

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



**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN: ENERGÍAS RENOVABLES**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO DE  
ÁRBOLES FRUTALES MEDIANTE UN SISTEMA DE  
BOMBEO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA EN EL DISTRITO SAN MIGUEL DE  
MERCEDES.**

PRESENTADO POR:  
**ROBERTO JOSÉ CANDELARIO LÓPEZ  
WILLIAM ARTURO CONTRERAS AMAYA  
ERICK ALFONSO CARIAS PANIAGUA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2026

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

**:**

**M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA**

**SECRETARIO GENERAL :**

**Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO**

**:**

**M.Sc. e Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

**SECRETARIO**

**:**

**Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DIRECTOR**

**:**

**M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO**

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

**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN: ENERGÍAS RENOVABLES**

Trabajo de Aplicación previo a la opción al Grado de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

Título:

**PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO DE  
ÁRBOLES FRUTALES MEDIANTE UN SISTEMA DE  
BOMBEO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA EN EL DISTRITO SAN MIGUEL DE  
MERCEDES.**

Presentado por:

**ROBERTO JOSÉ CANDELARIO LÓPEZ  
WILLIAM ARTURO CONTRERAS AMAYA  
ERICK ALFONSO CARIAS PANIAGUA**

Trabajo de Aplicación aprobado por:

Docente asesor:

**M.Sc. MIGUEL TOMÁS AMAYA GÓMEZ**

San Salvador, febrero de 2026

Trabajo de Aplicación Aprobado por:

Docente Asesor:

**M.Sc. MIGUEL TOMÁS AMAYA GÓMEZ**

Tribunal Evaluador:

F. \_\_\_\_\_

**M.Sc. Miguel Tomás Amaya Gómez**

F. \_\_\_\_\_

**Ing. Francisco Alfredo De León Torres**

F. \_\_\_\_\_

**M.Sc. Alberto Antonio Rosa Lue**

## DEDICATORIAS

Este trabajo es dedicado a quienes han sido mi apoyo incondicional desde que tengo memoria y han confiado en mi para alcanzar mis objetivos. A mis padres, Dinora Ester López y Ricardo Candelario López por guiarme y aconsejarme cuando lo necesite, por brindarme palabras de aliento y por siempre estar presentes. A mi tía Elsi, a mis hermanos Ricardo e Ivan, quienes siempre han estado presentes apoyándome en lo que he necesitado. A mis amistades Rodrigo Monterrosa y Fátima Zayas que han sido pieza clave en el trayecto de mi carrera. Y Finalmente a mi amada Rosaura Barrera quien me ha hecho sentir muy amado y apoyado.

***Roberto Candelario***

Dedico el presente Trabajo de Aplicación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica. De manera especial, dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de este proceso, brindándome apoyo moral, comprensión y motivación constante para seguir adelante ante cada dificultad presentada. Asimismo, dedico este esfuerzo a mis docentes de la Universidad de El Salvador, quienes con su conocimiento, orientación y compromiso contribuyeron significativamente a mi desarrollo profesional y académico. Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, de una u otra forma, me apoyaron y motivaron para alcanzar este importante logro en mi vida académica.

***Erick Carias***

Este trabajo está dedicado a mi familia, a quienes han sido mi apoyo incondicional de mi vida y el mayor impulso para alcanzar mis sueños. A mis padres, Emilio Contreras y Karla Victoria, por su amor, su ejemplo y por enseñarme a perseverar. A mis hermanos Jason, Byron, que siempre me han inspirado a crecer y mejorar y a Lilibeth Recinos, por su constante apoyo y compañía. A todos ustedes, les dedico este gran esfuerzo, que es tan suyo como mío.

***William Contreras***

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro Dios todopoderoso, a mi familia, amistades y seres queridos, por apoyarme incondicionalmente y por recordarme que debo creer en mi mismo, por el esfuerzo que todos en conjunto hicimos para poder hacer posible este maravilloso logro. A la universidad y los docentes excepcionales que me han formado académicamente y a todos los compañeros que han formado parte de mi camino universitario.

***Roberto Candelario***

De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento a mis asesores de trabajo de graduación, Maestro Tomás Amaya y Maestro Antonio Lue, por su valiosa orientación, acompañamiento constante y aportes técnicos durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia, compromiso y disposición fueron fundamentales para el logro de los objetivos planteados y para la correcta finalización de este trabajo. Agradezco también a los docentes Salomón Torres y Leyla Jiménez, quienes con su apoyo, motivación y palabras de aliento me impulsaron a seguir adelante en los momentos de dificultad, contribuyendo de manera significativa a fortalecer mi confianza y compromiso con la culminación de esta etapa académica. A mi familia, por ser el pilar fundamental a lo largo de toda mi formación profesional. A mi madre, Blanca Alicia Paniagua, y a mi padre, Herber Carias, por su esfuerzo, sacrificio, comprensión y apoyo incondicional, los cuales fueron determinantes para alcanzar esta meta. A mi hermano, Eduardo Carias, por su respaldo y motivación constante. A mi abuela, Himelda Carias, por su cariño, consejos y apoyo moral a lo largo de este proceso. Asimismo, extendo mi agradecimiento a mis tías y tíos, quienes de una u otra forma contribuyeron con su apoyo y palabras de ánimo para no desistir en este camino.

***Erick Carias***

Quiero expresar mis agradecimientos a quienes me acompañaron a lo largo de mi proceso de formación universitaria, en especial a aquellas personas que, mediante su acompañamiento constante, me motivaron a buscar un desarrollo continuo en la construcción de un pensamiento analítico y crítico. Asimismo, agradezco el soporte brindado ante los retos y experiencias complejas, lo cual hizo posible la culminación satisfactoria de esta etapa de mi formación académica.

***William Contreras***

## INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	3
1.2. ENERGÍAS RENOVABLES EXISTENTES .....	3
1.2.1. ENERGÍA SOLAR TERMICA .....	4
1.2.2. ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	4
1.2.3. ENERGIA HIDROELÉCTRICA .....	4
1.2.4. ENERGÍA EÓLICA .....	5
1.2.5. ENERGÍA DE BIOMASA .....	5
1.2.6. ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	6
1.3. APROVECHAMIENTO SOLAR .....	7
1.4. RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE .....	8
1.5. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	9
1.6. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.....	10
1.7. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	12
1.8. APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	15
1.9. TIPOS DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	17
1.9.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS (OFF GRID) .....	20
1.9.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED (ON GRID).....	23
1.10. SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR .....	25
1.10.1. APLICACIONES DE SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO .....	26
1.11. SITUACIÓN DEL AGUA PARA RIEGO EN EL SALVADOR.....	28
1.12. FUENTES DE AGUA DISPONIBLES EN EL TERRENO UBICADO EN SAN MIGUEL DE MERCEDES PARA EL USO AGRÍCOLA .....	30
1.12.1. AGUA POTABLE Y SUBTERRANEAS .....	30
1.12.2. AGUA PLUVIAL .....	33
1.13. TIPOS DE SISTEMA DE RIEGO .....	34

1.13.1.	RIEGO POR ASPERSIÓN .....	34
1.13.2.	RIEGO POR SURCOS/GRAVEDAD.....	35
1.13.3.	RIEGO POR GOTEO .....	36
CAPÍTULO 2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE FUENTE DE AGUA PARA RIEGO .....		38
2.1.	AGUA POTABLE .....	38
2.2.	AGUA SUBTERRANEA.....	40
2.3.	AGUA PLUVIAL.....	54
2.4.	MATRIZ DE DECISIÓN DE FUENTE DE AGUA.....	57
CAPÍTULO 3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL CIRCUITO HIDRÁULICO.....		59
3.1.	DISEÑO AGRONÓMICO.....	59
3.1.1.	METODO DE RIEGO .....	59
3.1.2.	GENERALIDADES.....	61
3.1.3.	COMPONENTES .....	61
3.2.	DISEÑO AGRONÓMICO PARA CULTIVO DE HUERTAS DE PLÁTANO .....	62
3.2.1.	EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	70
3.2.2.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN EL SALVADOR.....	72
3.2.3.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO PARA HUERTA DE PLÁTANO EN EL SALVADOR. ....	73
3.2.4.	EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO (SAN MIGUEL DE MERCEDES).....	74
3.2.5.	SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO .....	74
3.3.	DISEÑO HIDRÁULICO (CIRCUITO HIDRAULICO DE RIEGO).....	81
3.3.1.	PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS.....	81
3.3.2.	TUBERÍAS CON SALIDAS MÚLTIPLES .....	82
3.3.3.	PÉRDIDAS POR ACCESORIOS (PÉRDIDAS SECUNDARIAS).....	84
3.3.4.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO .....	86
3.3.5.	SOFTWARE DE SIMULACIÓN EPANET .....	86
3.3.6.	SIMULACIÓN Y CÁLCULOS .....	89
3.3.7.	SELECCIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	94
3.4.	SELECCIÓN DE BOMBA Y DISEÑO HIDRÁULICO (CIRCUITO HIDRÁULICO DE ALIMENTACIÓN PARA TANQUE DE AGUA).....	96

3.4.1. TIPO DE BOMBA.....	96
3.4.2. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE LA BOMBA .....	99
3.4.3. CIRCUITO HIDRAULICO DE ALIMENTACIÓN PARA TANQUE DE AGUA. .....	102
3.4.4. METODO III-A.....	105
3.4.5. SELECCIÓN DE BOMBA CON ALIMENTACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA .....	112
CAPÍTULO 4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	114
4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS .....	114
4.2. CONDICIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS .....	116
4.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS .....	120
4.3.1. CÁLCULO DEL NÚMERO TOTAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ....	120
4.3.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS POR STRING .....	122
4.3.3. CÁLCULO DE NÚMERO DE STRINGS PARA EL INVERSOR.....	123
4.4. ESTUDIO DE PATRONES DE SOMBRA.....	125
4.4.1. CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS POR SOMBRA PARA EL TERRENO EN ANÁLISIS.....	125
4.5. SIMULACIÓN SOFTWARE PVSyst .....	128
4.6. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA.....	130
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	134
5.1. PRESUPUESTO DE SISTEMA HIDRÁULICO Y FOTOVOLTAICO.....	135
5.2. RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	138
CONCLUSIONES.....	138
RECOMENDACIONES.....	140
BIBLIOGRAFÍA .....	141
ANEXOS .....	144

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Básica de un Sistema Fotovoltaico autónomo. Fuente: Propia.....	20
Figura 2. Esquema Básico de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica .	24
Figura 3. Ubicación del terreno en análisis. Fuente: Google maps. ....	30
Figura 4. Acuífero Colgado. ....	31
Figura 5. Acuífero Confinado. ....	32
Figura 6. Acuífero fisurado. ....	32
Figura 7. Polígonos de Thiessen de estaciones meteorológicas y ubicación del terreno. Fuente: propia. ....	33
Figura 8. Registro de precipitaciones de estación meteorológica Cerrón Grande desde 1991 hasta 2010. Fuente: SNET .....	34
Figura 9. Riego por Aspersión. Fuente: encolombia.com.....	35
Figura 10. Riego por Surcos/Gravedad. Fuente: encolombia.com.....	36
Figura 11. Superficie regada por método de riego cultivos transitorios 2017. Fuente: INEC .....	37
Figura 12. Superficie regada por método de riego cultivos permanentes 2017. Fuente: INEC.....	37
Figura 13. Facturación mensual de consumo de agua potable. Fuente: ANDA.....	40
Figura 14. Zonas de Protección SIHI. Fuente: ASA. ....	41
Figura 15. Mapa Hidrogeológico A2 Chalatenango, Fuente: ANDA.....	42
Figura 16. Fotografía de obra de captación de manantial de Ojushte, Municipio de San Miguel de Mercedes, Departamento de Chalatenango. ....	43
Figura 17. Fotografías de Visita al Sitio.....	44
Figura 18. Registro de Fuente de Agua del manantial de “Ojushte”. ....	45
Figura 19. Elevación de Terraza 1 de la propiedad.....	46
Figura 20. Comparación entre mapa por satélite y mapa proporcionado por ANDA.....	46
Figura 21. Ubicación de Ex manantial.....	47
Figura 22. Vegetación a Elevación Menor.....	48
Figura 23. Vegetación a Elevación Menor.....	48
Figura 24. Humedad en pared frente a la propiedad.....	49
Figura 25. Vista de vegetación alrededor de nacimiento en época seca. ....	49

Figura 26. Nacimiento de agua cerca de manantial Ojushte.....	50
Figura 27. Mapa del Terreno y Distribución de Terrazas .....	54
Figura 28. Esquema general de la creación de lluvia acida. ....	55
Figura 29. Componentes principales de un sistema de goteo, Fuente: Gestiriego, 2016. .....	62
Figura 30. Ciclo de vida de la huerta de plátano. Fuente: CENTA.....	66
Figura 31. Perímetro del terreno y distribución de terrazas. Fuente: Propia. ....	67
Figura 32. Isométrico de terreno. ....	68
Figura 33. Densidad de Siembra de Huertas de Plátano. ....	69
Figura 34. Curva de comportamiento del gotero, Caudal vs Presión. ....	76
Figura 35. Superficie de siembra. ....	78
Figura 36. Distribución de circuito hidráulico y emisores/goteros en terrazas.....	80
Figura 37. Tubería con salidas múltiples. Primera salida al mismo espaciamiento que los emisores. Fuente: (Montiel, et al, 2002). ....	82
Figura 38. Circuito Hidráulico y Emisores/Goteros.....	87
Figura 39. Circuito en EPANET en Terraza 4. ....	89
Figura 40. Distribución de Goteros en Terraza 4. ....	89
Figura 41. Circuito en EPANET en Terraza 3. ....	90
Figura 42. Distribución de Goteros en Terraza 3. ....	90
Figura 43. Circuito en EPANET en terraza 2.....	91
Figura 44. Distribución de Goteros en Terraza 2 .....	91
Figura 45. Circuito en EPANET en terraza 1.....	92
Figura 46. Distribución de Goteros en Terraza 1. ....	92
Figura 47. Resultados de la Simulación. ....	93
Figura 48. Tanque cisterna seleccionado.....	95
Figura 49. Diagrama de Referencia Extraída de Planos de Proyectos de Aplicación Reales ya Instalados. ....	102
Figura 50. Tubería de Llenado de Tanque. Fuente: Propia.....	103
Figura 51. Extracto de la tabla 1 de la norma ASME B36.10M-2015.....	106
Figura 52. Extracto de la tabla 2 de la norma ISO 4427-2:2019 .....	107
Figura 53. Intercepción de curva característica de bombas. ....	112

