azotea del edificio VAL 4, este edificio cuenta con un sistema de desagüe pluvial y la superficie está constituida de concreto impermeabilizado. Si bien el volumen anual captado es suficiente para el volumen anual requerido se optará por dos sistemas de almacenamiento, el principal que será una cisterna y el segundo un tanque elevado, donde se encuentra almacenada una parte del agua recolectada para poder garantizar así el abastecimiento de las instalaciones mediante gravedad.

Tabla 18 Volumen mensual de agua pluvial disponible y requerida área captación en 950m².

mes	Precipitación prom neta (mm H ₂ O)	Área captación (m ²)	Agua disponible neta (m ³)	Demanda mensual (m ³)	Agua pluvial excedente (m ³ /mes)
Enero	8.84	950	8.39	49.98	-41.59
Febrero	11.57	950	10.99	43.68	-32.69
Marzo	20.41	950	19.39	46.2	-26.81
Abril	29.05	950	27.60	47.88	-20.28
Mayo	84.21	950	80.00	49.98	30.02
Junio	193.82	950	184.13	44.1	140.03
Julio	167.38	950	159.01	49.98	109.03
Agosto	198.37	950	188.45	48.195	140.25
Septiembre	164.87	950	156.63	45.885	110.74
Octubre	66.15	950	62.84	49.98	12.86
Noviembre	45.97	950	43.67	46.095	-2.42
Diciembre	7.36	950	6.99	47.985	-41.00
Total	997.99		948.09	569.94	378.15

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se agregan dos columnas, las cuales corresponden al nombre de “demanda mensual” la cual describe mes con mes la demanda de agua del edificio VAL 4 arrojando un total de 569.94m³ de agua dato que ya se había mencionado anteriormente, y “Agua pluvial excedente” donde se realiza una diferencia entre el “Agua disponible neta” y demanda mensual; conforme pasan los primeros meses del año los datos salen negativos debido a la poca precipitación que existe en esos meses, en los meses con altas precipitaciones se puede observar cómo cubre la demanda mensual e incluso existen grandes excedentes de agua en meses como junio y agosto.

4.4.2 Determinación del volumen de almacenamiento

Para determinar el volumen de almacenamiento, es necesario contemplar todos los requerimientos de agua pluvial; por lo que utilizaremos el método de análisis de la curva de volúmenes acumulados. En la siguiente Tabla 19 se determinan los volúmenes de agua pluvial captada y de consumo; de cada uno de los períodos, así como los respectivos acumulados, finalmente se establecen las diferencias entre el agua pluvial captada acumulada y el consumo acumulado. Con estos valores determinamos el volumen de almacenamiento, el mismo que viene dado por la diferencia entre el mayor valor que se muestra subrayado en color amarillo.

Tabla 19 Volumen acumulado oferta y consumo área captación 950 (m²).

mes	Precipitación prom neta (mm H ₂ O)	Área captación (m ²)	Oferta disponible neta (m ³)	Demanda mensual (m ³)	Agua pluvial excedente (m ³)	Oferta acumulada (m ³)	Consumo acumulado (m ³)	Diferencia (m ³)
Enero	8.84	950	8.39	49.98	-41.59	8.39	49.98	-41.59
Febrero	11.57	950	10.99	43.68	-32.69	19.39	93.66	-74.27
Marzo	20.41	950	19.39	46.20	-26.81	38.77	139.86	-101.09
Abril	29.05	950	27.60	47.88	-20.28	66.37	187.74	-121.37
Mayo	84.21	950	80.00	49.98	30.02	146.37	237.72	-91.35
Junio	193.82	950	184.13	44.10	140.03	330.50	281.82	48.68
Julio	167.38	950	159.01	49.98	109.03	489.50	331.80	157.70
Agosto	198.37	950	188.45	48.20	140.25	677.95	380.00	297.96
Septiembre	164.87	950	156.63	45.89	110.74	834.58	425.88	408.70
Octubre	66.15	950	62.84	49.98	12.86	897.42	475.86	421.56
Noviembre	45.97	950	43.67	46.10	-2.42	941.10	521.96	419.14
Diciembre	7.36	950	6.99	47.99	-41.00	948.09	569.94	378.15
Total	997.99		948.09	569.94	378.15			

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Almacenamiento

En el apartado anterior 4.4.2 se observa la Tabla 16 donde los primeros meses del año, de enero a mayo los resultados de análisis del agua acumulada son negativas debido a la poca precipitación en ese periodo, en los siguientes meses de alta precipitación (junio-octubre), la diferencia acumulada del volumen de agua es positiva, incluso para los dos últimos meses del año, ya no se cuenta con alta precipitación, pero con el almacenamiento adecuado se contará con una reserva y en el siguiente año se contará con el recurso de agua de lluvia para los primeros meses de sequía, de manera paulatina con los próximos años.

De igual forma el mayor valor del acumulado es de 421.56m^3 este valor se toma en cuenta para el diseño del dimensionamiento de la cisterna de almacenamiento principal, que resulta excesivo e impráctico, ya que la demanda promedio mensual se encuentra en 47.50m^3 . Para satisfacer esta demanda se propone una cisterna de 300m^3 , la cual, al estar llena, podría satisfacer 6 meses de agua, que son los meses que se cuenta con bajas precipitaciones (noviembre - abril). En la Figura 35 se muestra las dimensiones del almacenamiento principal.

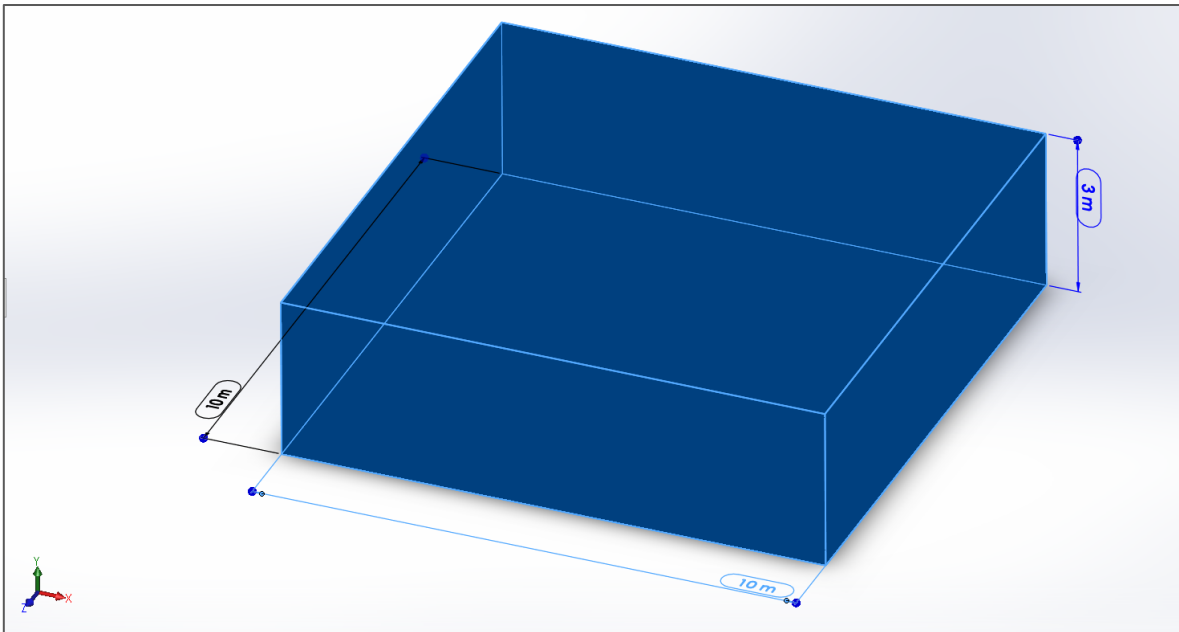


Figura 35 Propuesta de almacenamiento principal (300m^3). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se muestra el almacenamiento secundario que se propone para el sistema de cosecha de agua de lluvia, este se encontrara en la parte superior del edificio VAL 4, con una menor capacidad que el principal y consta de un par de tinacos de 2,500 L cada uno, estos serán abastecidos por el almacenamiento principal mediante una bomba solar, la cual estará en funcionamiento durante 2 horas al día, para lograr garantizar el abastecimiento de los servicios de agua del edificio mediante gravedad. Es importante destacar que los tinacos se pondrán en las esquinas para no cargar tanto peso al centro de la estructura. Los tanques se conectaran directamente al cuarto de máquinas de agua del edificio VAL 4, previamente el agua ya se habrá purificado para su uso.

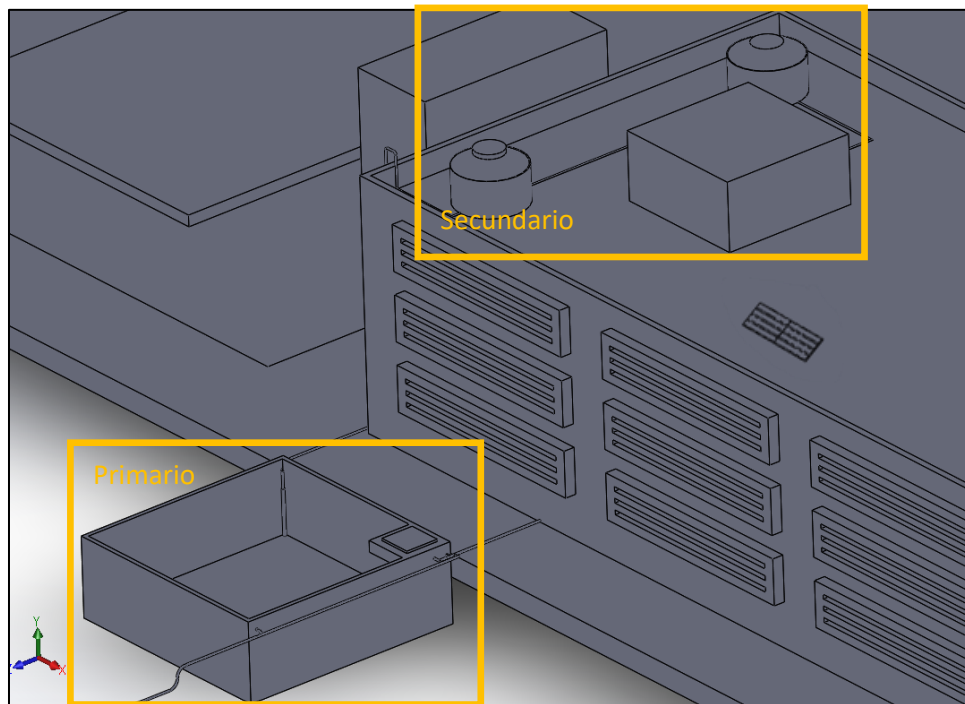


Figura 36 VAL 4, almacenamiento primario y secundario. Fuente: Elaboración propia.