Figura 54. Ficha técnica de la bomba sumergible.....	113
Figura 55. Vista satelital terraza 5 (punto de interés para recurso fotovoltaico).....	115
Figura 56. Polígonos de Thiessen y Estaciones Meteorológicas. ....	115
Figura 57. Temperaturas Registradas por Estación Meteorológica “Cerrón Grande”. 116	
Figura 58. Especificaciones técnicas del motor eléctrico de la bomba sumergible. ....	117
Figura 59. Ubicación de objetos generadores de sombra, parte 1.....	126
Figura 60. Ubicación de objetos generadores de sombra, parte 2.....	126
Figura 61. Carta solar cilíndrica del punto Latitud 14.00934° y Longitud -88.94194°..	127
Figura 62. Modelado de obstáculos generadores de sombra (isométrico).....	128
Figura 63. Modelado de obstáculos generadores de sombra (vista de planta). ....	129
Figura 64. Arreglo de conexión de sistema fotovoltaico.....	131
Figura 65. Diagrama Unifilar. ....	132
Figura 66. Circuito de Control de Contactador de Bomba Sumergible.....	133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Decisión de Fuente de Agua. Elaboración: propia.....	58
Tabla 2. Matriz de Decisión método de riego .....	60
Tabla 3. Ecuaciones de correlación Altitud-Evapotranspiración de Referencia. Fuente: SNET.....	72
Tabla 4. Coeficientes de Cultivo para Platanales y Bananeras. Fuente: SNET. ....	73
Tabla 5. Evapotranspiración de Cultivo para Árboles Frutales y Platanales. Fuente: Propia.....	74
Tabla 6. Especificaciones técnicas del gotero seleccionado.....	75
Tabla 7. Comportamiento del gotero en función de la presión. ....	75
Tabla 8. Resultados del diseño agronómico para . ....	79
Tabla 9. Matriz de decisión de tipo de bomba.....	98
Tabla 10. Matriz de decisión de tipo de alimentación de la bomba. ....	101
Tabla 11. Resultados de Iteración para Diferentes Diámetros de Tubería.....	110
Tabla 12. Resultados de Iteración para Diferentes Diámetros de Tubería.....	111
Tabla 13. Resultados del dimensionamiento solar fotovoltaico.....	124
Tabla 14. Coeficientes de perdidas por sombreado para inclinación de 15°.....	125
Tabla 15. Resumen de resultados de simulación.....	129
Tabla 16. Presupuesto de Instalaciones Eléctricas e Hidráulicas. ....	135
Tabla 17. Vida útil de los componentes. Fuente: Fichas técnicas de fabricantes .....	136
Tabla 18. Pliego Tarifario CAESS para consumidor final pequeña demanda bloque 1. ....	136
Tabla 19. Tabla costo mensual de energía sin paneles. ....	136
Tabla 20. Tabla costo mensual de energía con paneles fotovoltaicos. ....	137

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo agrícola en las zonas rurales de El Salvador depende en gran medida de la disponibilidad de recursos hídricos y de sistemas de riego eficientes que permitan garantizar la producción durante todo el año. En el distrito de San Miguel de Mercedes, ubicado en el departamento de Chalatenango, la agricultura representa una actividad económica importante para numerosas familias. Sin embargo, la variabilidad climática, la estacionalidad de las lluvias y el costo de la energía eléctrica necesaria para operar sistemas de riego tradicionales limitan el aprovechamiento pleno de esta actividad productiva.

La energía solar fotovoltaica constituye una alternativa renovable, limpia y accesible para suplir las necesidades energéticas de los sistemas de bombeo y riego agrícola. Un sistema de riego solar fotovoltaico utiliza paneles solares para captar la radiación solar y convertirla en electricidad, la cual alimenta una bomba hidráulica encargada de extraer agua desde una fuente disponible y distribuirla hacia la plantación. Este tipo de solución aprovecha la coincidencia natural entre los períodos de mayor irradiación solar y la mayor demanda de agua por parte de los cultivos, lo que mejora la eficiencia y reduce significativamente los costos operativos. Este trabajo presenta la propuesta de diseño de un sistema de riego alimentado por energía solar fotovoltaica para los cultivos de árboles frutales en el distrito de San Miguel de Mercedes en el Terreno de análisis ubicado en las coordenadas Latitud  $14.00934^{\circ}$  y Longitud  $-88.94194^{\circ}$ . En el documento se describe los tipos de sistemas solares aplicables al riego agrícola, el diseño del sistema hidráulico y el sistema de alimentación fotovoltaico.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar una propuesta de diseño para bombeo de agua destinada a riego mediante un sistema de hidráulico energizado por un sistema solar fotovoltaico ubicado en el distrito de San Miguel de Mercedes del municipio de Chalatenango Sur, departamento de Chalatenango.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Llevar a cabo un análisis de localización considerando las características del terreno y los patrones de sombra para determinar la ubicación óptima de los paneles solares fotovoltaicos
- Seleccionar una fuente de agua que alimente el circuito hidráulico para riego
- Diseñar circuito hidráulico y seleccionar componentes para el sistema de riego
- Diseñar el sistema solar fotovoltaico que mejor se acople al terreno disponible y a la demanda del sistema hidráulico
- Elaborar un análisis de costos del sistema solar fotovoltaico propuesto

## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Autores renombrados han dado definiciones para el término “energía renovable”: para John Twidell y Tony Weir<sup>1</sup> es “energía que se obtiene a partir de corrientes de energía continua y recurrentes en el mundo natural”, mientras que para Sorensen<sup>2</sup> es todo “flujo energético que se restablece al mismo ritmo al que se utiliza”

Por lo tanto se dice que “Las energías renovables son aquellas que provienen de la explotación de recursos naturales, los cuales, si su explotación es sostenible, se consideran inagotables”

### 1.2. ENERGÍAS RENOVABLES EXISTENTES

Las principales fuentes donde se originan las energías renovables son: el sol, la gravedad, la rotación de la tierra y el calor interno de la tierra.

La tierra recibe del sol alrededor de 170,000.00 TW. De esa cantidad, 50,000.00 TW son reflejados y de los 120,000.00 restantes, 80,000.00 llegan hasta la superficie en forma de radiación fotónica y 40,000.00 son absorbidos por la atmosfera y los mares, dando lugar a procesos de evaporación que generan nubes y a un calentamiento diferencial que genera vientos, y éstos, a su vez, generan oleajes. [5]

---

<sup>1</sup> John Twidell y Tony Weir: autores del libro “Renewable Energy Resources”.

<sup>2</sup> Bent Sorensen: autor del libro “*Renewable Energy: Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics and Planning*”

### **1.2.1. ENERGÍA SOLAR TERMICA**

En los sistemas de baja temperatura, como los colectores solares, este calor sensible se transfiere a un fluido, aire o agua, para proporcionar calefacción o agua caliente, mientras que en los sistemas de temperatura más alta, como los concentradores solares, se puede generar vapor de agua o gas a presión capaz de hacer rotar una turbina para generar energía eléctrica. Asimismo, se puede tratar de utilizar esta radiación con el fin de suministrar calefacción y bienestar en viviendas construidas siguiendo un diseño racional, como los que se pueden conseguir con la arquitectura bioclimática.

### **1.2.2. ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

Parte de la radiación visible que alcanza la superficie de la tierra puede ser transformada directamente en energía eléctrica mediante dispositivos fotovoltaicos, y en energía eléctrica o energía química mediante las denominadas células fotoelectroquímicas. [5]

### **1.2.3. ENERGIA HIDROELÉCTRICA**

Los 40,000.00 TW que son absorbidos por las aguas dan lugar a la formación de nubes, a partir de las cuales se producen precipitaciones que forman depósitos de agua situados a diferentes alturas, lo que supone depósitos de energía potencia, los cuales, junto con las corrientes de agua (energía cinética), que se producen como consecuencia de desplazamientos o corrientes de agua entre diferentes alturas, pueden ser aprovechados para la generación de electricidad en plantas hidroeléctricas. [5]

#### **1.2.4. ENERGÍA EÓLICA**

Otros 300 TW de la potencia procedentes de la radiación solar dan lugar a calentamientos diferenciales en distintas zonas de la superficie de la tierra. Por una parte, las zonas ecuatoriales reciben radiación que incide perpendicularmente sobre la superficie durante todos los días del año, por lo que esas zonas superficiales estarán más calientes que las zonas próximas a los polos, donde la radiación incide más sesgadamente y atraviesa un espesor atmosférico mayor, por lo que es absorbida en una mayor proporción por los gases componentes de la atmósfera. Estos procesos ponen en marcha corrientes convectivas de aire (vientos) que circulan globalmente e interfieren con la rotación de la tierra. Otros procesos de calentamiento diferencial, localizados en puntos geográficos determinados, dan lugar a vientos y brisas locales. Los vientos portan energía cinética, un tipo de energía de alto grado termodinámico que puede convertirse con eficiencias relativamente elevadas en electricidad, en las denominadas turbinas eólicas, Por lo tanto, la energía eólica es un tipo de energía renovable de origen solar indirecto. [5]

#### **1.2.5. ENERGÍA DE BIOMASA**

Una pequeña parte de la potencia transportada por la radiación incidente, cuya cuantía se estima en alrededor de 30 TW, es aprovechada por la naturaleza para generar los ciclos de vida vegetal y animal, haciendo uso del proceso natural, haciendo uso del proceso natural llamado fotosíntesis. El ser humano hace uso del resultado de este proceso para obtener biomasa, biocarburantes y otros combustibles biológicos, además de los alimentos.

### **1.2.6. ENERGÍA GEOTÉRMICA**

La tierra se originó mediante un proceso de acreción, en el que la atracción gravitatoria fue aglomerando bloques de distinto tamaño. Estos bloques, al parecer, surgieron de la explosión de una supernova, a partir de cuyos restos se formó el sol, y los bloques restantes dieron lugar al nacimiento de los planetas, mediante proceso de acreción gravitatoria antes mencionado. Los bloques rocosos interaccionaban entre si por gravitación. La atracción gravitatoria mutua los impulsaba a chocar entre sí, convirtiendo la energía cinética en calor. Restos de este calor se encuentran aún atrapados en el núcleo metálico y en las capas adyacentes de la tierra, donde las temperaturas siguen siendo muy elevadas. Este calor funde rocas para formar el magma, el cual participa en procesos convectivos que terminan por dar lugar a emanaciones de este en zonas próximas a la superficie. El calor del magma puede transferirse a rocas y de estas a acuíferos que dan lugar a fuentes de agua caliente, o a fenómenos como los géiseres. El flujo de calor de origen geotérmico, que se estima puede alcanzar los 30 TW, puede ser aprovechado como calor de alta temperatura para generar electricidad, o como calor de baja temperatura para suministrar calor y agua caliente a poblaciones próximas a las fuentes calientes

### 1.3. APROVECHAMIENTO SOLAR

No toda la energía que emite el sol llega a la tierra, ya que esta constituye una superficie captadora insignificante, por esto, la potencia captada por la tierra es de 170,000 TW, una porción muy pequeña de la total emitida por el sol, aun así, esta potencia es aproximadamente 10,000 veces mayor que la que proporcionan todas las formas de energía que los seres humanos emplean en la tierra.

Se define como constante solar a 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 atmosfera, a la distancia media anual Tierra-Sol. Su valor es de  $1,353 \text{ W/m}^2$  y representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmosfera terrestre.

Por otra parte, esta energía corresponde a una radiación electromagnética formada por un conjunto de longitudes de onda ( $\lambda$ ), cuya velocidad de propagación es de  $300,000 \text{ km/s}$ . La descomposición de esta radiación origina el llamado espectro solar, el cual esta 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 (IR):  $\lambda > 0.75 \mu\text{m}$

Las formas de aprovechamiento de esta energía son mediante 3 formas principales:

**Utilización directa:** Mediante la incorporación de acristalamiento y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, la llamada energía solar pasiva

**Transformación en calor:** Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores térmicos

**Transformación en electricidad:** También llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integradas en módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa o se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica

#### **1.4. RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE**

Toda la energía expresada por la constante solar no llega a la superficie de la tierra, al atravesar la radiación solar la atmosfera terrestre, pierde intensidad, a la vez que se modifica su distribución espectral. Todo ello es debido a complejos fenómenos de absorción, reflexión y difusión que tienen lugar en las capas de la atmosfera por acción de los gases que la constituyen, el vapor de agua y las partículas en suspensión. En efecto, el nitrógeno y el oxígeno en el aire tienen un poder de absorción muy débil, el ozono absorbe la mayor parte de la radiación UV y tanto el vapor de agua como el dióxido de carbono absorben una fracción de la radiación IR.

Además de estos factores, la disminución de la intensidad de la radiación depende del espesor de la capa de aire, de la situación geográfica del lugar, de la época del año, entre otros. Ello da una idea de la gran complejidad de los elementos que influyen en la intensidad de radiación solar en un lugar determinado.

Todo ello hace que la energía solar que recibe la tierra del sol, o radiación global, tenga dos componentes bien definidas: la radiación directa que es la que atraviesa la atmosfera sin sufrir cambio alguno (radiación enfocable por un sistema óptico) y la radiación dispersa (también denominada radiación difusa), debida a la dispersión por parte de los componentes de la atmosfera y el albedo (fracción de radiación solar dispersa por el suelo). La radiación dispersa no es enfocable por ningún sistema óptico.

Con todo esto, la radiación que llega al suelo es de unos  $900 \text{ W/m}^2$ , valor que equivale a unas 2,000 veces el consumo energético mundial.[6]

## **1.5. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico a en el año 1838, mismo que consistente en la transformación directa de la luz en electricidad utilizando un semiconductor, algunos años más tarde, en 1877, el inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio.

Si bien es cierto, en todos estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se obtenía era muy reducida y quedaba descartada cualquier aplicación práctica, ya que se demostraba la posibilidad de transformar la luz solar en electricidad por medio de elementos sólidos sin partes móviles. De este modo, tuvo que transcurrir un siglo más hasta que Gerald Pearson de 5 Laboratorios Bell, patentó la primera célula fotovoltaica en el año de 1953, mientras experimentaba con las aplicaciones en la electrónica del silicio, fabricó casi accidentalmente una célula fotovoltaica basada en este material que resultaba mucho más eficiente que cualquiera hecha de selenio. A partir de este

descubrimiento, otros dos científicos también de Laboratorios Bell, de nombre Daryl Chaplin y Calvin Fuller perfeccionaron este invento y produjeron células solares de silicio capaces de proporcionar suficiente energía eléctrica como para que pudiesen obtener aplicaciones prácticas de ellas [11].

## 1.6. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

La energía solar presenta dos características específicas muy importantes que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales: dispersión e intermitencia.

Evidentemente, la energía solar es una forma de energía que presenta gran **dispersión**, ya que su densidad, en condiciones muy favorables, difícilmente alcanza  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ , valor que queda muy por debajo de las densidades con las que se trabaja usualmente en ingeniería. Esto significa que para obtener densidades energéticas elevadas se necesitan, o bien grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.

Por otro lado, la otra característica específica de la energía solar es su **intermitencia**. Esto hace que, a la par que se desarrollan instalaciones captadoras de energía, es necesario investigar los correspondientes sistemas de almacenamiento de la energía captada.

Todo ello lleva a un replanteamiento en el aprovechamiento y distribución de la energía totalmente distinto al que hoy se considera clásico, requiriendo la consideración de estas dificultades intrínsecas (cuya solución está ligada a cada aplicación concreta) un esfuerzo de desarrollo elevado.

Así pues, 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.

Los **sistemas pasivos** son aquéllos que no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, existiendo una íntima relación entre el Sol, el almacenamiento del calor y el espacio, relación que se logra por la aplicación de distintos elementos arquitectónicos.

Los **sistemas activos** se basan en la captación de la radiación solar por medio de un elemento de unas determinadas características, denominado colector.

Según las características del colector, el aprovechamiento de la energía solar se puede acometer bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la conversión térmica, o aprovechamiento del calor contenido en la radiación solar, y la conversión eléctrica, o aprovechamiento de la energía luminosa (fotones) de la radiación solar para generar directamente corriente eléctrica (efecto fotovoltaico).[6]

## 1.7. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Existen dos efectos físicos que permiten la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica: el termoeléctrico y el fotoeléctrico. En el primero, la corriente eléctrica se produce a partir del calor de la radiación luminosa, mientras que en el segundo, es la energía de los corpúsculos constituyentes de la luz (fotones) la que se aprovecha para producir electricidad.

El efecto termoeléctrico presenta ciertas variantes, generación termoiónica, generación termoeléctrica, mientras que respecto al efecto fotoeléctrico se pueden contemplar la generación fotoemisiva, la fotogalvánica y la fotovoltaica. Aunque las dos primeras variantes fotoeléctricas no tienen mucha aplicación la generación fotovoltaica sí es de gran importancia, y la conversión directa de energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado efecto fotovoltaico.

El **efecto fotovoltaico** es la producción de una fuerza electromotriz en un **material semiconductor** como consecuencia de la absorción de radiación luminosa. Los semiconductores son sustancias de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor. Una de sus características más importantes desde el punto de vista tecnológico, es la existencia en ellos de dos tipos de portadores de corriente: unos dotados de carga eléctrica negativa, constituidos por electrones libres, y otros dotados de carga eléctrica igual en magnitud pero de signo positivo, que se denominan huecos. Ciertos semiconductores presentan predominantemente conducción por huecos y se denominan **semiconductores tipo p** y otros presentan predominantemente conducción por electrones y se denominan **semiconductores tipo n**. [6]

Cuando se construye un diodo semiconductor (dispositivo electrónico de propiedades asimétricas de conducción, es decir, conduce en un solo sentido) con un semiconductor tipo p y otro tipo n, en el plano de separación entre ambos semiconductores (unión p-n) existe un elevado gradiente de ambos tipos de portadores que hace que éstos tiendan a abandonar por difusión la región en que son abundantes y vayan a la región en que son minoritarios: los electrones hacia la zona p y los huecos hacia la zona n.

Cuando sobre un semiconductor incide una radiación luminosa con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, la existencia de una unión p-n separa dichos pares, enviando a los portadores minoritarios hacia la región donde son mayoritarios, debido a su alto campo eléctrico. Un aporte de cargas de este modo afluyendo a ambas regiones (electrones afluyendo a la zona n y huecos a la zona p) es, en resumen, una corriente eléctrica que atraviesa la unión p-n desde la zona n a la p, y que puede ser entregada a un circuito exterior, saliendo por la región p y entrando por la región n.

Así pues, una célula solar fotovoltaica está constituida por un disco monocristalino de silicio, dopado en su superficie superior (expuesta al Sol) hasta hacerla de tipo n en un espesor de  $0.6 \mu m$  mientras que su parte inferior se deja de tipo p, con un espesor de hasta  $0.4 mm$ . Así se produce una unión p-n paralela a la superficie iluminada de la célula.

En condiciones de radiación solar de  $1 kW/m^2$ , una célula solar en condiciones óptimas de trabajo proporciona una potencia de  $14 mW/cm^2$  ( $28 mA/cm^2$  a una tensión de  $0.5 V$ ), lo que supone un rendimiento de 14%. Si varía la iluminación, la corriente de la célula varía proporcionalmente, en tanto que la tensión se mantiene casi invariable. Naturalmente, estos niveles de tensión son inutilizables para la mayor parte de las

aplicaciones, pero si se desea obtener mayor tensión, basta conectar un cierto número de células en serie. Así, conectando 36 de ellas (dimensiones normales, 7,6 cm de diámetro) se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12 V, incluso con iluminaciones mucho menores de  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ . Estas 36 células interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie constituyen lo que se denomina un **módulo fotovoltaico**. [6]

Una serie de módulos montados sobre un soporte mecánico constituyen un **panel fotovoltaico**. Los módulos de un panel se pueden conectar en serie o en paralelo, de modo que puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de corriente. [6]

## 1.8. APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los sectores de aplicación de la energía solar fotovoltaica son diversos y claramente diferenciados; entre ellos se puede citar: Aplicaciones Remotas, Usos Rurales, Autogeneración , Grandes Centrales [6]

- **Las aplicaciones Remotas:**

se refieren a aquellos casos en que es necesario el uso de electricidad en lugares no habitados donde hay que prever un pequeño consumo de electricidad. Casos típicos son los repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, etc., los cuales exigen además una alta fiabilidad del sistema de alimentación. Ya hoy día es rentable disponer en estos casos de un panel fotovoltaico que, pese a su elevado coste es, sin embargo, la solución más económica. Por supuesto, en este tipo de aplicaciones es necesario prever una acumulación de energía a base de baterías. [6]

- **Los usos rurales:**

constituyen el siguiente mercado a cubrir con la electricidad solar fotovoltaica. En este mercado es preciso competir con el grupo electrógeno convencional, barato pero sometido a la servidumbre del transporte de combustible, que en muchos lugares del área rural puede ser caro, y cuya menor fiabilidad, ruidos, etc., hacen poco atractivo su uso.

Se trata de instalaciones aisladas de la red general y en muchos casos no requieren acumulación, como por ejemplo en aplicaciones de riego y en muchas tareas mecánicas (descascarillado, molienda, etc.) en las cuales no es imprescindible la continuidad del servicio. En los casos en que la continuidad del servicio sea crítica, se pueden obtener

excelentes valores de fiabilidad mediante el uso de sistemas acumuladores adecuadamente dimensionados, que permitan obviar el carácter aleatorio de las variables climáticas.

Otras muchas aplicaciones rurales (iluminación de viviendas, establos e invernaderos, bombeo de agua, etc.) son atendidas de forma rentable mediante sistemas fotovoltaicos, hasta el rango de varios kW a los costes actuales. [6]

- **Autogeneración**

Es de esperar que la reducción de costes de la energía fotovoltaica haga rentable su empleo para la autogeneración de energía, ya sea en usos domésticos, ya sea en pequeñas centrales. En ambos casos los centros de consumo se supondrán conectados a la red, utilizando la energía solar como base del consumo y la de la red como complemento. En estos casos incluso se puede prever la venta del excedente de electricidad a la compañía eléctrica. [6]

- **Grandes Centrales**

Esta aplicación estará asociada a la evolución de la tecnología fotovoltaica, del coste del combustible y de las condiciones climáticas, así como a la competitividad relativa de cada solución. [6]

## 1.9. TIPOS DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Se puede realizar una primera clasificación de los sistemas fotovoltaicos en función de si están o no conectados a la red eléctrica convencional:

- **Sistemas fotovoltaicos autónomos:** son aquellos que están aislados de la red eléctrica.
- **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:** son aquellos que están directamente conectados a la red eléctrica.

Una de las principales características de los generadores fotovoltaicos que la diferencia de otras fuentes de energía renovable es que únicamente producen electricidad cuando reciben la luz del Sol (irradiación solar) y además la cantidad de energía que generan es directamente proporcional a la irradiación solar que incide sobre su superficie. Resulta evidente que en multitud de aplicaciones el consumo energético se produce independientemente de la radiación solar (claro ejemplo resulta un sistema de iluminación donde precisamente de lo que se trata es de tener energía durante la noche). En este tipo de aplicaciones es necesario incluir un sistema de almacenamiento energético o de acumulación, en los sistemas fotovoltaicos la energía producida por los módulos fotovoltaicos se almacena en baterías. En otras aplicaciones, como el bombeo de agua o los sistemas conectados a la red no se necesitan baterías, en el primer caso la energía se acumula en forma de energía hidráulica mientras que en el segundo la energía se acumula en la propia red eléctrica. [7]

En general, un sistema fotovoltaico estará formado por:

1. Un generador fotovoltaico

2. Una batería de acumulación
3. Un regulador de carga
4. Un inversor
5. El consumo

El **generador fotovoltaico** es el encargado de transformar la energía del Sol en energía eléctrica. Está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, y a su vez cada módulo fotovoltaico está formado por unidades básicas llamadas células fotovoltaicas. La potencia que puede suministrar una única célula fotovoltaica típica es del orden de 3W. Este valor resulta pequeño para la mayoría de las aplicaciones hace que el fabricante las agrupe conectándolas en serie y/ paralelo para formar los módulos fotovoltaicos. La potencia que puede suministrar un módulo fotovoltaico dependerá del número de células que posea. Un valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células. Si esta potencia aún resulta insuficiente para una determinada aplicación, el instalador conecta los módulos necesarios, en serie y en paralelo, hasta obtener la potencia requerida. [7]

La energía producida por el generador fotovoltaico se acumula, en caso de ser necesario, un **sistema de baterías**. De este modo la energía producida durante las horas de sol se puede utilizar durante la noche, o en momentos en los que no se disponga de la suficiente radiación solar para generar la energía necesaria. La batería es pues un elemento que va a estar cargándose y descargándose cíclicamente (por ejemplo, en un sistema de iluminación fotovoltaica la batería se carga durante el día y se descarga en las horas de la noche). Para controlar los procesos de carga y descarga de la batería se utiliza un

**regulador de carga.** Este elemento es el encargado de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobre descargas excesivas que podrían resultar dañinas para la batería, acortando su vida útil. El modo de operación es bien sencillo: cuando el regulador detecta que la batería está siendo sobrecargada, desconecta el generador fotovoltaico y cuando detecta que la batería está siendo sobre descargada, desconecta los consumos. [7]

Los módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC), que se puede almacenar directamente en baterías. Cuando se extrae potencia eléctrica de las baterías, ésta también es en forma de corriente continua. En el caso de que se desee dar servicio a determinados consumos que pueden ser en corriente alterna (AC) (como ocurre con la mayoría de los consumos que habitualmente estamos se utilizan), es necesario disponer de un **inversor** que es un dispositivo electrónico encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna con el máximo rendimiento posible. [7]

Los **consumos** o cargas que el sistema fotovoltaico ha de satisfacer pueden ser DC o AC. Se considera a los consumos como una parte substancial del sistema fotovoltaico ya que estos son los que determinan el tamaño del sistema (lo que se conoce como dimensionado del sistema fotovoltaico). En algunos sistemas fotovoltaicos los consumos se conocen a priori con exactitud, como en el caso de sistemas de telecomunicación; pero en otros casos resulta extremadamente difícil predecir el consumo de una instalación, como puede ser en el caso de una instalación de electrificación rural donde el consumo viene definido por el tiempo de utilización de las cargas por parte de un determinado usuario. Esta incertidumbre viene determinada por la dificultad de prever el comportamiento del usuario con su instalación. [7]

### 1.9.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS (OFF GRID)

La energía eléctrica producida a partir de la conversión fotovoltaica se utiliza para cubrir una determinada demanda eléctrica en lugares remotos aislados de la red eléctrica, donde resultan competitivos con los sistemas convencionales, tanto en términos económicos como de fiabilidad de suministro.