4.5 Sistema de bombeo solar

Con ayuda de los datos de; “los consumos diarios”, se logra determinar cuánta agua del sistema tiene que bombear del tanque principal al secundario, siendo 2,100 l/día.

La bomba que se propone para este sistema tiene la capacidad de bombear 30 litros por minuto y en total se necesitan 2.10m³ por día.

Bomba solar sumergible 1.5 Hp 30 lpm, 4”, marca Evans.

$$30 * 60 = 1,800 \text{ litros /hora}$$

$$1,800 / 1000 = 1.8 \text{ m}^3 \text{ /hora}$$

$$2.10 \text{ m}^3 / 1.8 \text{ m}^3 = 1.16 \text{ horas}$$

Para subsanar la demanda diaria se necesita poco más de una hora que la bomba esté funcionando.

Se realiza el mismo calculo, pero para la capacidad del almacenamiento secundario neta que es de 5000 litros.

$$5 \text{ m}^3 / 1.8 \text{ m}^3 = 2.77 \text{ horas}$$

Para llenar el almacenamiento secundario la bomba debe trabajar aproximadamente 3 horas, tomando en cuenta que dificilmente se vacíe ese almacenamiento, pero puede ocurrir. Se calcula el promedio entre ambas cantidades de horas de trabajo de la bomba

$$1.16 \text{ h} + 2.77\text{h} = 3.93 \text{ horas}$$

$$3.93 \text{ h} / 2 = 1.96 \text{ horas} = 2 \text{ horas}$$

Se necesitaría que la bomba trabaje 2 hora días, de esta forma se toma en cuenta que puede existir una mayor demanda y se toma este factor de seguridad que va de la mano con la capacidad del segundo almacenamiento. Es importante destacar que la bomba se activará según lo dictamine el electro nivel que se encuentra en el segundo almacenamiento.

4.6 Sistema de alimentación eléctrico

El diseño de la alimentación eléctrica de la bomba será mediante energía fotovoltaica, por lo cual se necesita saber cuánto será el consumo energético de la bomba. La bomba tiene una potencia de 1950 W y estará en funcionamiento durante 2 horas diarias aproximadamente. Posteriormente tomando un factor de seguridad de 15%.

$$1950 \text{ W} * 2 \text{ h} = 3900 \text{ Wh}$$

$$3900 \text{ Wh} * 1.15 = 4485 \text{ Wh}$$

Se cuenta con un consumo diario de energía eléctrica de 4,485 (Wh/día).

Para el valor de irradiancia mensual, se considera el mes con menor irradiancia del año, el cual se muestra en la Figura 37, para este caso de estudio corresponde al mes de septiembre con un valor de 5.67 HSP.

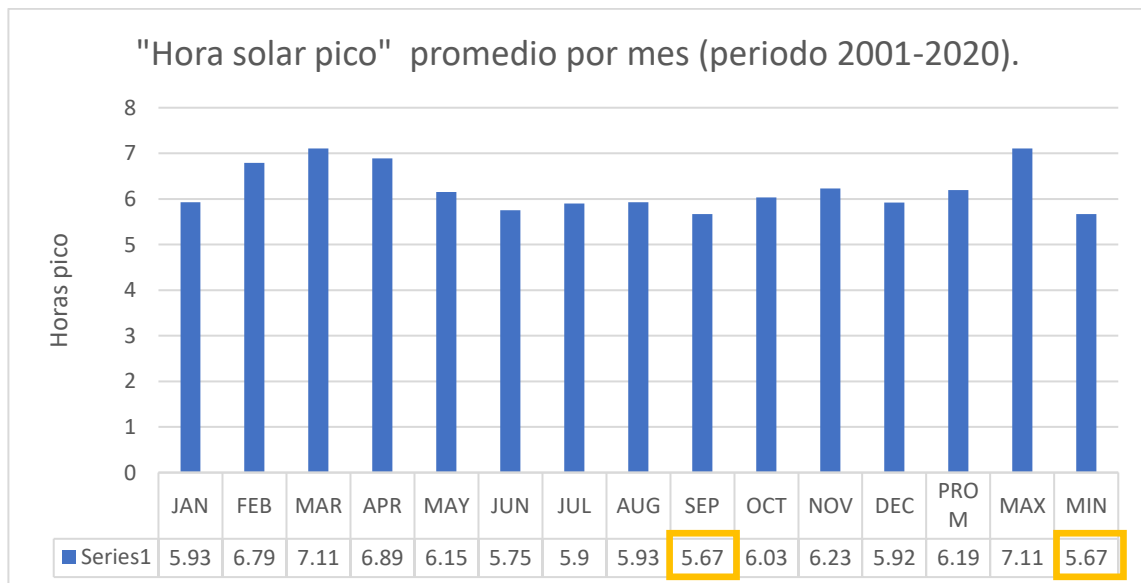


Figura 37 Promedio por mes (periodo 2001 -2020) ubicación: 18.9366°, -98.1567°.

Fuente: [41].

El panel que se tomará en cuenta es el recomendado por el fabricante de la bomba solar, la ficha técnica se encuentra en los anexos. El “Panel Solar Monocristalino 42 VDC 555 W” modelo “P40V-555W-UL”. 1

La energía producida por este panel solar al día es la siguiente:

*Potencia del panel(W) * irradiancia = Energía producida al día por un panel*

$$555 * 5.67 = 3,146.85 \text{ (Wh/día)}$$

La determinación del número de paneles solares:

$$\frac{\text{Consumo diario de energía eléctrica * factor de seguridad}}{\text{Energía producida por el panel en un día}} = \# \text{ paneles}$$

$$\frac{4,485 * 1.1}{3,146.85} = 1.57 \sim 2 \text{ paneles solares}$$

Se necesitan de 2 paneles fotovoltaicos conectados en serie para alimentar la bomba durante 2 horas al día.

Los módulos fotovoltaicos se considera una orientación con dirección al sur y un ángulo de 18 grados de inclinación.

4.6.1 Regulador

El regulador que se propone el sistema es el siguiente “Caja de control para bombas solares con una potencia de 1/2 hasta 3 Hp, Evans” (ficha técnica en anexos), este controlador tiene un rango de bombas de ½ HP hasta 3HP, la bomba mencionada en el punto 4.5 entra en esta categoría al ser de 1 ½ HP. Es por eso por lo que este controlador se acopla a los requerimientos que existen en el sistema. Este regulador nos permite monitorear y controlar el funcionamiento de los equipos.

Para los elementos de protección contra picos de descargas o algún corto circuito se eligió el siguiente elemento “Caja de protecciones solares para bombas de la serie Solar Power” (ficha técnica en anexos), este dispositivo cuenta con: una porta fusible, un supresor de picos y un interruptor termomagnético. Esto para garantizar la vida útil del sistema eléctrico al igual que el de la bomba solar. En la Figura 39 se muestra el diagrama de la instalación eléctrica