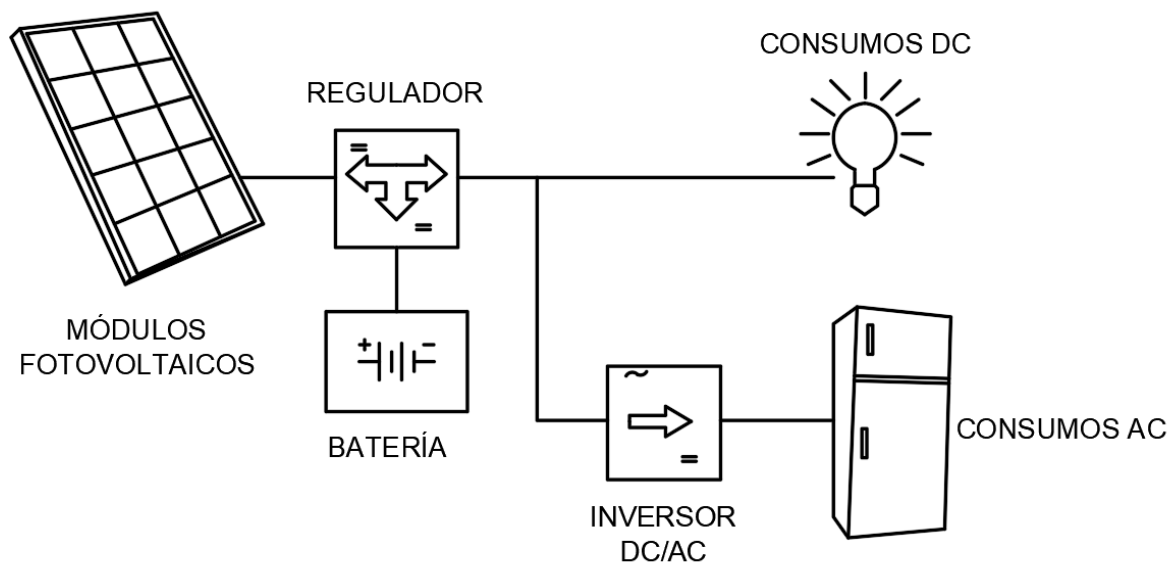


Figura 1. Estructura Básica de un Sistema Fotovoltaico autónomo. Fuente: Propia.

Las posibles configuraciones de los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden abarcar desde sistemas simples, tales como un generador fotovoltaico operando un consumo DC, hasta sistemas con almacenamiento y con consumos en DC o en DC+AC. La incorporación de un inversor en el sistema fotovoltaico para posibilitar la utilización de consumos en corriente alterna tiene como efecto una disminución del rendimiento de operación del sistema a potencias muy inferiores a la potencia nominal del inversor, debido a la curva de rendimiento típica de inversores autónomos. Por ejemplo, en un sistema fotovoltaico autónomo en el que todos los consumos sean en corriente alterna con un inversor de 1 kW de potencia nominal, el encendido de una única lámpara de bajo

consumo de 18 W de potencia haría operar al inversor a muy bajo rendimiento. Esta es la razón del diseño de sistemas con consumos en DC, normalmente la iluminación, y en AC para el resto de los consumos. [7]

Los sistemas fotovoltaicos también pueden operar en combinación con otras fuentes de energía (renovable o no) como los sistemas eólico-fotovoltaicos o eólico-diésel-fotovoltaicos, para formar sistemas autónomos híbridos.

La energía solar fotovoltaica es inherentemente una tecnología descentralizada. La potencia eléctrica puede instalarse allí donde se necesite. Cada casa, escuela, centro comercial o transmisor puede contar con su propio sistema independiente. Sin embargo estos sistemas descentralizados necesitan de una cierta “vigilancia” por parte de los usuarios. Esta vigilancia puede reducirse en el caso de sistemas centralizados. Un sistema centralizado tiene todos los módulos, baterías, inversores y sistemas de control necesarios para, por ejemplo, dar suministro a un pueblo entero. En este caso se puede disponer de personal adecuado para el mantenimiento del sistema.

Se puede realizar una clasificación de los sistemas fotovoltaicos autónomos en función de su aplicación como:

- **Sistemas de electrificación:**

Uno de los mercados con más demanda actual son el suministro de energía para viviendas (principalmente iluminación y electrodomésticos) aisladas de la red eléctrica tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados. Casas aisladas (electrificación distribuida) o pueblos enteros (electrificación centralizada) pueden generar su propia electricidad, sin necesidad de un mantenimiento sofisticado o

suministros regulares de combustible. También pequeñas clínicas pueden operar con refrigeradores para vacunas, radios de emergencia y otras cargas críticas. Normalmente estas aplicaciones están en lugares remotos y no hay dinero para el mantenimiento de un generador o para combustible. [7]

- **Sistemas profesionales:**

Las telecomunicaciones y aplicaciones profesionales son uno de los mercados históricos de la energía solar fotovoltaica. El equipo utilizado en la mayoría de estas aplicaciones opera en DC, haciendo el acoplo a la energía DC fotovoltaica simple y económico. El bajo tiempo de fallos en estos sistemas resulta terriblemente caro, por tanto la fiabilidad es crítica. Por otro lado la modularidad y flexibilidad de los sistemas fotovoltaicos hacen que se pueda utilizar para alimentar desde el más pequeño de los sistemas de telemetría hasta el mayor de los repetidores de microondas, situados a veces en lugares muy remotos e inaccesibles. [7]

- **Sistemas de bombeo de agua**

El bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica proporciona una atractiva solución para suministro de agua para granjas, para irrigación o para suministro de agua potable. Estos sistemas no requieren baterías, no necesitan suministro de combustible, son de muy bajo mantenimiento y automáticamente producen más agua cuando más sol hay (que normalmente es cuando más agua se necesita). [7]

### **1.9.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED (ON GRID)**

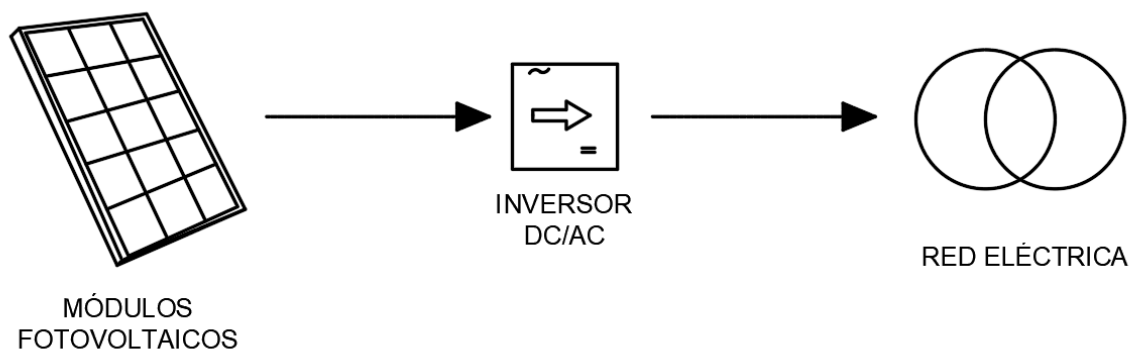
Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red.

Las principales aplicaciones de estos sistemas son para:

- Tejados de viviendas: (integración en edificios), en los que la instalación está físicamente situada en un edificio que habitualmente se encuentra en un entorno urbano.
- Plantas de generación de energía: (centrales fotovoltaicas), en las que la instalación FV funciona como una central convencional de generación de energía en el sentido de que inyecta toda la producción eléctrica a la red.

No obstante existen también otro tipo de aplicaciones en las cuales los módulos fotovoltaicos son utilizados como elementos constructivos en diversos entornos urbanos tales como barreras anti-sonido en autopistas y vías de tren, cubiertas de piscinas y aparcamientos, entre otros.

Además de la maximización anual de la energía generada, también se han de tener en cuenta otros aspectos como la integración arquitectónica y con el entorno, las posibles pérdidas por sombreado, difícilmente evitables en muchos casos de sistemas integrados en edificios, aspectos de seguridad y calidad de la energía generada así como la ausencia de efectos perturbadores de la red eléctrica. [7]



*Figura 2. Esquema Básico de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red Eléctrica*

La potencia nominal de las instalaciones en viviendas unifamiliares o edificios en general está relacionada con la superficie útil disponible para la instalación del generador fotovoltaico, aproximadamente de 8 a 10 m<sup>2</sup> por kWp en función del rendimiento del generador fotovoltaico [7]

La potencia típica de la mayor parte de las instalaciones se sitúa en torno a los 5 kWp en viviendas unifamiliares y hasta 100 kWp en otras instalaciones en edificios e integración urbana. La conexión a red de este tipo de instalaciones se puede realizar directamente a la red de baja tensión en modo monofásico hasta 5 kW y en trifásico para el resto. [7]

## 1.10. SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador fotovoltaico, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema acondicionamiento de potencia (controladores DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador fotovoltaico al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio de agua y la operación en vacío. A pesar de que se instalan bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motor-bomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. [8]

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

- Las condiciones hidráulicas:
  - La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
  - La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo hasta un depósito de almacenamiento).
  - Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica).
- La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o de corriente alterna, entre otros.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba.
- Subsistema de acondicionamiento de potencia.
- Subsistema de acumulación y distribución.

#### **1.10.1. APLICACIONES DE SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO**

Las dos principales aplicaciones de los sistemas de bombeo alimentados mediante energía solar fotovoltaica son:

- Aplicaciones de riego agrícola
- Abastecimiento de agua en zonas rurales

Las necesidades de agua para riego se caracterizan por su gran variación estacional, ya que dependen del tipo de cultivo que se pretenda regar. La demanda de agua puede oscilar entre valores pico de 100 m<sup>3</sup>/día/hectárea en los meses secos hasta volúmenes próximos a cero en los meses de invierno. [8]

En áreas agrícolas de países en desarrollo, para el abastecimiento de pequeñas granjas, las necesidades de agua por hectárea son del orden de 1 a 5 l/s, con alturas manométricas superiores a 7 metros. Las bombas de esta capacidad se sitúan en el

rango de 150 a 500 W y pueden suministrar agua para regar entre 0.5 a 1 hectáreas, dependiendo del cultivo y rendimiento de sistema de distribución de agua. [8]

El abastecimiento de agua en zonas rurales, bien para consumo humano o de animales de granja, se caracteriza en cambio por una demanda de agua casi constante a lo largo del año- las necesidades de agua para consumo de animales domésticos oscilan entre los 50 l/día de un caballo hasta los l/día para un ave de corral. [8]

El consumo humano es más complicado de determinar, ya que éste varía dependiendo de la localización y el estilo de vida. Sin embargo se puede estimar en 20-40 l/día/persona la cantidad de agua para satisfacer las necesidades básicas. Esto supone una potencia hidráulica media de 0.3 Vatios, suponiendo un periodo de utilización de horas y una altura de elevación del agua de 20 metros. [8]

## **1.11. SITUACIÓN DEL AGUA PARA RIEGO EN EL SALVADOR**

La crisis hídrica y la necesidad de una gestión sustentable del agua son temas que se han discutido a nivel nacional desde la década de los 80 cuando ya se percibía el reto de alimentar a la población salvadoreña del año 2000. La problemática de escasez del agua con fines agropecuarios se refleja en el país progresivamente ya que existe un aumento en la demanda para consumo humano, contaminación de fuentes de agua superficiales y subterráneas, falta de saneamiento adecuado, deforestación, deslizamientos, disminución de caudales de los ríos, aunado a los riesgos inminentes causados por el cambio climático. [9]

La oferta hídrica del país que se recibe por medio de la lluvia es de 1,823 milímetros anuales según la base de registros pluviográficos y pluviométrico promedio de la Dirección de Observatorio Ambiental del MARN. Se estima que por evapotranspiración la cantidad de agua disponible se reduce en un 33 por ciento, lo que significa que se dispone de unos 12 mil millones de metros cúbicos anuales en forma de aguas superficiales y subterráneas. [9]

En el sector agrícola, el agua es utilizada mayoritariamente para riego, aunque también se utiliza en las piscicultura y actividades pecuarias, en donde actualmente no se hace un uso eficiente al tomar en cuenta que los sistemas de riego operan con una eficiencia estimada del 30 por ciento, problema que podría superarse a través del uso de avances tecnológicos y de capacitación. El sector agrícola consume alrededor del 70 por ciento del agua, mientras que al uso doméstico se destina 10 por ciento y a los industriales 20 por ciento. [9]

El MAG, por medio de la Dirección General de Ordenamiento Forestal, Cuencas y Riego (DGFCR) tiene bajo su responsabilidad el desarrollo del sector productivo integral de los recursos forestales, suelo y agua para agricultura, sobre la base legal de la aplicación de la Ley Forestal y la Ley de Riego y Avenamiento, en beneficio de la sociedad en general.