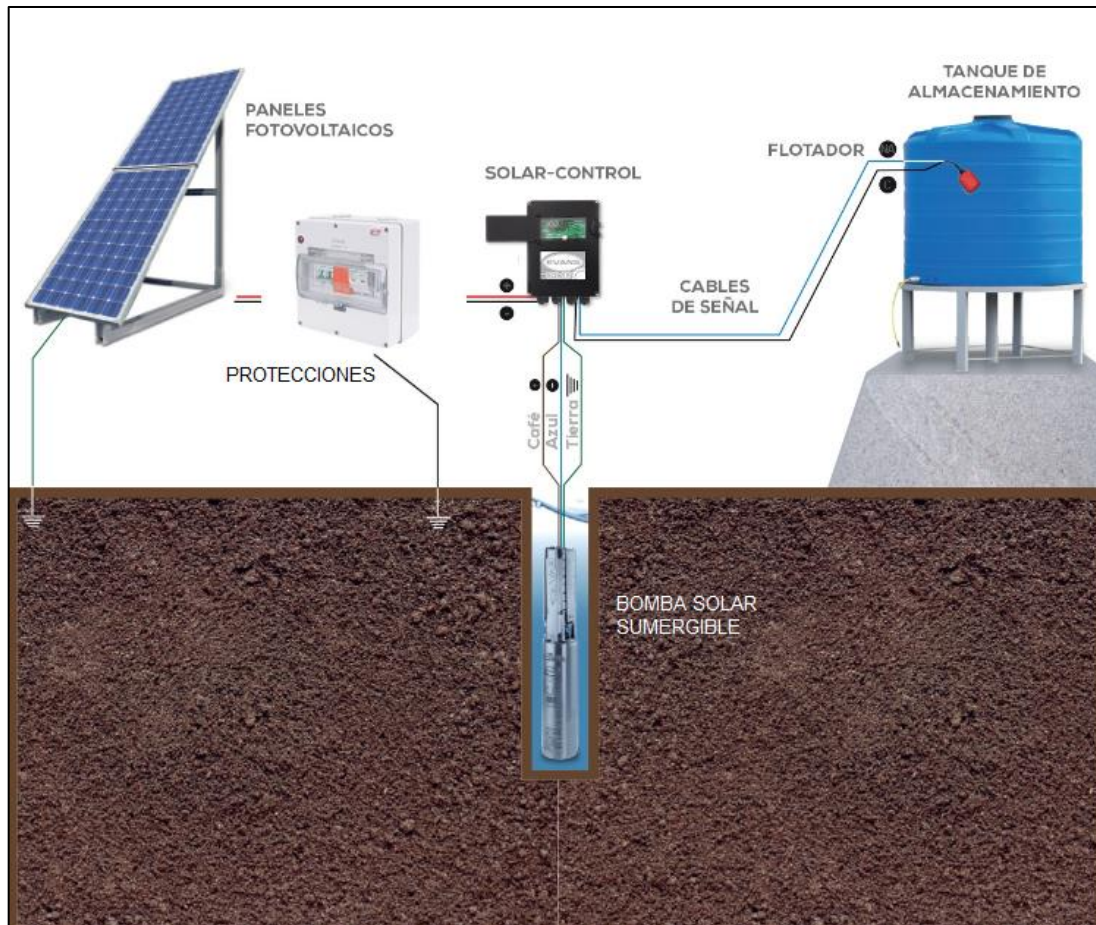


Figura 38 Diagrama de instalación eléctrica. Fuente:[42].

4.6.2 Diagrama unifilar

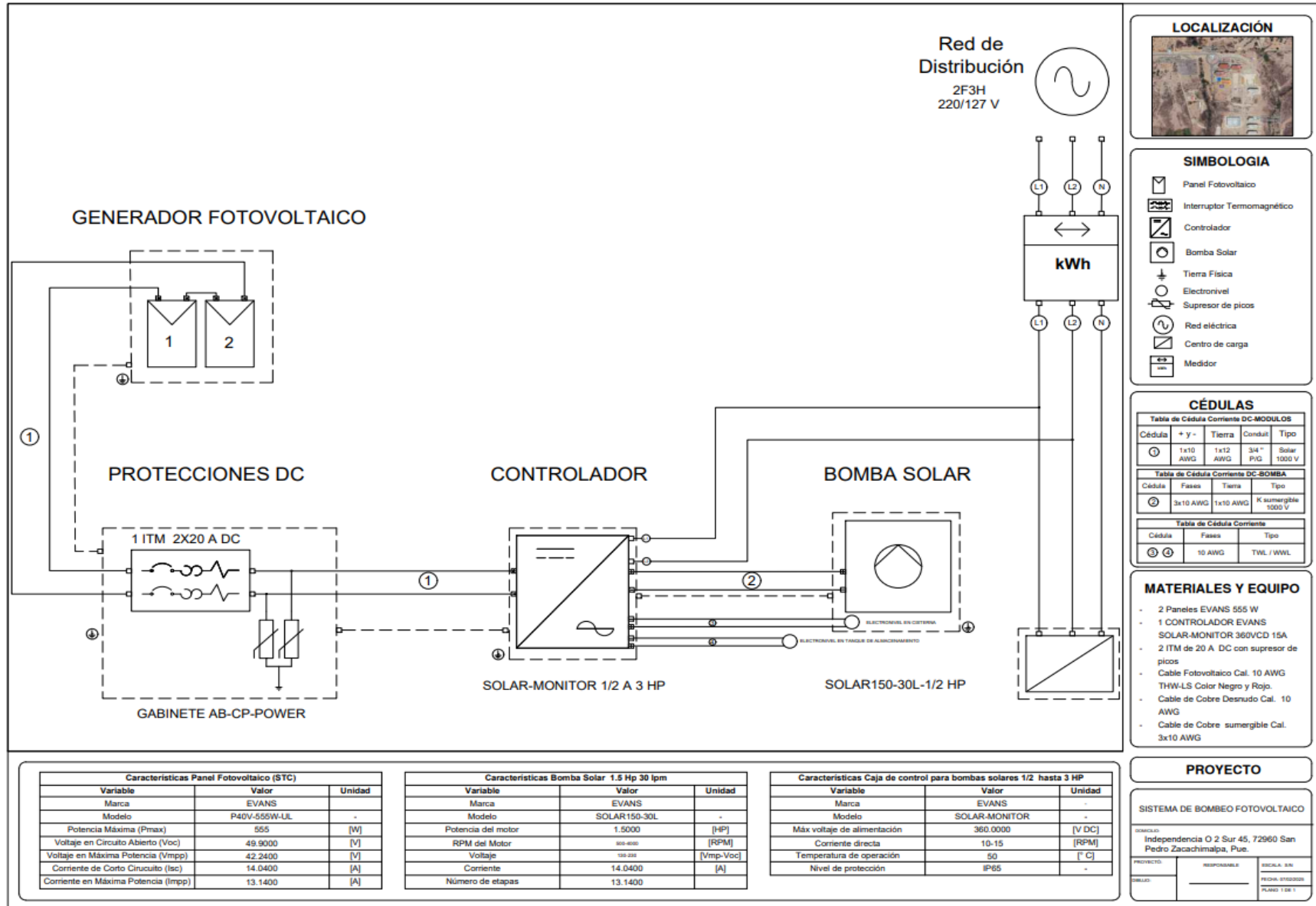


Figura 39 Diagrama unifilar del sistema de bombeo solar.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del diagrama unifilar:

De acuerdo con CCEEA. El diagrama unifilar es uno de los documentos más requeridos y utilizados, dentro del sector eléctrico en cualquiera de sus ramas, ya que representa, a través de una línea, todos los conductores que forman un circuito eléctrico. Además es un requisito de interconexión ante CFE.

Un plano unifilar funge como guía de instalación así como futuros mantenimientos a la planta es por ello la importancia de contar con todos los materiales señalados en últimas revisiones Asbuilt; se incluyen por último y no más importante detalles generales del sistema Fotovoltaico lo cual son ubicación geográfica para mediciones de cálculo de azimut y grados de inclinación de paneles gracias a estos datos es considerable para la elaboración de memoria de cálculos con ello la consideración de la cedula del cable correspondiente. Los componentes varios se considerarían como la bomba solar ya que fue incluida para este sistema en específico dentro del cajetín descrito se especifica potencia y marca, con ello se finaliza con el sistema de interconexión específica con la simbología.

En Figura 39, se observa el diagrama unifilar mediante el plano se muestran los componentes del sistema; (a) Paneles solares (2), Tipo y potencia (Evans, 555 W), (b) Inversores: Controlador (1) Solar- Monitor ½ HP, corriente directa, temperatura de operación 50°C , es importante destacar el conexionado del sistema por lo que se describe dentro del gráfico en el apartado de materiales y equipo se describe de manera general por lo que se anexa de manera más clara las cedulas del cable regido a partir de la NOM-001-SEDE-2012 apartado 4.2.2.3 que se refiere a la identificación de cables y conductores. En específico la norma establece que los planos eléctricos deben incluir la siguiente información 1.- Identificación del cable o conductor, 2.- Calibre sección del cable o conductor 3.- Material del conductor 4.- Tipo de aislamiento del cable 5.- Tensión nominal del cable 6.- Corriente nominal del cable. (c) Cableado de tierra Importante para proteger contra descargas eléctricas dentro del caso de una falla eléctrica con ello reducir riesgos al conectar una instalación, (d) Tipo de fusibles situados dentro de materiales y equipos los cuales fungen como filtros ante una descarga eléctrica. [43]

4.7 Incorporación del agua al suelo

Los pasos para realizar una incorporación del agua al suelo de manera adecuada y obtener mejores resultados son los siguientes [39]:

- Realizar una zanja de 80 cm de profundidad por 60 cm de ancho.
- Contemplar una pendiente general de 3% al 5% o 3 a 5 cm por metro.
- Preparar una tubería de PVC de 4" perforado cada 30 cm en forma de "v" invertida hacia abajo con una mecha de 15 mm.
- Los primeros 40 cm de la zanja los rellenamos con piedra de obra o piedra partida de 0.6 a 6 cm. Conviene evitar el uso de materiales con cal o conchilla.
- Coloque el tubo de PVC perforado con las uniones y tapas al final de cada extremo.
- Agregamos material de relleno hasta tapar el PVC.
- Colocamos una malla geotextil esta cumple la función de separar los sustratos, tierra y piedra.
- Por último, se tapa la zanja con tierra sin compactarla, con el paso de 4 semanas compactará sola. Luego nivelamos el terreno con un rastrillo.

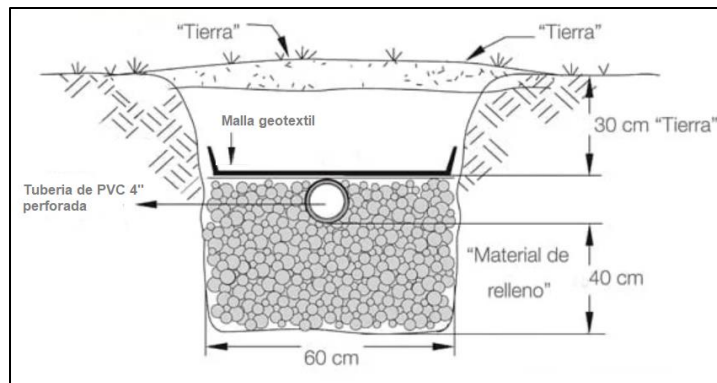


Figura 40 Corte transversal del suelo y componentes para la incorporación del agua al suelo.