[9]

La División de Riego y Drenaje, Unidad Técnica de la DGFCR, es la oficina responsable de administrar el recurso hídrico con fines de riego en El Salvador, para ello se apoya en la Ley de Riego y Avenamiento (1970) y su reglamento (1973), con la finalidad de realizar el uso racional del recurso para mejorar la producción agrícola y el incremento constante de la producción alimentaria. Al no contar con una política riego oficializada que oriente su accionar lo cual limita el ordenamiento y la planificación de la agricultura bajo riego, así como la integración con diversos actores vinculados al agua con fines agropecuarios.

[9]

Según MARN, se estima que la eficiencia de los sistemas de riego es de un 30 por ciento, utilizando el 56 por ciento de las aguas superficiales disponibles para riego, lo cual significa que es imprescindible incrementar las áreas regables haciendo una mejor gestión del agua en general, respetando la normativa vigente y lo que establezca la Ley General de Aguas. [9]

De los sistemas de riego que actualmente operan, conforme al Sistema de Información Nacional de Gestión de Agua para Riego (SINGAR), el 88.9% funcionan por gravedad, el restante 11.1% del área, es regado por aspersión, goteo, microaspersión y otros sistemas, indicando una inversión limitada en tecnología de uso eficiente de agua para riego a nivel nacional. [9]

## 1.12. FUENTES DE AGUA DISPONIBLES EN EL TERRENO UBICADO EN SAN MIGUEL DE MERCEDES PARA EL USO AGRÍCOLA

En el terreno ubicado en San Miguel de Mercedes, Chalatenango con coordenadas Latitud 14.00934° y Longitud -88.94194° (ver Figura 3) , cuenta con 3 posibles fuentes de agua para ser utilizadas para el riego, agua potable, agua de lluvias y aguas subterráneas.

El uso y administración de estas se registrará mediante la Autoridad Salvadoreña del Agua (ASA) Y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

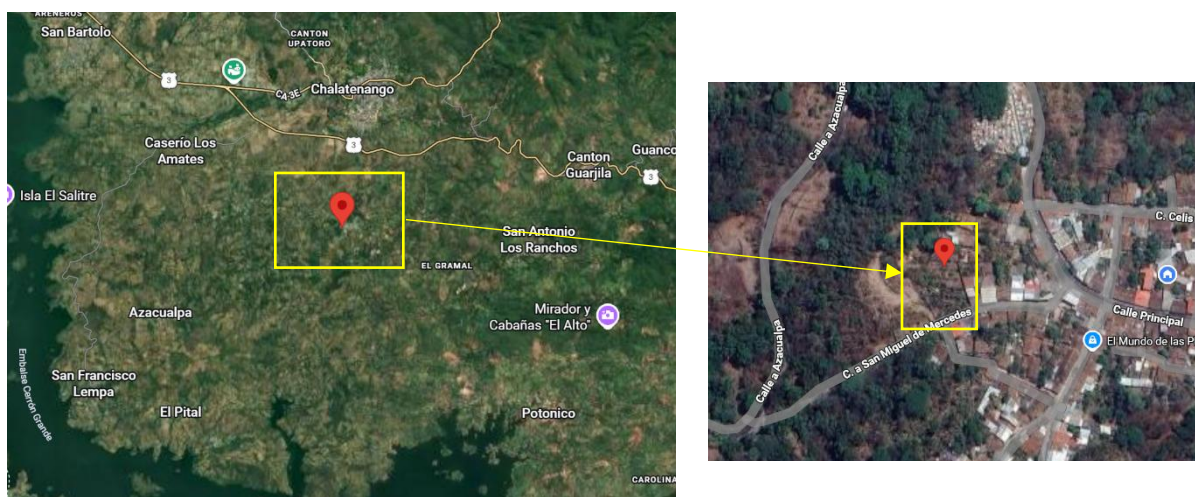


Figura 3. Ubicación del terreno en análisis. Fuente: Google maps.

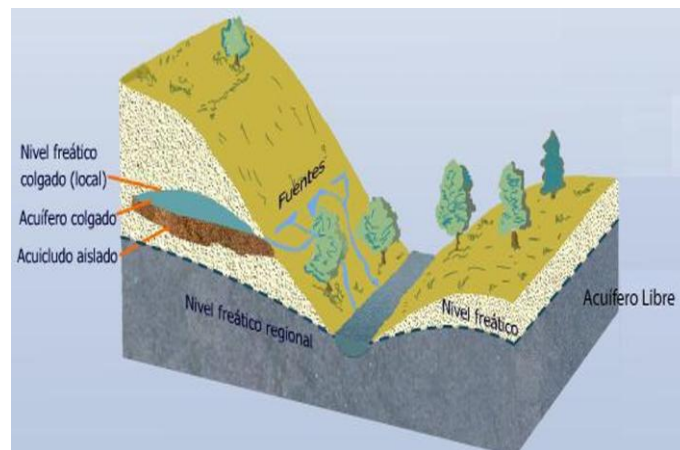
### 1.12.1. AGUA POTABLE Y SUBTERRANEAS

En San Miguel de Mercedes, Chalatenango, donde se encuentra el terreno en análisis el suministro de agua potable proviene principalmente de **fuentes subterráneas**. La entidad responsable de la extracción, potabilización y distribución es la **Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)**, Autoridad Salvadoreña del

**Agua (ASA)**, que garantiza que el agua cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano.

El agua subterránea se extrae mediante pozos, estos pueden ser tan profundos como se requiera para alcanzar acuíferos los cuales mantendrán el pozo lleno aun en verano, los diferentes tipos de acuíferos que existen son los siguientes:

- Acuíferos Colgados: una lente menos permeable sustenta una bolsa de agua que en muchos casos es espacialmente limitado este acuífero no tiene un flujo horizontal de agua subterránea y se recarga solo por la infiltración en épocas lluviosas de zonas muy cercanas



*Figura 4. Acuífero Colgado.*

- Acuífero Confinado: presentan una capa de menor permeabilidad encima del acuífero, que somete las agua a una presión superior a la atmosférica

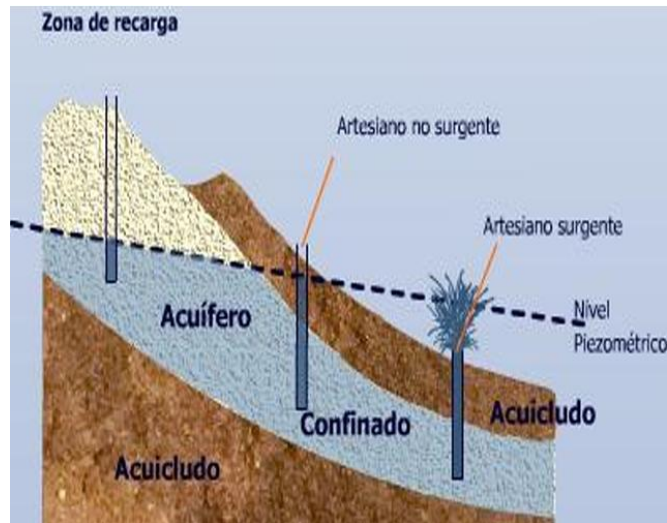


Figura 5. Acuífero Confinado.

- Acuífero Fisurado: Estos son los que están conformados por el conjunto de rocas intensamente fracturadas en superficie (Metamórficas, sedimentarias, intrusivas, volcánicas, entre otros) y por las fallas que permiten el flujo lento del agua subterránea.

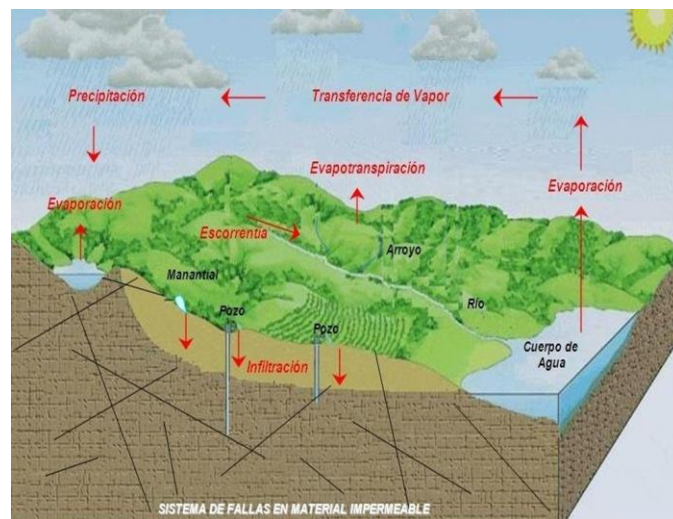


Figura 6. Acuífero fisurado.

### 1.12.2. AGUA PLUVIAL

En el caso del terreno en análisis ubicado en san miguel de mercedes para un análisis pluvial se debe recurrir a la estación meteorológica Cabañas Cerrón Grande como se muestra en la figura 7, la información de esta imagen es extraída del programa SAGA GIS, la cual muestra mediante los polígonos de Thiessen que estación meteorológica es la de interés para extraer datos de la precipitación que sean de utilidad para la ubicación del terreno en análisis.

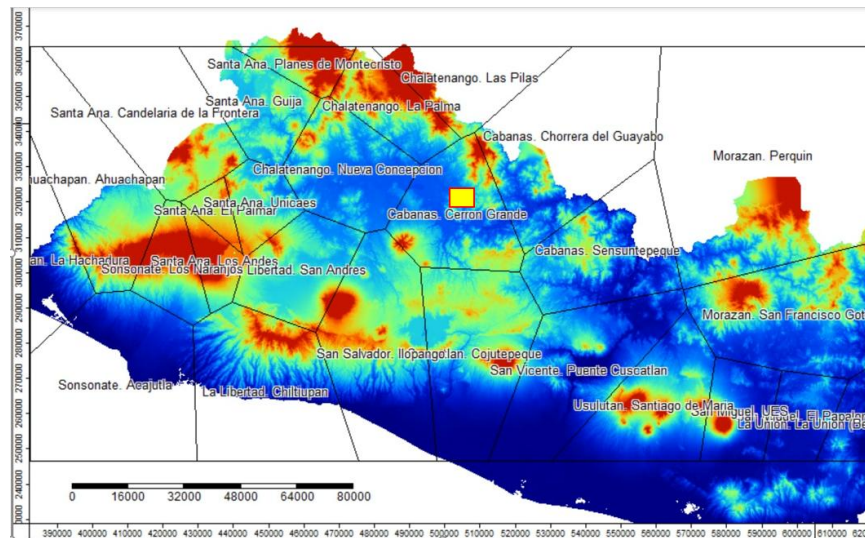


Figura 7. Polígonos de Thiessen de estaciones meteorológicas y ubicación del terreno. Fuente: propia.

Con los datos de la estación Cerrón Grande mostrados en la figura 8 se concluye que la temporada de lluvia empieza en mayo y finaliza en octubre dando como resultado 6 meses sin lluvia, en los cuales no es posible utilizar el terreno para siembra si solo se depende de la lluvia.

ESTACIÓN:	CERRON GRANDE
INDICE:	B-10
DEPARTAMENTO:	CABAÑAS

LATITUD NORTE:	13°56"
LONGITUD OESTE:	88°55"
ELEVACIÓN:	325 m.s.n.m.

ELEMENTO:	PRECIPITACIÓN [mm]
-----------	--------------------

Año\Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1991	0	0	0	55	316	390	121	283	221	378	37	74	1875
1992	0	0	1	101	115	476	473	320	455	150	26	8	2125
1993	0	0	34	101	320	272	302	371	342	217	10	5	1974
1994	0	10	5	55	225	172	207	446	244	136	71	1	1572
1995	-	0	19	78	179	305	352	223	490	137	6	30	1819
1996	33	0	48	120	216	444	323	276	420	126	27	0	2033
1997	8	0	8	49	225	326	177	196	400	120	73	37	1619
1998	0	0	27	0	88	239	219	414	181	362	170	0	1700
1999	0	8	0	47	271	392	234	176	316	184	1	13	1642
2000	0	0	0	39	163	299	195	242	410	166	34	0	1548
2001	0	0	0	12	250	145	343	256	278	130	39	0	1453
2002	1	14	4	100	224	161	329	350	304	304	7	0	1798
2003	0	1	21	29	198	344	280	214	591	139	24	15	1856
2004	0	0	15	53	534	348	360	305	385	182	49	7	2238
2005	0	0	100	20	346	303	322	248	551	308	19	5	2222
2006	3	0	10	137	318	440	364	225	446	110	81	1	2135
2007	0	0	27	147	174	188	339	232	338	306	16	0	1767
2008	0	9	22	97	87	478	453	237	369	387	0	0	2139
2009	0	2	2	24	442	511	250	302	341	152	208	16	2250
2010	0	2	1	150	349	458	349	361	430	95	34	0	2229

Figura 8. Registro de precipitaciones de estación meteorológica Cerrón Grande desde 1991 hasta 2010. Fuente: SNET

### 1.13. TIPOS DE SISTEMA DE RIEGO

El agua es un bien escaso que hay que utilizar de la manera más eficiente y eficaz posible. Por ello, la agricultura es una de esas áreas productivas en las que se han desarrollado más profusamente diversas técnicas de optimización de agua. Por un lado, para usar tan solo el agua necesaria y, por otro, para que la producción agrícola sea lo más rentable posible. [3]

#### 1.13.1. RIEGO POR ASPERSIÓN

Este método, de uso general, se aplica sobre grandes extensiones lanzando un gran volumen de agua equilibrada y uniforme en forma de lluvia. Por lo general, actúa cubriendo toda el área y es bastante adecuado para automatizar la operación. [4]

El principio de operación en los sistemas de riego por aspersión se basa en convertir la energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor en forma de chorro. A medida que dicho chorro de agua pasa sobre el terreno del campo, este queda esparcido en forma de gotas, las cuales al juntarse con la resistencia del aire caen a la superficie del suelo. [4]