Fuente: [39].

En la Figura 39 se ve un ejemplo de manera transversal con respecto a los componentes y las dimensiones que se proponen. Para la incorporación del agua al suelo, se deben seguir los pasos se mencionaron con anterioridad.

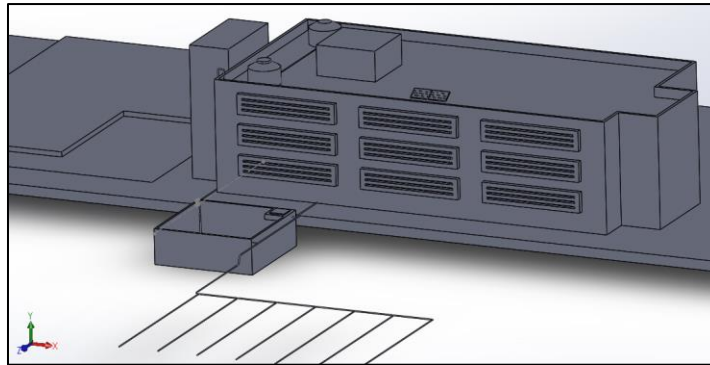


Figura 41 Red pluvial para la incorporación del excedente de agua.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 40 muestra la red pluvial que se propone para la incorporación del agua al suelo, el agua que se destinará a este propósito será todo el remanente del almacenamiento principal, de tal forma direccionar el agua hacia el suelo y no a los drenajes como es la manera más común que se realiza, este sistema de tubería contara con una válvula antirretorno de agua, la red de tubería consta de 108 metro de PVC sanitario de 4”.

4.8 Lista de elementos propuestos para el sistema de cosecha de agua de lluvia

En la siguiente Tabla 20 se enlista los artículos sugeridos para llevar a cabo el sistema de cosecha de agua de lluvia para VAL 4.

Tabla 20 Lista de elementos propuestos para el sistema de cosecha de agua de lluvia.

Cantidad	Artículo	Características
1	Cisterna	Cisterna de 30m ³ , con medidas de 10mx10mx3m.
2	Tinaco	Tinaco Rotoplas de 2500 L.
1	Bomba sumergible	Equipo de riego solar de 1.5 Hp y 4". De alta eficiencia para pozos profundos.
2	Módulos fotovoltaicos	Monocristalino 42 VDC 555 W.
1	Regulador	Caja de control para bombas solares con una potencia de 1/2 hasta 3 Hp Evans.
1	Caja de protecciones solares para bombas de la serie Solar Power	Protección integral para tu sistema de bombeo solar.
50m	Cable Fotovoltaico Cal. 10	AWGTHW-LS Color Negro y Rojo
4m	Cable de Cobre sumergible Cal. 3x10 AWG	
28 m	Tuboplus 1"	
16	Cople Tuboplus 1"	
12	Codo 90° Tuboplus 1"	
108 m	PVC sanitario 4"	
6	Tee PVC 4"	
8	Codo 90° PVC 4"	
16	Cople PVC 4"	

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar en la infraestructura del ecocampus BUAP.

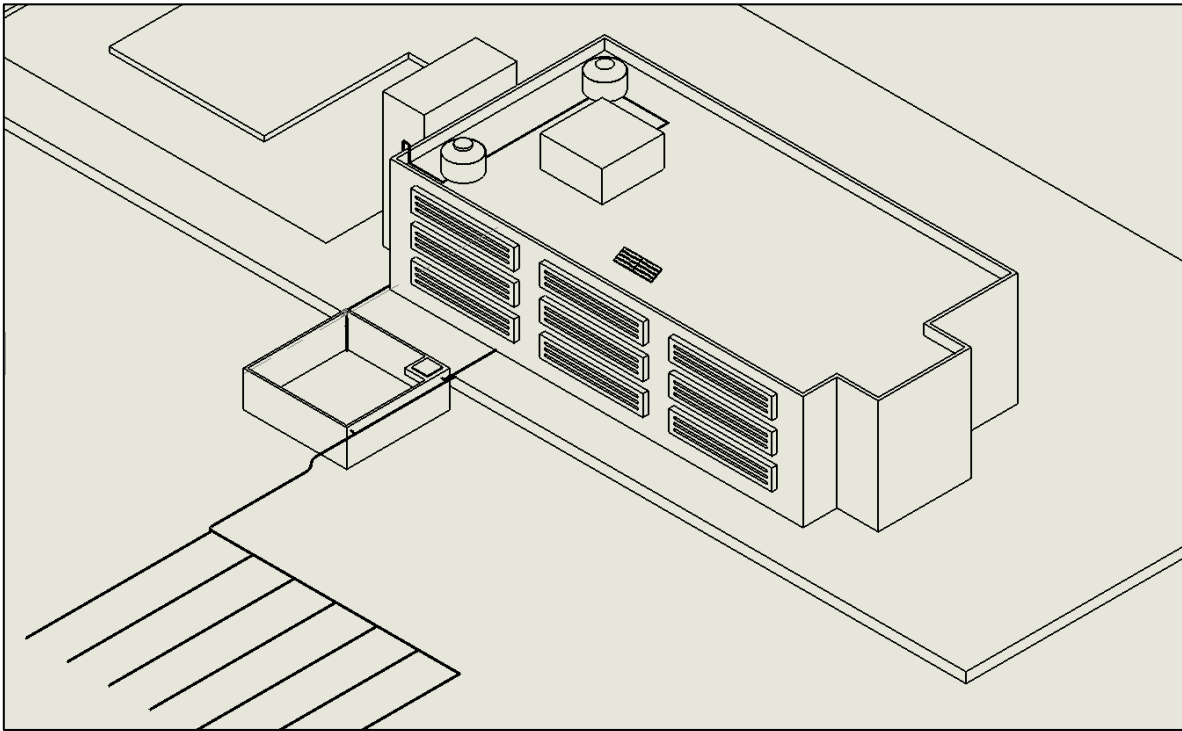


Figura 42 Diseño del sistema para la cosecha de agua de lluvia.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 se muestran el diseño de la “Propuesta de un sistema para la cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar en la infraestructura del ecocampus BUAP”, ubicado en el edificio VAL 4, con dirección: Independencia O 2 Sur 50, CP:72960 San Pedro Zacachimalpa, Pue, México.

A. Área de captación:

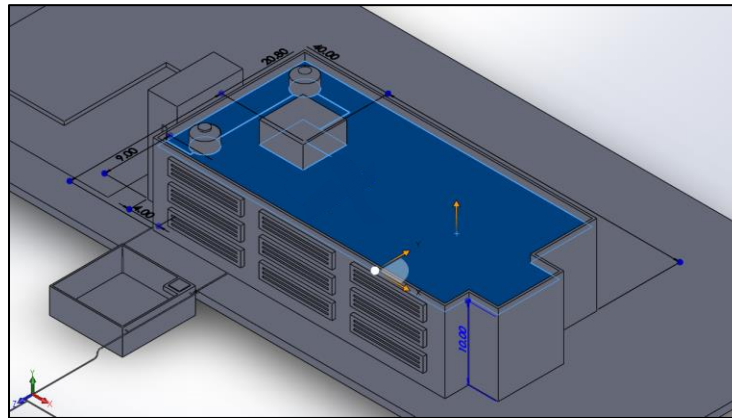


Figura 43 Área de captación.

Fuente: Elaboración propia.

El área de captación de agua es el primer proceso para la cosecha de agua de lluvia, en la Figura 42 se muestra el área con la que se cuenta el edificio VAL 4 para la captación, éste cuenta con un aproximado de 950m^2 .

B. Recolección y conducción:

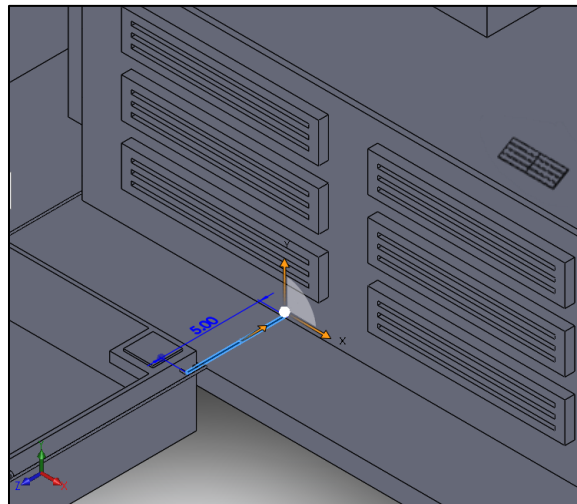


Figura 44 Recolección y conducción. Fuente: Elaboración propia.

Este proceso se lleva a cabo mediante las caídas de aguas pluviales las cuales están constituidas de PVC de 4", al ser un edificio moderno, éste las tiene de manera internas y no son visibles desde el exterior, como se muestra en la Figura 43, pero si cuenta con registros en el nivel inferior, donde se conducirá al siguiente proceso.

C. Filtrado/interceptor de primeras lluvias:

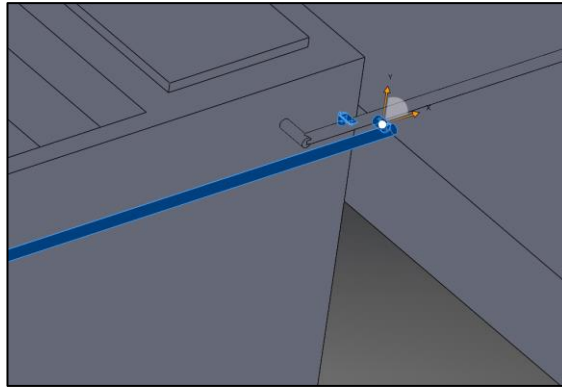


Figura 45 Filtrado mediante llaves de paso.

Fuente: Elaboración propia.

Este proceso de manera convencional se puede realizar mediante un tanque de almacenamiento el cual debe seguir la proporción de 1 litro por m^2 , en este caso de estudio el agua se redirigirá directamente hacia segmento “F Incorporación del agua al suelo”. Esto debido a que es más práctico buscar incorporar el agua directamente que de manera de riego como lo sería con un almacenamiento adicional. Entonces se redirige el agua mediante un par de llaves de paso, la cuales se muestra en la Figura 44 y se encuentra antes del almacenamiento principal para evitar agentes contaminantes. Es importante destacar que cerca de la edificación no existe agentes contaminantes como suelen ser los árboles por sus hojas y semillas.

D. Almacenamiento:

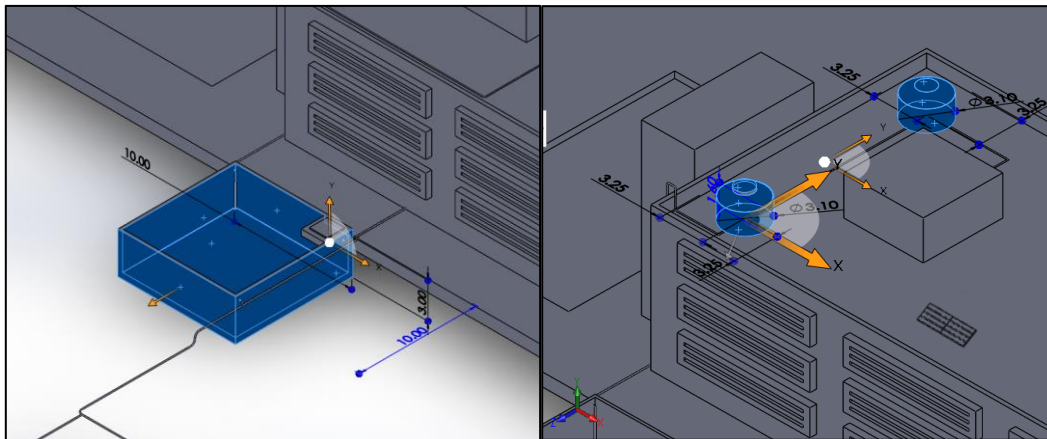


Figura 46 Almacenamiento principal y secundario, A y B respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

El almacenamiento consiste en dos, el principal y el secundario; el “almacenamiento A” que se muestra en la Figura 45, busca recibir la mayor cantidad de agua posible mediante el proceso de conducción, en este caso de estudio se propone una cisterna de 300m³, el tamaño cisterna es proporcional a la demanda que exista y sobre todo a cuantos meses de abastecimiento sean requeridos posterior a la temporada de lluvia. El “almacenamiento B” tiene una menor capacidad y consta de 2 tinacos de 2500 litros cada uno, éste será el encargado de alimentar los requerimientos del edificio mediante gravedad.

E. Distribución mediante bombeo solar:

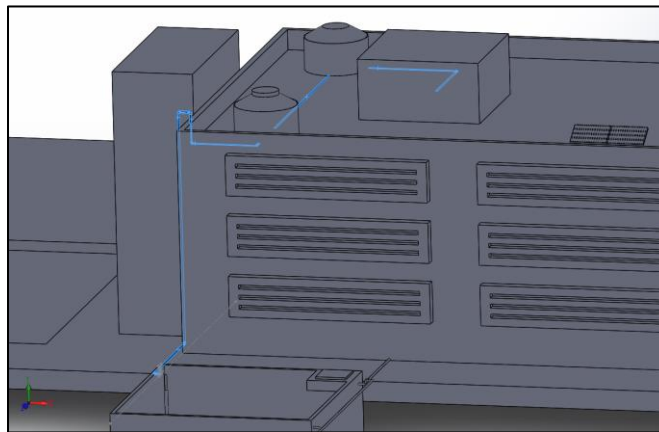


Figura 47 Distribución mediante bombeo solar.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46 se muestra el proceso distribución el cual consiste en bombear agua del almacenamiento principal al secundario mediante una bomba solar, posteriormente el almacenamiento secundario se encarga de distribuir el agua requerida en el edificio mediante gravedad. Debido a que la mayor demanda de agua que existe en la universidad es similar a las horas solares pico. De igual manera contemplando el uso diario se estable que la bomba funcione durante 2 horas al día, en el caso que se encuentre totalmente vacío, deberá trabajar 3 horas, con lo que todavía se encuentra en margen con respecto a las horas solar pico. La bomba que se propone es; “Bomba solar sumergible 1.5 Hp 30 lpm, 4”, marca Evans”.

F. Incorporación del agua al suelo

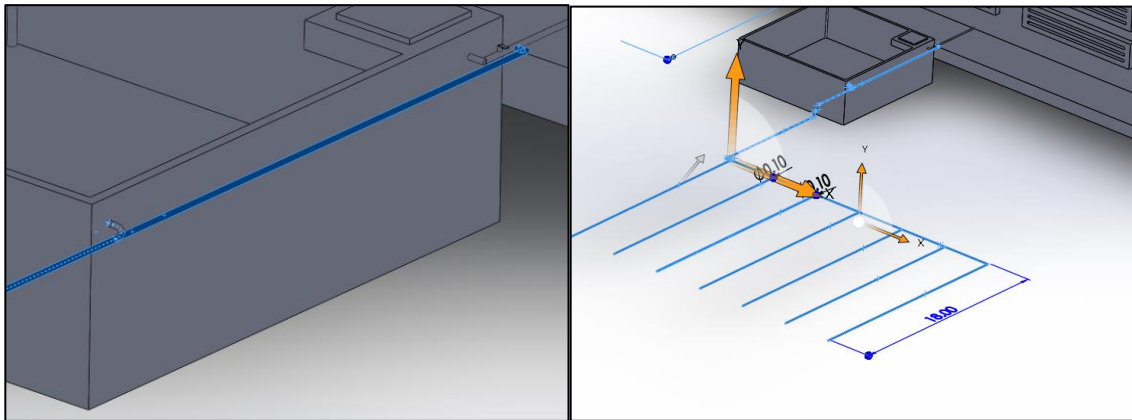


Figura 48 Incorporación de agua al suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Este segmento que se muestra en la Figura 47, se lleva a cabo mediante el agua remanente que exista durante la temporada de lluvia, debido a la alta precipitación que existe, siempre existirá un excedente de agua, por lo cual esta se incorpora al suelo mediante un sistema de tuberías sanitarias. Para que el agua no se regrese se utilizara válvulas antirretornos.

4.10 Impacto ecológico

El impacto ecológico que tiene esta propuesta consiste en crear conciencia de la importancia del agua y como es que el ser humano necesita de ella para sobrevivir, que las sequías serán más recurrentes en los próximos años. La cosecha de agua de lluvia tiene un gran impacto ecológico, esto debido a la gran cantidad de ventajas que tiene, ya que, al darle un uso adecuado al agua de lluvia en las instalaciones, se requiere menos agua de la red pública para satisfacer las necesidades, de igual forma al contar con el sistema de reincorporación al suelo, se ayudará a mejorar la calidad del mismo evitando que el agua de lluvia se vierta al drenaje como en la mayoría de los sistemas de caídas de agua pluvial de las edificaciones actuales.

Es importante destacar que la OMS (Organización mundial de salud) dictamina 100 litros de agua al día por persona contemplando diversas actividades, tomando en cuenta que CU 2 tiene capacidad de 5000 estudiantes en su primera fase. Con lo que lleva a una demanda diaria de agua importante.

$$5\ 700 \times 100 = 570\ 000\ \text{m}^3$$

$$570\ 000 \times 30 = 17\ 100\ 000\ \text{m}^3$$

$$17\ 100\ 000 \times 12 = 205\ 200\ 000\ \text{m}^3$$

El agua de lluvia que llega al drenaje y se mezcla con las aguas negras, pierde la posibilidad de ser aprovechada y reciclada en la misma ciudad. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (2018) cada año caen sobre la ciudad un billón 489 millones de metros cúbicos de agua. De manera casi irónica y contradictoria, frente a esta gran cantidad de agua, más de un millón y medio de personas en la ciudad no reciben agua todos los días (Watss, 2015 en Sedema, 2020) y más de 300 mil (INEGI, 2015), carecen de acceso a la red pública de agua entubada. La escasez de agua se explica por la poca infiltración de agua a los mantos acuíferos, por su sobreexplotación, así como por las fugas y el desperdicio que hacemos los habitantes de la ciudad[44].

4.10.1 Ventajas y desventajas

Ventajas de la cosecha de agua de lluvia:

- Se considera como una fuente de agua renovable como lo indica el ciclo hídrico, es por eso por lo que se puede aprovechar y de esta manera disminuir la dependencia de la red hidráulica o en el caso las zonas rurales, reducir la dependencia de las pipas de agua potable.
- Ahorro en el consumo de agua, al utilizar la cosecha de agua de lluvia, disminuye el consumo ordinario del agua pública, con esto se puede lograr un ahorro económico sobre todo en la temporada de lluvias.
- La captación de agua de lluvia también ayuda a controlar la escorrentía superficial, esto significa que la carga de los sistemas de drenaje público será menor; con esto se pueden evitar los problemas de inundaciones, entre más personas lo ocupen será mayor el impacto que pueda tener.
- El agua de lluvia puede usarse para diversos usos no potables, riego de jardines, lavado de autos, lavado de ropa, uso de WC. Para que el agua de lluvia pueda ser potable debe llevar un tratamiento especial y cumplir otros requerimientos para su potabilidad.
- La cosecha de agua de lluvia sirve para reducir la huella hídrica por persona, esto se traduce como un beneficio para el medio ambiente, de esta forma se promueve un enfoque sostenible en el manejo del preciado líquido.
- La inversión inicial es básica en comparación con otros sistemas ecológicos y representando un retorno de inversión de no mayor a 2 años.