Un sistema de riego por aspersión consiste en una red de tuberías o tubos con aspersores acoplados a ellos, arreglados de tal manera, que puedan distribuir la precipitación del agua de riego lo más uniformemente posible sobre el campo de cultivo. En la mayoría de los sistemas de riego por aspersión, la intensidad de precipitación es menor que la tasa de infiltración básica del suelo. De esta manera se logra que toda el agua que cae sobre la superficie del suelo se infiltre, evitando el exceso de encharcamientos superficiales, los cuales traerían como consecuencia aplicaciones no uniformes del agua y serios problemas de erosión. [4]



*Figura 9. Riego por Aspersión. Fuente: encolombia.com*

### **1.13.2. RIEGO POR SURCOS/GRAVEDAD**

En el riego por surcos el agua se mueve por gravitación, es decir el agua se desliza siguiendo la pendiente y no requiere de energía extra para darle movimiento. La calidad

del riego depende en un principio de la sistematización del terreno y por eso es muy importante realizar un buen levantamiento planimétrico del lote a regar y un correcto diseño de los surcos especialmente en orientación y en longitud. [4]

Un sistema de riego por surcos está compuesto básicamente por: una cañería de conducción que se ubica en la cabecera de los surcos y boquillas, válvulas o ventanas para verter el agua en los surcos. [4]



*Figura 10. Riego por Surcos/Gravedad. Fuente: encolombia.com*

### **1.13.3. RIEGO POR GOTEO**

El sistema de riego por goteo es un método de irrigación utilizado en las franjas áridas que permite la utilización óptima de agua y abonos, distribuyendo el agua en manera moderada con una zona de humedecimiento radicular. Esta distribución del agua se transporta a través de tuberías y mangueras a presión, donde en algunos casos, se aprovecha las pendientes que presente el terreno. [4]

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia el interior de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores o goteros. [4]

El riego por goteo es focalizado tiene un sistema de riego localizado y de alta frecuencia. Mas no de cobertura total, esto quiere decir que, el sistema tiene una manera de riego individual o para un grupo de plantas. [4]

Este sistema utiliza pequeños caudales de agua a baja presión, de esta forma, las zonas agrícolas que no poseen fuentes de agua pueden obtenerla mediante agua de lluvia o en zonas subterráneas. Existe menor evaporación de agua efectiva de riego por ser un sistema de irrigación localizado. [4]

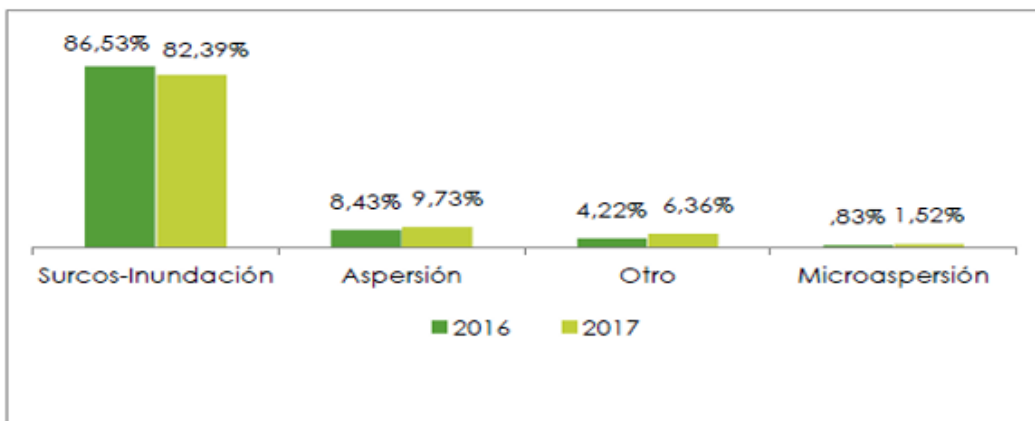


Figura 11. Superficie regada por método de riego cultivos transitorios 2017. Fuente: INEC

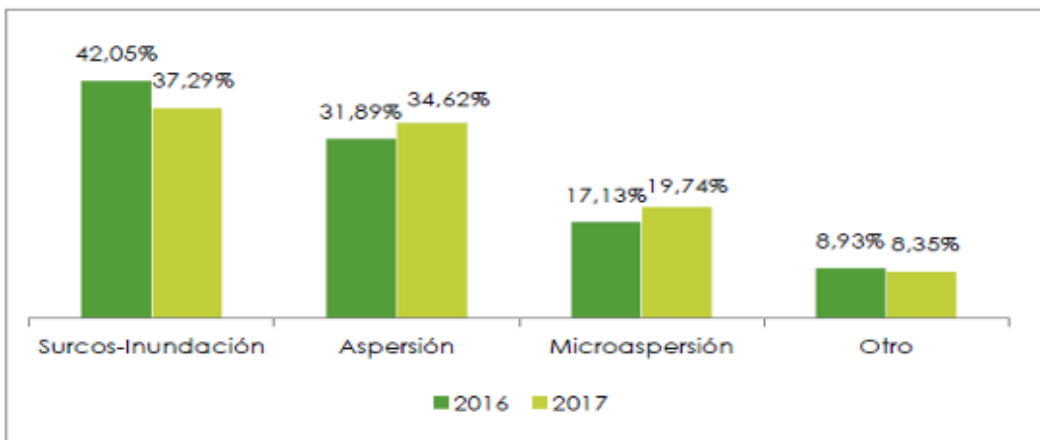


Figura 12. Superficie regada por método de riego cultivos permanentes 2017. Fuente: INEC

## **CAPÍTULO 2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE FUENTE DE AGUA PARA RIEGO**

La selección de la fuente de agua para riego debe cumplir como prioridad con propiedades químicas que no afecten a los árboles frutales y que el agua utilizada este permitida según la ley correspondiente en El Salvador, en este capítulo se proporcionará la información completa por cada fuente de agua identificada en el terreno con coordenadas, Latitud 14.00934° y Longitud -88.94194°. Esta información será el respaldo de la elección, dando así las justificaciones concretas de la misma.

Las organizaciones gubernamentales que rigen sobre este capítulo en la selección de la fuente de agua son: ASA, MARN, MAG, ANDA.

### **2.1. AGUA POTABLE**

- **Facilidad de Obtención:**

El terreno dispone del servicio de agua potable su facilidad de obtención es discutiblemente inmediata, esto debido a que el servicio de agua no está disponible las 24 horas del día, esto puede ser resuelto acumulando el agua en un tanque de agua cuando el servicio este activo y luego cuando se necesite estará disponible en nuestro propio almacenamiento.

- **Margen de la ley:**

Ley General de Recursos Hídricos, Orden prioritario para el uso y aprovechamiento del recurso hídrico Art. 63. Las aguas utilizadas y necesarias para el consumo humano y uso doméstico tienen prioridad y su uso no puede ser supeditado ni condicionado a cualquier

otro uso; su única restricción estará dada por el régimen de caudales ambientales definidos para la fuente de agua [1]

Los usos prioritarios establecen una jerarquía y no son excluyentes entre sí, salvo en caso de conflictos entre usos distintos o por disponibilidad, el uso inmediato superior adquirirá preeminencia.

Esto dicta que el agua destinada al consumo humano y uso doméstico es prioritaria, no hay una prohibición absoluta sobre el uso de agua potable para riego agrícola en El Salvador. Sin embargo, la Ley General de Recursos Hídricos establece que el consumo humano y uso doméstico tienen prioridad sobre cualquier otro uso. Esto significa que, en casos de escasez o conflictos entre distintos sectores, el agua potable debe destinarse primero a las personas antes que a la agricultura.

- **Propiedades del agua:**

Parte de la potabilización del agua es utilizar Cloro como agente potabilizador, este afecta directamente el crecimiento y producción de frutos de los árboles frutales, esto es corroborado en forma práctica por parte de Arturo Amaya Quintanilla en pruebas realizadas.

- **Margen Económico:**

Debido a que ya existe una instalación de este servicio solo se pagara la cuota establecida localmente por la alcaldía sin embargo se utilizara de referencia el tarifario por parte de ANDA, para una idea de los precios. Se muestra la siguiente tabla proporcionada en el Acuerdo No. 1279-Modificación del Pliego Tarifario de ANDA

Factura mensual = (m<sup>3</sup> x tarifa de acueducto) + tarifa de alcantarillado

Rango de consumo (M <sup>3</sup> )	Tarifa de Acueducto (US\$)	Tarifa Mensual de Alcantarillado
De 0 a 10 m <sup>3</sup>	2.29 Tarifa mínima	\$0.10
De 11 m <sup>3</sup> hasta 20 m <sup>3</sup>	0.210 / m <sup>3</sup>	\$0.10
21 m <sup>3</sup>	0.250 / m <sup>3</sup>	\$1.80
22 m <sup>3</sup>	0.280 / m <sup>3</sup>	\$1.80
23 m <sup>3</sup>	0.310 / m <sup>3</sup>	\$1.80
24 m <sup>3</sup>	0.340 / m <sup>3</sup>	\$1.80
De 25 m <sup>3</sup> hasta 30 m <sup>3</sup>	0.370 / m <sup>3</sup>	\$1.80
31 m <sup>3</sup>	0.420 / m <sup>3</sup>	\$3.00
32 m <sup>3</sup>	0.480 / m <sup>3</sup>	\$3.00
33 m <sup>3</sup>	0.540 / m <sup>3</sup>	\$3.00
34 m <sup>3</sup>	0.640 / m <sup>3</sup>	\$3.00
De 35 m <sup>3</sup> hasta 40 m <sup>3</sup>	0.760 / m <sup>3</sup>	\$3.00
41 m <sup>3</sup>	0.900 / m <sup>3</sup>	\$4.00
42 m <sup>3</sup>	1.050 / m <sup>3</sup>	\$4.00
43 m <sup>3</sup>	1.200 / m <sup>3</sup>	\$4.00
44 m <sup>3</sup>	1.400 / m <sup>3</sup>	\$4.00
De 45 m <sup>3</sup> hasta 50 m <sup>3</sup>	1.650 / m <sup>3</sup>	\$4.00
De 51 m <sup>3</sup> hasta 60 m <sup>3</sup>	1.900 / m <sup>3</sup>	\$7.50
De 61 m <sup>3</sup> hasta 70 m <sup>3</sup>	2.200 / m <sup>3</sup>	\$7.50
De 71 m <sup>3</sup> hasta 90 m <sup>3</sup>	2.500 / m <sup>3</sup>	\$7.50
De 91 m <sup>3</sup> hasta 100 m <sup>3</sup>	2.900 / m <sup>3</sup>	\$7.50
De 101 m <sup>3</sup> hasta 500 m <sup>3</sup>	3.400 / m <sup>3</sup>	\$10.00
De 501 m <sup>3</sup> en adelante	3.900 / m <sup>3</sup>	\$20.00

Figura 13. Facturación mensual de consumo de agua potable. Fuente: ANDA.

## 2.2. AGUA SUBTERRANEA

- **Facilidad de Obtención:**

Esta fuente de agua posee la forma más difícil de obtención, ya que se requiere de conocimiento técnico y mucho dinero para utilizarla ya que esta se debe ubicar de forma precisa

En san miguel de mercedes existen acuíferos fisurados, esta información es extraída de ANDA de los archivos públicos que se encuentran el portal de transparencia del gobierno.

- **Zonas de protección:**

El agua es un recurso indispensable para la vida, por tanto muchos de estos acuíferos están protegidos, lo cual indica que no podemos hacer uso de ellos ni mucho menos explotar sus aguas, por lo tanto lo principal es verificar que el pueblo san miguel de mercedes no cuente con zonas de protección.

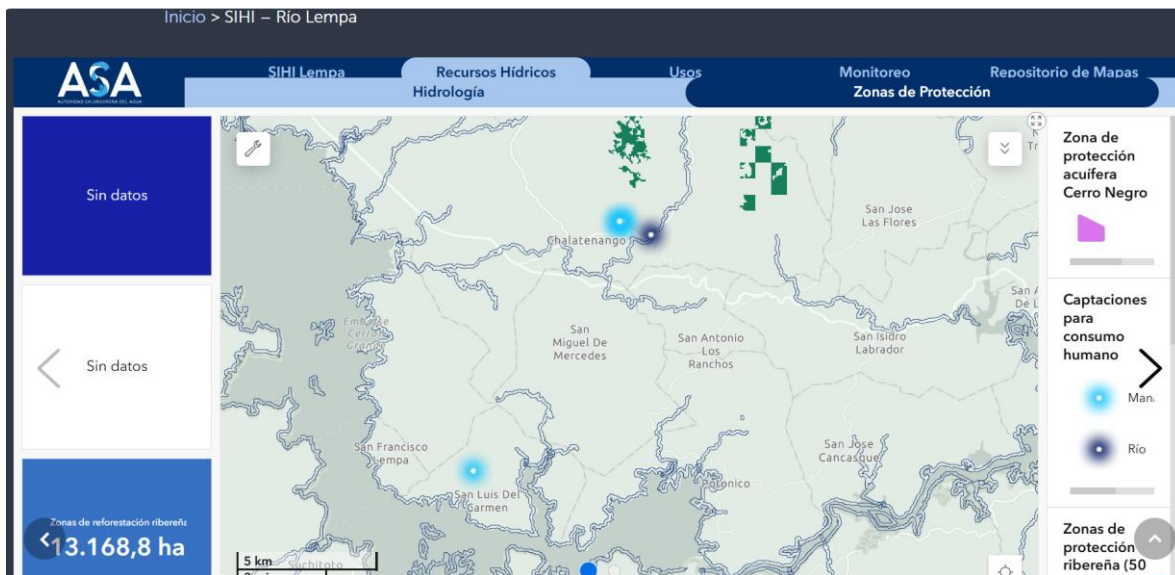
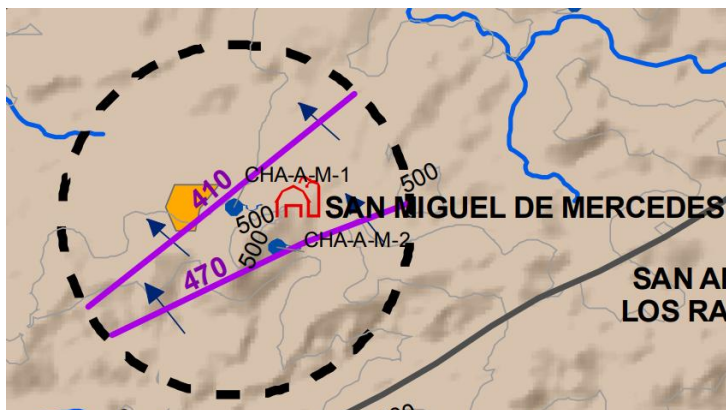
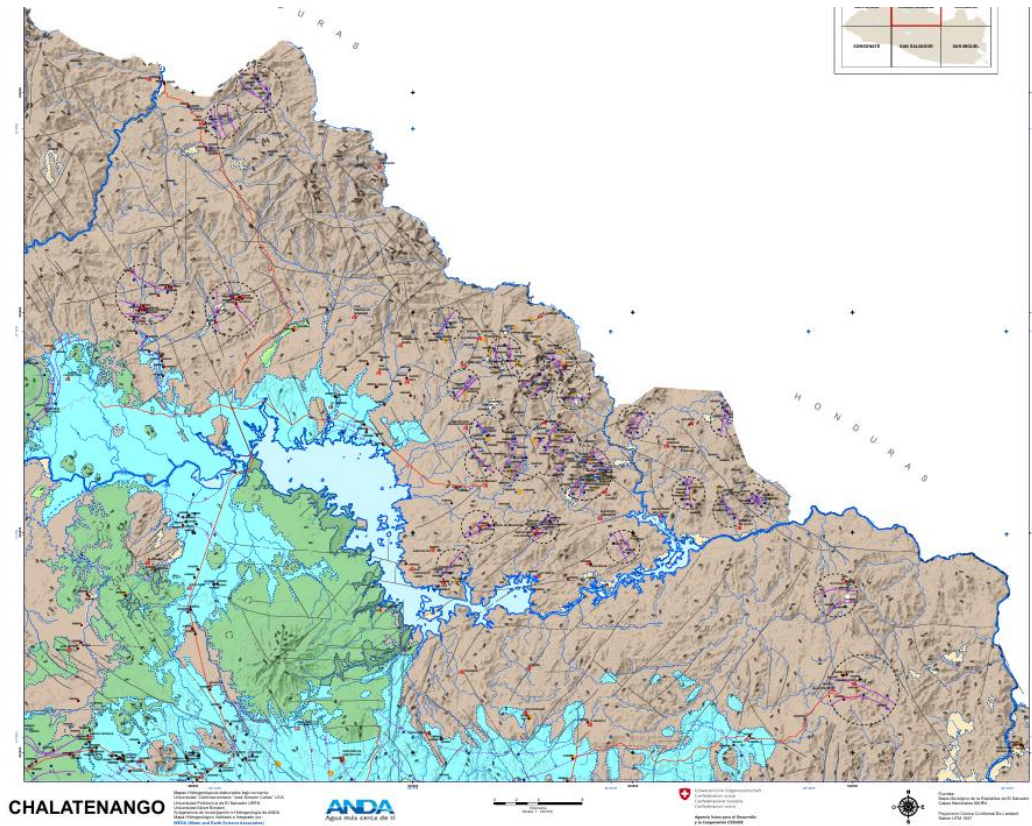


Figura 14. Zonas de Protección SIHI. Fuente: ASA.

Puede observarse la figura 12, obtenida del Sistema de Información Hídrica (SIHI) que San Miguel de mercedes no cuenta con zonas protegidas referentes a agua subterránea.

- **Facilidad de Obtención**

Fuente teórica: Mediante el portal de transparencia de ANDA se proporciona un mapa sobre ubicaciones de cuerpos de agua, acuíferos, aguas subterráneas entre otros, el pueblo San Miguel de Mercedes se encuentra con información de agua subterránea, esta muestra que el pueblo dispone de manantiales y acuíferos generados por fallas (Figura 15).



- Nivel Piezométrico
- Acuífero Fisurado
- - - Acuífero Poroso
- Acuífero Confinado
- ◆ Pozos Perforados
- Pozos Excavados
- Manantiales
- 0 l/s
- 1 - 9 l/s
- 10 - 49 l/s
- 50 - 175 l/s
- 176 - 1000 l/s
- Manantiales fíos mineralizados
- Manantiales termales mineralizados
- Líneas de Flujo
- Geología Falla
- Cráter, caldera
- Falla con componente de desplazamiento horizontal
- Falla supuesta
- Falla visible
- Hidrogeoquímica (Diagrama de Stiff)
- - - Límite de Acuífero
- ▨ Acuífero bajo capa de cobertura

Figura 15. Mapa Hidrogeológico A2 Chalatenango, Fuente: ANDA

Existe un manantial llamado el Ojushte cercano a el Terreno en estudio en San Miguel de mercedes (aproximadamente a 175m), este nacimiento aparece en el

mapa anterior mencionado (figura 15), este manantial es declarado un nacimiento que proviene de un acuífero generado por fallas por el trabajo de graduación titulado “Caracterización Hidrogeológica de la zona sur del municipio de Chalatenango, limítrofe con el embalse Cerrón Grande”. [10]

### ***MANANTIALES.***

Se localizó un manantial dentro de la zona de estudio, ubicado en las faldas del cerro El Zope en el Municipio San Miguel de Mercedes, sobre la calle que conduce a Azacualpa; a este manantial se le determinó un caudal medio de 6.76 l/min, según los lugareños este manantial proporciona agua durante todo el año. En el lugar han construido una pequeña pila que sirve como obra de captación y unos lavaderos. En el invierno en algunos pozos artesanales su nivel de agua incrementa de tal manera que estos rebalsan, percibiéndose como si se tratase de manantiales.



*Figura 16. Fotografía de obra de captación de manantial de Ojushte, Municipio de San Miguel de Mercedes, Departamento de Chalatenango.*

La aseveración de los lugareños fue comprobada por nosotros visitando el lugar en época seca en abril del año 2025



*Figura 17. Fotografías de Visita al Sitio.*

Comparando ambas imágenes, la fotografía tomada en el año 2013 y la fotografía tomada en el año 2025, se observan nulos cambios en el lugar con 8 años de diferencia.

 <b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</b> TESIS: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE CHALATENANGO LIMÍTROFE CON EMBALSE CERRÓN GRANDE.					
<b>INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA</b>					
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>				CÓDIGO:	MH-SJS/01
Propietario:	Fecha:	Hora	Punto de Agua	N°:	
Público	28/08/2012	--	Manantial	128	
<b>DIRECCIÓN</b>					
Calle:	Caserío	Cantón	Municipio:		
A Azacualpa	San Luis de Mercede	San Luis de Mercede	San Luis de Mercede		
<b>UBICACIÓN</b>					
Norte:	Oeste:	Elevación			
320559.00	506121.00	466.00			
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>					
					
Fotografía			Fotografía 2		

*Figura 18. Registro de Fuente de Agua del manantial de "Ojushte".*

El trabajo de graduación también proporciona las coordenadas de ubicación y elevación sobre el nivel del mar del manantial Ojushte, estas coordenadas fueron comparadas con el mapa proporcionado por ANDA (figura 15) obteniendo las siguientes coordenadas, Norte 320611 y Oeste 506011. Son valores muy aproximados debido a la dificultad del mapa mismo para interceptar zonas de interés.

Con toda la información recabada podemos ver que la diferencia de alturas entre la terraza 1 (elevación 482m) y Ojushte (elevación 466m) es de 16 metros, la diferencia ente la terraza 1 y nivel piezométrico del acuífero fisurado 1 (elevación de

410m) es de 72m y la diferencia entre acuífero fisurado 2 (elevación 470m) es de 12 metros



Figura 19. Elevación de Terraza 1 de la propiedad.

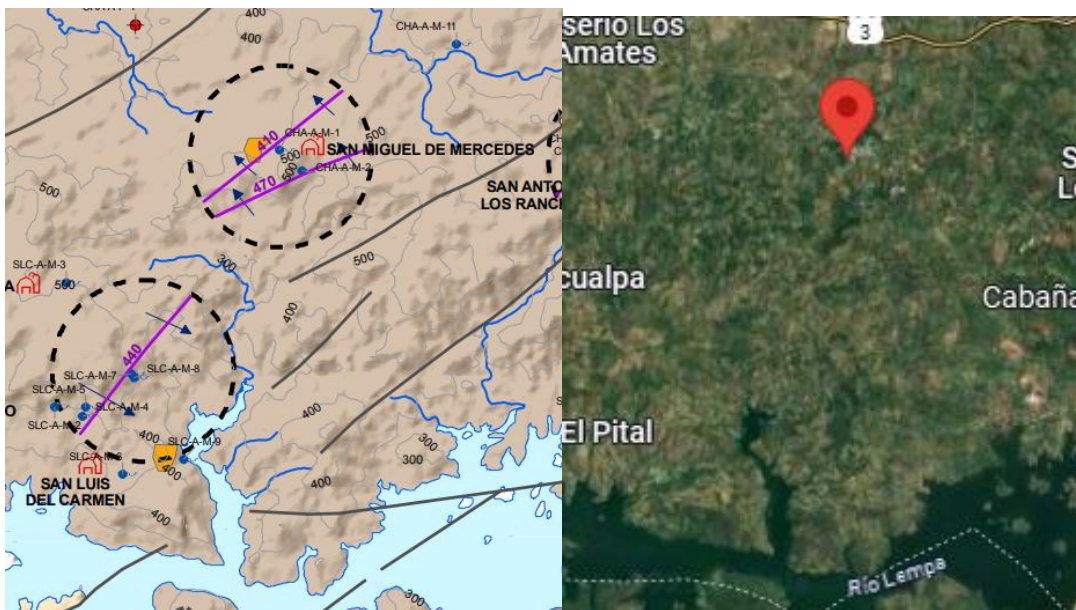


Figura 20. Comparación entre mapa por satélite y mapa proporcionado por ANDA.

#### Análisis Territorial y de Vegetación:

Anteriormente por relatos de los lugareños de San Miguel de mercedes existía un manantial justo al lado de terreno en análisis, el cual también era utilizado para lavar ropa, relatan que luego de un terremoto este se secó. se tomaron fotografías sobre

como en época seca se encuentra vegetación donde antes existía el manantial mencionado.



*Figura 21. Ubicación de Ex manantial.*

Hoy en día se rellenó de tierra lo que antes era el manantial para facilitar la entrada de camiones a una construcción cercana, aun así, se puede ver como aun crece vegetación en el sitio.



*Figura 22. Vegetación a Elevación Menor.*



*Figura 23. Vegetación a Elevación Menor.*

A un costado y enfrente del de las fotografías mostradas existe una pared que permanece húmeda.



*Figura 24. Humedad en pared frente a la propiedad.*

No muy lejos del manantial Ojushte existe otro nacimiento de agua, este se encuentra al otro lado de la carretera.



*Figura 25. Vista de vegetación alrededor de nacimiento en época seca.*



*Figura 26. Nacimiento de agua cerca de manantial Ojushte.*

- **Margen de Ley**

El MARN coordina con el **MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería)** y ANDA para asegurar que los pozos cumplan con estándares de seguridad y sostenibilidad

Para excavar pozos en El Salvador es obligatorio contar con **permiso ambiental, estudios hidrogeológicos y cumplir con la normativa vigente**, con el fin de evitar la sobreexplotación y garantizar la sostenibilidad del recurso. Este proceso puede completarse en línea en portal de ministerio de medio ambiente.

Ley General de Recursos Hídricos, permiso de exploración, Art. 98. Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que pretenda utilizar o aprovechar aguas nacionales subterráneas, deberá solicitar previamente ante la ASA, el permiso de exploración correspondiente, sin que ello le de exclusividad y garantía de otorgamiento de autorización de aprovechamiento (Formato de solicitud en Anexo 1).

Reglamento general de la ley de riego y avenamiento, Capítulo VIII Art. 94. Toda persona natural o jurídica que desee explotar aguas subterráneas con fines agropecuarios deberá obtener permiso del Ministerio. Podrá disponer y usar de ellas mediante el Permiso Temporal o Concesión correspondiente

Reglamento general de la ley de riego y avenamiento, Capítulo VIII Art. 98. Si el resultado de la inspección es favorable, la Dirección, siempre apegada a lo dispuesto por el Artículo 21 de la Ley, aprobará el expediente, mediante la correspondiente resolución y para autorizar que se disponga y usen las aguas descubiertas, otorgará el Permiso Temporal o la Concesión de conformidad con lo ordenado en el Artículo 22 de la Ley.

Definido este marco legal para la perforación del pozo se debe entender con 3 instituciones, las cuales son el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la Autoridad Salvadoreña del Agua (ASA) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

- **Propiedades del Agua**

Propiedades químicas del agua subterránea generalmente son aptas para riego, como por ejemplo el manantial de Ojushte ha sido utilizado para uso doméstico desde su descubrimiento. Este manantial proviene de un acuífero por fallas como se detalló en facilidad de obtención correspondiente a agua subterránea.