Desventajas de la cosecha de agua de lluvia:

- La implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia, como cualquier sistema requiere una inversión inicial para los materiales y la instalación de los mismos, lo que puede significar un impedimento para algunos usuarios.
- Un sistema de cosecha de agua de lluvia puede variar en su tamaño, debido a la demanda de agua es por eso por lo que se debe de contemplar un espacio suficiente para la captación y su almacenamiento.
- Considerar el número de usuarios puede variar debido al aumento de la matrícula.
- El sistema de cosecha de agua de lluvia requiere un mantenimiento de al menos una vez por año, el cual consiste en limpieza de los componentes y revisar calidad del agua, este se debe llevar a cabo preferentemente antes de empezar la temporada de lluvia.
- Una de las desventajas a tomar en cuenta son las limitaciones climáticas y geográficas, ya que la cantidad de agua captada depende directamente de las precipitaciones, las cuales pueden tener variabilidad según la región donde se busque implementar el sistema de cosecha de agua de lluvia; de igual forma pueden existir irregularidades en las precipitaciones provocando períodos de sequía prolongados y con esto minimizan la cosecha de agua de lluvia.
- La calidad del agua captada puede verse afectada por las precipitaciones ácidas, que usualmente se recolectan en las primeras lluvias del año.

CAPÍTULO 5

Conclusiones, recapitulación de los objetivos y su cumplimiento

Proponer un sistema de cosecha agua de lluvia a partir de la recolección, filtración, separación y almacenamiento. Acompañado de un bombe solar, en el Edificio VAL 4 ubicado en el Ecocampus BUAP, Puebla.

Esto se logró mediante los objetivos específicos siguientes:

1. Estudio de los requerimientos de agua que existen en el edificio VAL 4

Se realizó una investigación sobre la infraestructura para conocer los requerimientos y posteriormente conocer la demanda de agua que requiere el edificio, este dato va de acuerdo con la cantidad de estudiantes, de igual forma se establecieron dos tipos de demanda de agua, “demanda diaria” y “población eventual”.

2. Estudiar el nivel precipitaciones que existe en la región de Valsequillo, Puebla.

Se recaudó información de fuentes como CONAGUA y SEMARNAT para elaborar las tablas de las precipitaciones mensuales y anuales durante los últimos 10 años. Con esto se da a conocer el recurso hídrico promedio con el que cuenta la región de San Pedro Zacachimalpa, Pue, México.

3. Investigar los diferentes modelos para la captación de agua de lluvia actuales.

Existen diferentes tipos de sistemas para la cosecha de agua de lluvia, los cuales cuentan con los mismos componentes, lo que los diferencia entre sí es la parte final del proceso la cual es el “suministro” del recurso recolectado y almacenado. Son tres tipos de sistemas básicos; directamente bombeado, indirectamente bombeado y por gravedad. Cualquiera de las tres opciones funciona, solo es importante ver cual se adecúa a la demanda con la que cuenta el sitio.

4. Proponer un modelo de cosecha de agua de lluvia.

El sistema que se propone es, “Sistema de bombeo indirecto para la cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar”.

5. Determinar un sistema de bombeo solar acoplado al sistema de cosecha de agua de lluvia.

El sistema trabaja mediante una bomba solar para suministrar el agua y de esta forma eliminar la principal desventaja la cual era posibles fallos de suministro eléctrico, En este sistema se cuenta con el respaldo del almacenamiento secundario y que logra suministrar los servicios mediante gravedad. Hay que destacar que también es amigable con el medio ambiente, con el ahorro del suministro eléctrico que requiere la bomba.

Al finalizar la investigación se afirma que la hipótesis general es aceptada ya que, sí es posible diseñar un sistema de cosecha de agua de lluvia mediante bombeo solar para del edificio VAL 4, Ecocampus BUAP, que sea viable y que cumpla con los requerimientos necesarios para subsanar la demanda estudiantil y el mantenimiento de las instalaciones.

5.1 Conclusiones

La cosecha de agua de lluvia se puede realizar durante la construcción de la edificación para ocultarlas las caídas de agua y así como el sistema de tubería como también el almacenamiento, así como también en una edificación ya realizada se puede implementar de manera externa. De ambas formas se obtiene un beneficio, con lo que se puede destacar la versatilidad con la que se pueden realizar proyectos de cosecha de agua de lluvia.

La realización de proyectos de cosecha de agua de lluvia tanto nivel industrial o nivel residencial, en zonas urbanas o rurales, siempre generara un beneficio para el usuario, dando la posibilidad de tener agua para servicios de primera necesidad, de igual forma se verán beneficiados en el ámbito económico.

El porcentaje de ahorro de agua con un sistema de cosecha de agua de lluvia depende de varios factores, como el tamaño del sistema, las precipitaciones en la región, el consumo de agua de la vivienda o instalación, y la eficiencia del sistema de recolección y almacenamiento. Sin embargo, es posible estimar un rango general de ahorro con base en esos factores. Un sistema de cosecha de agua de lluvia puede ofrecer un ahorro significativo, que varía entre el 30% y el 60%, dependiendo de la ubicación, el diseño del sistema y el uso del agua recolectada.

El costo de implementar un sistema de cosecha de agua de lluvia puede variar según varios factores, pero en general, se puede considerar que es un sistema de bajo costo comparado con otros métodos de suministro de agua, especialmente en áreas donde la infraestructura hídrica es limitada o costosa. De igual manera dependerá de la cantidad de agua que se busque almacenar.

5.2 Recomendaciones

La realización de un mantenimiento de limpieza y mantenimiento de todos los componentes del sistema, este se recomienda que sea en la época de menor precipitación.

Una recomendación sería la realización de módulos de cosecha de agua de lluvia para cada edificio del ecocampus, ya que, al tener dimensiones similares y demandas parecidas, los modelos de cosecha de agua de lluvia se pueden replicar en cada uno de ellos.

Es importante que la ubicación de la implementación del proyecto tenga un alto nivel de precipitación, este va directamente proporcional al beneficio que se podrá obtener. De igual manera, aunque el nivel de precipitación sea bajo, existen eventos que no se puede predecir como pueden ser los frentes fríos, las tormentas tropicales, huracanes, que, en nuestro país, México suelen ser recurrentes. Por lo que se puede estar preparado y aprovechar es de alguna manera esos eventos.

5.3 Trabajo a futuro

La integración de modelos de cosecha de agua de lluvia en los diferentes edificios que existen en CU2, para posteriormente lograr suministrar una parte de la demanda de los edificios con el agua de lluvia recolectada, con el agua remanente de la cosecha de agua de lluvia se podría realizar un lago artificial, como el que se encuentra en Ciudad Universitaria, para el este caso de CU2 al contar con una gran extensión territorial se puede planear de manera estratégica para obtener un mayor beneficio para la comunidad universitaria y de manera indirecta a la comunidad de San Pedro Zacachimalpa.

Una instalación de una purificadora de agua en el CU2 podría representar una solución eficiente y sostenible para garantizar el acceso a agua potable de calidad para toda la comunidad estudiantil. De esta manera poder potabilizar el agua captada por la cosecha de agua de lluvia.

La implementación de sistemas de riego inteligentes en CU2 mediante el agua almacenada de la cosecha de agua de lluvia y sus remantes.

Para cualquiera de las opciones se recomienda que se trabaje mediante un sistema de bombeo solar, esto para garantizar el suministro de agua durante el día que es cuando existe una mayor concentración de estudiantes y que existe una mayor demanda de agua.

La colaboración con las comunidades aledañas, compartiendo los beneficios de la cosecha de agua de lluvia, difundiendo este tipo de prácticas y conocimientos.

Bibliografía

- [1] BUAP, "Ciudad Universitaria 2 Ecocampus Valsequillo de Ingeniería y Ciencias Naturales."
- [2] M. Esparza, "La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras," SCIELO. Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008
- [3] J. Domínguez, "Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia," SCIELO. Accessed: Jan. 21, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500077
- [4] S. DE Cosecha De Agua Pluvial Y Reutilización De Aguas Grises De Regadera En and D. García Pulido, "SISTEMA DE COSECHA DE AGUA PLUVIAL Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS DE REGADERA EN VIVIENDA UNIFAMILIAR," 2015.
- [5] TERESA KUNO CASILLA, "DISEÑO DE SISTEMAS DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE EN EL CAMPUS UNIVERSITARIO DE COTA COTA- UMSA," La paz- Bolivia , Sep. 2019.
- [6] Campos Aranda, "Procesos del ciclo Hidrológico," *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*, vol. 2, 1992.
- [7] Ángel de Miguel, Lado Julio J., Martínez Virtudes, Leal María, and García Raquel, "EL CICLO HIDROLÓGICO: EXPERIENCIAS PRÁCTICAS PARA SU COMPRENSIÓN," *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, Oct. 2009.
- [8] Dr. Roberto Flores Velázquez, "Desarrollo de un sistema de cálculo de emisiones de dióxido de azufre en el sector energético mexicano," 2020. [Online]. Available: <https://efirma.uaem.mx/noRepudio/QbR3BhP9mjjGjHezwDKRSilwAzheMWLU>
- [9] M. y E. A. IDEAM - Instituto de Hidrología, "Lluvia ácida." Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/lluvia-acida>
- [10] Iberdrola, "Sostenibilidad: Causas y consecuencias de la lluvia ácida," <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/lluvia-acida>.
- [11] C. Fernández, J. Alberto, and C. Milliet, "El agua, recurso único," 2018.
- [12] M. Auge, "AGUA FUENTE DE VIDA," Buenos Aires, 2007.
- [13] SEMARNAT, "Precipitación media mensual (milímetros) ," SEMARNAT. [Online]. Available: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA01_10&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*
- [14] R. C. Ricardo Calzadilla, A. Gómez Arias, R. Martín Fernández, V. Cutie Cansino, and O. Martínez Díaz, "Estudio de las precipitaciones para el diseño de sistema de captación de agua de lluvia," La Habana, Cuba, pp. 28–36, 2020.

- [15] P. Garcia and R. Izquierdo Sebastian, "DISEÑO MULTIOBJETIVO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA INCLUYENDO LA COSECHA DE AGUA DE LLUVIA COMO RECURSO COMPLEMENTARIO," 2013.
- [16] Redacción National Geographic, "El Sol: qué es, cómo afecta a la Tierra y cuándo se apagará," National Geographic. Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- [17] portal Solar, "La Energía Solar / el sol como fuente de energía," in *La Energía Solar*, vol. 15, 2020.
- [18] Vinuesa Torres Luis Fernando, "Diseño de un sistema de energía alterna para alimentación de bomba de agua," Universidad de las Americas, Ecuador, 2017.
- [19] The National Renewable Energy Laboratory, "NSRDB: National Solar Radiation Database," The National Renewable Energy Laboratory. [Online]. Available: <https://nserdb.nrel.gov/data-viewer>
- [20] Facio Reyes Diego and Estrada Preciado Juan Antonio, "Propuesta para la implementación de paneles solares en el edificio 'C' de un complejo comercial en la zona norte del Distrito Federal," IPN, México, 2014.
- [21] I. Pérez Castro, "Instalación fotovoltaica conectada a red en Pereira de Montes," Eibar, 2023.
- [22] J. D. Giraldo and J. P. Arango, "Optimization process in the design of passive solar heating system / Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo," *Revista técnica "energía,"* vol. 16, no. II, pp. 100–110, Jan. 2020, Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/357/345>
- [23] Blog / Ingeniería de instalaciones MEP, "Arquitectura solar pasiva: Invernaderos, muros Trombe y muros parietodinámicos," ZIGURAT INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.e-zigurat.com/es/blog/arquitectura-solar-pasiva-invernaderos-muros-trombe-muros-parietodinamicos/#:~:text=El%20objetivo%20principal%20de%20la,con%20el%20menor%20coste%20posible.>
- [24] Cid Viera Gabriel Andrés, "Estudio de factibilidad para integración de energía-solar térmica en procesos de planta de bebidas," Universidad de Chile , Santiago de Chile , 2022.
- [25] Gustavo Arencibia-Carballo, "La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica," Malaga, Sep. 2016.
- [26] Enel X, "¿Qué es un sistema fotovoltaico y cómo funciona?," Enel X. Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/how-does-a-photovoltaic-system-work>
- [27] Imago soluciones, "ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA," IMAGO. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: https://www.imagosoluciones.com/Servicios/Energia_solar_fotovoltaica.html

- [28] ineldec, “¿DE QUÉ ESTÁN HECHOS LOS PANELES SOLARES?,” Ineldec Ingenieria Electrica . Accessed: Mar. 09, 2024. [Online]. Available: <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- [29] Energias renovables info, “Tipos de paneles fotovoltaicos.” Accessed: Jan. 31, 2024. [Online]. Available: <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- [30] Iberdrola, “Células fotovoltaicas,” Iberdrola.com. Accessed: Jan. 31, 2024. [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica#:~:text=Tipos%20de%20c%C3%A9lulas%20fotovoltaicas&text=Est%C3%A1n%20formadas%20por%20un%20c%C3%A9nico,sus%20c%C3%A1tomos%20favorece%20la%20conductividad.>
- [31] solarplak, “Qué es y cómo funciona un inversor de corriente.” Accessed: Oct. 06, 2024. [Online]. Available: <https://solarplak.es/energia/que-es-y-como-funciona-un-inversor-de-corriente/>
- [32] Díaz Corcobado Tomás and Carmona Rubio Guadalupe, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 1ra ed. Mc Graw Hill Interamericana, 2018.
- [33] Gabriel Viteri and Adrian Lopez, “Aplicación de fusibles e interruptores termo magnéticos,” Guayaquil, Ecuador .
- [34] A. C. Agut, “Instalación de riego con bombeo solar fotovoltaico en Benlloch,” UNIVERSITAT JAUME I , 2017.
- [35] O. P. Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- [36] Grupo sanvalero, *Energía Solar Fotovoltaica Bombeo solar*. EIBAR: ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA, 2023.
- [37] United Nations, “La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible,” Un.org. Accessed: Feb. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- [38] CENACE, “Energía Generada por Tipo de Tecnología,” CENACE. Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/EnergiaGeneradaTipoTec.aspx>
- [39] Eternit®, “Disposición de lecho nitrificante o terreno de infiltración,” Eternit®. Accessed: Mar. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.eternit.com.ar/es-ar/blog/63882/disposicion-lecho-nitrificante/>
- [40] The home depot, “Baños / Sanitarios y accesorios,” The home depot. Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.homedepot.com.mx/banos/sanitarios-y-accesorios/mingitorios-tazas-y-fluxometros/paquete-sanitario-institucional-blanco-1000-gr-149209>

- [41] POWER Data Access Viewer, "Prediction Of Worldwide Energy Resource," POWER Data Access Viewer. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [42] EVANS, "Bombas solares," EVANS. [Online]. Available: <https://evans.com.mx/bombeo-solar.html>
- [43] L. Aurora and O. Salgado, "NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)," Nov. 2019. [Online]. Available: www.dof.gob.mx/normasOficiales/4951/SENER/SENER.html
- [44] Sedena, "Cosecha de lluvia, una opción viable en la CDMX," Sedena.

FICHA TÉCNICA

Equipo de riego solar de 1.5 Hp y 4". De alta eficiencia para pozos profundos.



- MODELO
SOLAR150-30L
- CARACTERISTICA ESPECIAL
Funciona con energía solar generada por los módulos fotovoltaicos.
- MARCA
EVANS
- CATEGORIA
Bombeo Solar

SOLAR150-30L

Es un equipo de riego conformado por una motobomba sumergible solar. Con una potencia de 1.5Hp, que se pueden energizar con 5 paneles y haciendo el equipo más eficiente del mercado.

Alimentación en CD Desde 120 a 230 VCD.



Unidad de bombeo Construcción en acero inoxidable 304, alta eficiencia y durabilidad

Motor de imanes permanentes con controlador interno y una unidad de bombeo fabricada 100% en acero inoxidable.

Bomba encapsulada enfriado por agua Inmersión de hasta 200 metros.

MOTOR	
Tipo de motor	Magnetos permanentes de CD
Marca del motor	Evans
Potencia del motor	1.5 HP
RPM del Motor	500-4000 RPM
Voltaje	130 Vmp - 230 Voc -
Corriente	15 A
Longitud de cable	1.5 m
Tipo de bomba	Sumergible
Flujo optimo	30 LPM
Altura optima	102 m
Número de etapas	15 etapas
Diámetro de descarga	1.25 pulg
Tipo de impulsor	Cerrado
Material del cuerpo	Acero inoxidable
Material del impulsor	Acero inoxidable
Material del sello mecánico	Acero inoxidable 304, cerámica y grafito.
Temperatura máxima del agua	40 °C

PANELES SOLARES	
Incluidos	NO
Modelo de panel sugerido	P40V-555W-UL
Potencia de entrada	555 W
Números de paneles	5
Tipo de conexión	Serie

- USOS
 - Extracción de agua en lugares sin suministro eléctrico.
 - Riego agrícola.
 - Abastecimiento de agua para uso ganadero.
- BENEFICIOS
 - Sistema MPPT para maximizar la eficiencia del equipo aun con baja irradiancia disponible.
 - Controlador integrado que brinda protecciones como corrida en seco, bajo voltaje, sobrecarga y pérdida de fase.



Panel Solar Monocristalino 42 VDC 555 W

FICHA TÉCNICA



MODELO

P40V-555W-UL

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Monocristalino

MARCA

EVANS

CATEGORIA

Sistemas Interconectados

DIMENSIONES DEL PRODUCTO



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL PANEL

Número de celdas	144
Tipo de celda	Monocristalino
Espesor del vidrio	3.20 mm
Cable	4 mm ²
Conectores	MC4
Material del marco	Aluminio anodizado

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS STC DEL PANEL

Pmax	555.00 W
Vmpp	42.24 V
Impp	13.14 A
Voc	49.90 V
Isc	14.04 A
Eficiencia módulo	21.49 %
Voltaje máximo del sistema	1500.00 V
Fusible	25.00 A
Tolerancia de potencia	(0- +5) %
Coefficiente de temperatura	-0.36 Pmax (%/°C)
Coefficiente de temperatura	0.048 Isc (%/°C)
Coefficiente de temperatura	-0.29 Voc (%/°C)

USOS

Industrial / Comercial

BENEFICIOS

Tecnología alta eficiencia PERC, tolerancia positiva 0→+5



FICHA TÉCNICA



Panel Solar Monocristalino 42 VDC 555 W

PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS



INV-07T020KW
INVERSOR 2000
120 VDC 20KW

INV-07T030KW
INVERSOR 3000
120 VDC 30KW



CBV-42V-42A
CALA
COMBINADORA
600VDC 42A

CBV-42V-36A
CALA
COMBINADORA
600VDC 36A



GABNAT77
SOLAR
PSE-EP

GABNAT77
SOLAR
PSE-EP

CONSUMIBLES



CDR-154W5
CDR-154W5
CABLE ALTE SOLAR
1000 20AWG Y 14AWG

CDR-154W5
CDR-154W5
CABLE ALTE SOLAR
1000 16AWG Y 12AWG



SPS-2000V
SPS-2000V
FUENTE DE FUSIBLES
600VDC 200VDC 2P

SPS-2000V
SPS-2000V
FUENTE DE FUSIBLES
600VDC 200VDC 2P



SGA-3P-4000V
CABLEADO DE FUSIBLES
600VDC 3P

S0070220
300 CONECTOR ALTA
TENSION 1800VDC



F3000-20A
F3000-20A
FUENTE FUSIBLES
1000VDC 20A 30A

F3000-20A
F3000-20A
FUENTE FUSIBLES
1000VDC 20A 30A

MODELO

P40V-555W-UL

CARACTERISTICA ESPECIAL

Monocristalino

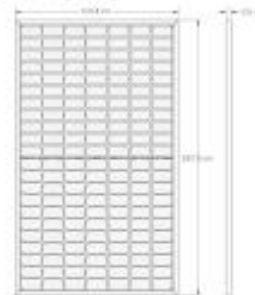
MARCA

EVANS

CATEGORIA

Sistemas Interconectados

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS NOCT DEL PANEL

Pmax	413.00 W
Vmpp	38.52 V
Impp	10.73 A
Voc	46.40 V
Isc	11.34 A
Tolerancia de potencia	(0- +5) %
Temperatura panel	20.00 °C
Irradiancia	800.00 W/m²
Masa de aire	1.5
Velocidad Aire	1.00 m/s

INFORMACIÓN ADICIONAL

Garantía	10 años @ 90%
Certificación	IEC 61215 / IEC 61730 / UL 61730 / TUV
Dimensiones del panel	227.8 x 113.4 x 3.5 cm
Peso	28.60 kg

USOS

Industrial / Comercial

BENEFICIOS

Tecnología alta eficiencia PERC,
tolerancia positiva 0-+5



FICHA TÉCNICA



Caja de control para bombas solares con una potencia de 1/2 hasta 3 Hp Evans®.



MODELO

SOLAR-MONITOR

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Funciona con energía solar que es generada por los módulos fotovoltaicos.

MARCA

EVANS

CATEGORÍA

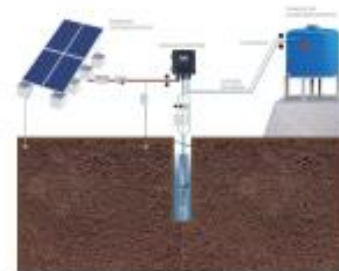
Bombeo Solar

CONTROLADOR

Máximo voltaje de alimentación	360 VCD
Rango de voltaje de trabajo	60-360 VCD
Temperatura de operación	50 °C
Corriente directa	10-15 A
Nivel de protección	IP65

PANELES SOLARES

Incluidos	NO
Modelo de panel sugerido	P40V-555W-UL
Potencia de entrada	555 W
Números de paneles	2-9
Tipo de conexión	Serie-Paralelo



USOS

- Es un accesorio, el cual nos permite monitorear y controlar el funcionamiento de los equipos solares de 1/2 hasta 3 Hp Evans®:
 - SOLAR050-50L
 - SOLAR075-55L
 - SOLAR100-55L
 - SOLAR150
 - SOLAR200
 - SOLAR-POWER.

BENEFICIOS

- Lectura en tiempo real de voltaje, corriente, potencia de entrada y cuenta con pilotos de señalización como detector de falla entre otros.
- Controla el encendido y apagado de forma directa y también con la instalación de electro niveles.



FICHA TÉCNICA

Caja de control para bombas solares con una potencia de 1/2 hasta 3 Hp Evans®.



INFORMACIÓN ADICIONAL

Dimensiones de empaque	30.00 X 20.00 X 10.00 cm
Peso	1.00 kg
Garantía	1 año

MODELO

SOLAR-MONITOR

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Funciona con energía solar que es generada por los módulos fotovoltaicos.

MARCA

EVANS

CATEGORÍA

Bombeo Solar



USOS

• Es un accesorio, el cual nos permite monitorear y controlar el funcionamiento de los equipos solares de 1/2 hasta 3 Hp

Evans®:

- SOLAR050-50L
- SOLAR075-55L
- SOLAR100-55L
- SOLAR150
- SOLAR200
- SOLAR-POWER.

BENEFICIOS

- Lectura en tiempo real de voltaje, corriente, potencia de entrada y cuenta con pilotos de señalización como detector de falla entre otros.
- Controla el encendido y apagado de forma directa y también con la instalación de electro niveles.



FICHA TÉCNICA

Caja de protecciones solares para bombas de la serie Solar Power



MODELO

AB-CP-POWER

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Protección integral para tu sistema de bombeo solar

MARCA

EVANS

CATEGORÍA

Bombeo Solar

DIAGRAMA DE INSTALACIÓN



GENERALES

Voltaje de alimentación	20-240 CA/ 20-600 CD V
Potencia máxima por motor	3 HP máximo
Corriente por motor	15 A / 15 A
Cantidad de bombas	1

TABLERO

Nivel de protección	IP 66
Protecciones eléctricas por bomba	Corto circuito, descargas atmosféricas
Envoltorio	Gabinete termoplástico

USOS

Sistemas de bombeo equipados con bombas Solar Power (todos los modelos).
Sistemas de bombeo equipados con controladores EVANS-SOLAR de hasta 3 HP.

BENEFICIOS

Solución ideal para protección de sistemas de bombeo solar
Incluye todas las protecciones eléctricas para alimentación en CD y CA.
Protección contra descargas atmosféricas
Triplica la garantía de tu bomba



FICHA TÉCNICA

Caja de protecciones solares para bombas de la serie Solar Power



MODELO

AB-CP-POWER

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Protección integral para tu sistema de bombeo solar

MARCA

EVANS

CATEGORÍA

Bombeo Solar

GAMA DE COMPATIBILIDAD



INFORMACIÓN ADICIONAL

Incluye	1 Manual de propietario 1 Póliza de garantía Fusibles para 1 cadena de paneles solares 1 Juego de conectores MC4 (macho y hembra)
Garantía del controlador	36 meses
Dimensiones de empaque	19.8 x 19.8 x 11 cm
Peso	3 Kg

DIAGRAMA DE INSTALACIÓN



USOS

Sistemas de bombeo equipados con bombas Solar Power (todos los modelos).
Sistemas de bombeo equipados con controladores EVANS-SOLAR de hasta 3 HP.

BENEFICIOS

Solución ideal para protección de sistemas de bombeo solar
Incluye todas las protecciones eléctricas para alimentación en CD y CA.
Protección contra descargas atmosféricas
Triplica la garantía de tu bomba



Tinaco Garantía de por vida

Especificaciones técnicas

- Material fabricado con PEAD (polietileno lineal de baja densidad) de color beige por fuera y blanco por dentro.
- Capacidades desde 450 L hasta 2 500 L.

Capacidades

Tinacos Garantía de por vida			
Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura (m)	Abastecimiento (personas)
450	0.85	0.99	2
800	0.97	1.12	3
750	1.10	1.02	4
1 100	1.10	1.40	5
2 500	1.55	1.60	10

Tinacos Garantía de por vida Horizontal				
Capacidad (L)	Largo (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Abastecimiento (personas)
1 100	1.30	1.21	1.14	5
1 100*	1.43	1.05	1.14	5

*Reforzada.



Accesorios que equipan a un Tinaco Garantía de por vida

1. Válvula de Llenado tipo Sin Fin.
2. Multiconector con Válvula Esfera y Tuerca Unión.
3. Flotador No. 5.
4. Jarro de aire.
5. Filtro de sedimentos Estándar.



Nueva



5 Años de garantía Rotoplas en Accesorios

3 Años de garantía Rotoplas en Filtro

Beneficios

- Cuentan con Garantía de por vida (aplica solo para Tinacos beige).
- Equipados con los mejores accesorios que aseguran su funcionamiento y calidad del agua.
- El Filtro Hydro-Net® retiene tierra y sedimentos, brindando agua limpia y transparente.
- Cuentan con una exclusiva capa antibacterial con tecnología **Expel**® inhibe la reproducción de bacterias, manteniendo el agua más limpia.
- Su tapa **click** con cierre perfecto evita que entren contaminantes al agua.
- Todos los accesorios incluidos están garantizados por cinco años y cero fugas.
- Los Tinacos Garantía de por vida, están fabricados en cumplimiento con la NOM NMX-C374-ONNCE-CNCP-2012.

Sugerencias de instalación

Para la instalación del Tinaco Garantía de por vida, es importante:

1. Colocarlo en una superficie plana.
2. Ubicarlo aproximadamente a 2 m entre la salida del Tinaco y la regadera más alta para asegurar buena presión del agua en la vivienda.
3. Verificar que la Bomba funcione correctamente.

Recomendaciones adicionales

Para un mejor funcionamiento recomendamos:

1. Mantener el Tinaco cerrado para evitar la entrada de bacterias que pudieran contaminar el agua.
2. Revisar por lo menos una vez al año las paredes del Tinaco, Flotador y Bomba.
3. Lavar el Tinaco cada 6 meses para evitar la proliferación de bacterias y asentamiento de tierra.
4. Cambiar el cartucho de repuesto del Filtro de sedimentos Estándar de cada 3 a 6 meses dependiendo de la frecuencia de uso.



Cualquier modificación física al diseño del producto o uso diferente al especificado invalida el respaldo de la garantía brindada por Rotoplas.

rotoplas.com



 RotoplasMexico



800 506 3000