- **Margen Económico**

Esta fuente de agua subterránea representaría un gasto económico considerable, para la exploración de aguas subterráneas se cotizo con Grupo Prodiel quienes

ofrecían el servicio no invasivo mediante un estudio de resistividad del suelo para localizar el agua, el precio de este servicio es de 300 dólares estadounidenses, otra cotización se hizo con la empresa de perforación de pozos Diaz & Diaz Ingenieros, quienes además de localización del agua ayudarían con los permisos que la ley pide con un valor del servicio de 1600 dólares estadounidenses, con respecto a perforaciones generalmente el mercado ofrece 60 a 100 dólares estadounidense por metro perforado (relato de perforación de pozos Diaz & Diaz Ingenieros)

**DETERMINACIÓN DEL CANON POR USO Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO (LEY GENERAL DE RECURSOS HIDRÍCOS)-PAGO MENSUAL POR EL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA.**

Art. 110.- El canon por uso y aprovechamiento se establecerá con base al volumen de agua utilizada en un periodo de tiempo específico. Este periodo de tiempo se expresará en horas por día, días al mes o meses por año.

La fórmula para el establecimiento del canon por uso y aprovechamiento del recurso hídrico será la siguiente:

$$CUA = VU \times PB \times C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times C5$$

Donde:

*CUA* = Canon por uso y aprovechamiento del agua en dólares (\$)

*VU* = Volumen de agua utilizado, expresado en metro cúbicos (m<sup>3</sup>)

*PB* = Precio base, expresado en dólares/m<sup>3</sup> (\$0.03 - \$0.2)

$C_1$  = Coeficiente en función del tipo de uso y aprovechamiento de acuerdo con lo establecido en la presente Ley (adimensional)

$C_2$  = Coeficiente en función del origen de las aguas en el punto de captación (adimensional)

$C_3$  = Coeficiente por condicionantes socioambientales de la Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) (Adimensional)

$C_4$  = Coeficiente en función del interés o fin social del uso o aprovechamiento del recurso hídrico (adimensional)

$C_5$  = Coeficiente relativo a la condición de uso consuntivo o no consuntivo del recurso hídrico (Adimensional)

El precio base (PB) podrá ser actualizado conforme al índice de precios al consumidor o cualquier otro valor de relevancia socioeconómica del país establecido por el Banco Central de Reserva.

La ASA establecerá en el reglamento de la presente ley, los valores de los coeficientes establecidos en el presente artículo, para la determinación del pago en concepto de canon por uso y aprovechamiento.

## 2.3. AGUA PLUVIAL

- **Facilidad de Obtención**

Su obtención es limitada a solo época lluviosa requiriendo de obra civil para guiar y almacenar el agua proveniente de lluvias

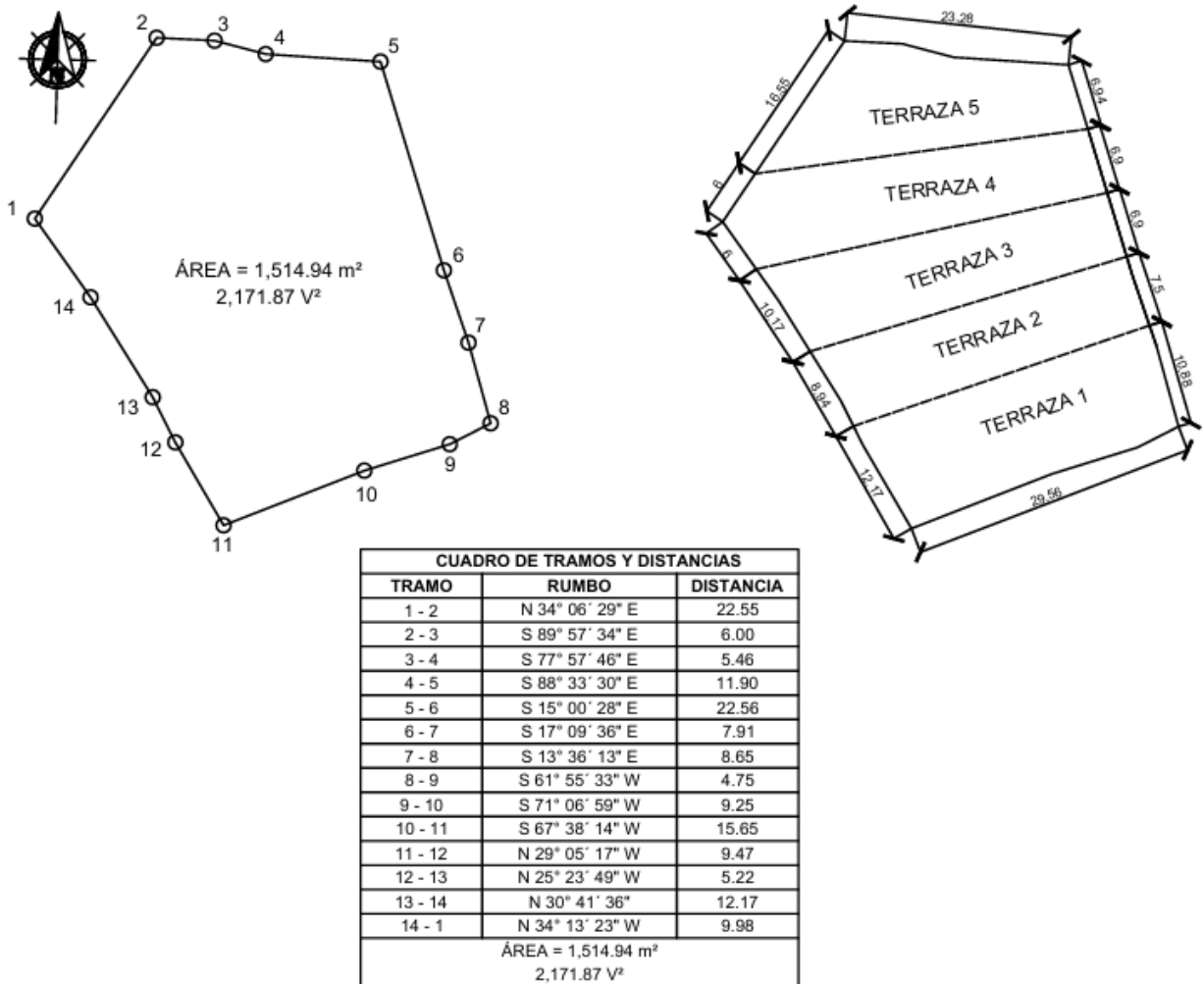


Figura 27. Mapa del Terreno y Distribución de Terrazas

- **Margen de Ley**

Ley General de Recursos Hídricos, Aprovechamiento de aguas lluvias Art. 66. Toda persona natural puede utilizar las aguas lluvias que se precipiten en su inmueble,

siempre y cuando no sean objeto de comercialización, no cause perjuicios a terceros, ni afecte de forma notable otras fuentes de agua. [1]

Las limitaciones respecto al recolección de agua de lluvia son casi nulas, no requiere tantos permisos, como su contra parte el agua subterránea, en este caso solo se requiere tramitar el permiso ambiental para actividades, obras y/o proyectos que se gestiona con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

- **Propiedades del Agua**

Generalmente el agua que almacenan las nubes es limpia debido que cuando el agua se evapora no transporta químicos, sin embargo las emisiones de gases que se producen y acumulan en el aire puede mezclarse y crear lluvia acida llevando compuestos como el ácido nítrico y ácido sulfúrico, debido a que San Miguel de Mercedes este retirado de zonas industriales e incluso ciudades no percibe esta problemática.

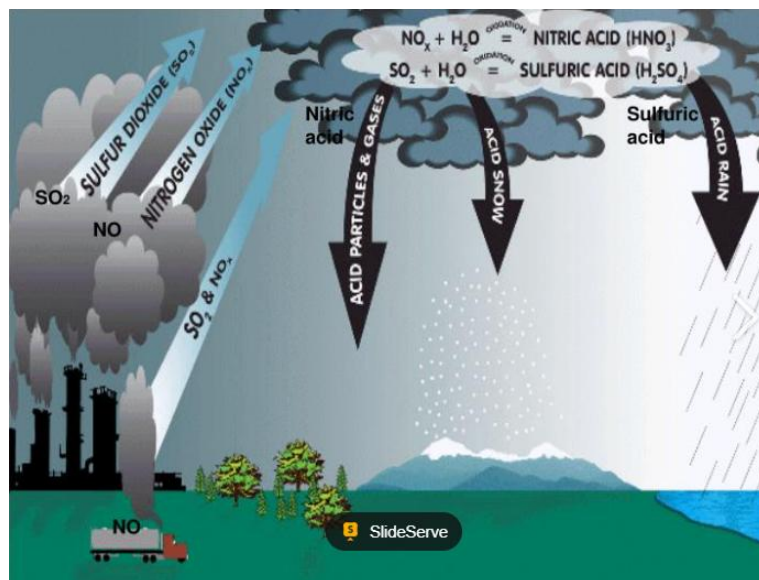


Figura 28. Esquema general de la creación de lluvia acida.

- **Margen Económico**

Se incurrirá en 2 gastos, el primero en obra civil, la cual será la encargada de guiar el agua de lluvia y almacenarla en un tanque, y el segundo es un costo de oportunidad, ya que la obra civil cubrirá terreno que puede ser utilizado para árboles frutales

## **2.4. MATRIZ DE DECISIÓN DE FUENTE DE AGUA**

Con todo lo anterior planteado se necesita una herramienta que facilite la elección de la fuente de agua, es así como se presenta la siguiente matriz de decisión para el tipo de fuente de agua a utilizar, la puntuación es en base a 10, la fuente de agua con la calificación más alta es la seleccionada. El peso indica la importancia que tiene el factor la suma de los pesos para todos los factores es igual a 1.

Con los resultados obtenidos de la “tabla 2. Matriz de Decisión de Fuente de Agua. Elaboración: propia.” se opta por la utilización de la fuente de agua subterránea.

Tipo de Fuente de Agua		Potable		Pluvial		Subterránea	
Factor	Peso	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada
Menor costo	0.15	8	1.2	6	0.9	6	0.9
Margen legal	0.30	1	0.3	9	2.7	8	2.4
Disponibilidad	0.15	7	1.05	5	0.75	10	1.5
Menor costo de mantenimiento	0.10	8	0.8	8	0.8	8	0.8
Vida útil	0.10	9	0.9	9	0.9	9	0.9
Facilidad de obtención	0.20	9	1.8	5	1	5	1
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>6.05</b>		<b>7.05</b>		<b>7.5</b>

Tabla 1. Matriz de Decisión de Fuente de Agua. Elaboración: propia.

## **CAPÍTULO 3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL CIRCUITO HIDRÁULICO**

### **3.1. DISEÑO AGRONÓMICO**

Las instituciones gubernamentales que rigen las consideraciones y factores a utilizar en esta sección son: CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales), MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y el Comité Regional de Recursos Hidráulicos

#### **3.1.1. METODO DE RIEGO**

El método de riego seleccionado es el riego por goteo, tal como se muestra en la matriz de decisión tabla 3, priorizamos que el aprovechamiento del agua sea el factor con mayor peso, ya que este es el recurso menos abundante en contraste con los demás.

Método de riego		Gravedad		Aspersores		Goteo	
Factor	Peso	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada
Menor costo	0.15	8	1.2	6	0.9	6	0.9
Eficiencia de riego	0.4	4	1.6	6	2.4	10	4
Facilidad de Instalación	0.15	7	1.05	10	1.5	5	0.75
Menor costo de mantenimiento	0.1	8	0.8	8	0.8	8	0.8
Vida útil	0.1	5	0.5	9	0.9	9	0.9
Facilidad de obtención	0.1	10	1	8	0.8	7	0.7
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>6.15</b>		<b>7.3</b>		<b>8.05</b>

Tabla 2. Matriz de Decisión método de riego

### **3.1.2. GENERALIDADES**

El riego por goteo consiste en la aplicación diaria del agua en formas de gotas continuas, en la cantidad requerida obtenida en el cálculo de la Evotransporación Potencial ( $ET_p$ ) en el área cubierta por las raíces, formando un bulbo húmedo cuya distribución depende de la textura del suelo y del caudal utilizando principalmente. Cuando son cultivos frutales, se instalan varios emisores de caudales altos, del orden de 8 litros por minuto o más, que establecen un bulbo húmedo en el área dominada por las raíces.

Debido a que los emisores están conformados por agujeros muy pequeños, es de vital importancia el uso de filtros con rangos mayores a 120 Mesh, para evitar problemas de obstrucción.

El riego por goteo se caracteriza porque requiere bajas presiones para operar, en un rango de 5 a 10 m, la eficiencia es sumamente alta, superior al 90%, y se aplica solamente el agua que se evotranspira diariamente, según el resultado de aplica alguna fórmula empírica como Hargreaves o Blanney Cliddle, afectada por el coeficiente  $K_c$  del cultivo.

Sus características principales son: se humedece solamente una porción del suelo, los caudales utilizados son pequeños y la aplicación del agua se hace con una alta frecuencia, normalmente en forma diaria.

### **3.1.3. COMPONENTES**

Un sistema de riego localizado o por goteo está conformado básicamente por los siguientes elementos:

- Cabezal: accesorios que sirven para medir, filtrar, verificar presión e inyectar fertilizantes.
- Red de distribución: sirve para llegar el agua desde el cabezal hasta la plantación por medio de la red primaria y de distribución o secundaria, a partir de la cual se desprenden los laterales que distribuyen el agua a las plantas por medio de los emisores.
- Emisores: se encuentran en los laterales y son los que entregan el agua a las plantas.

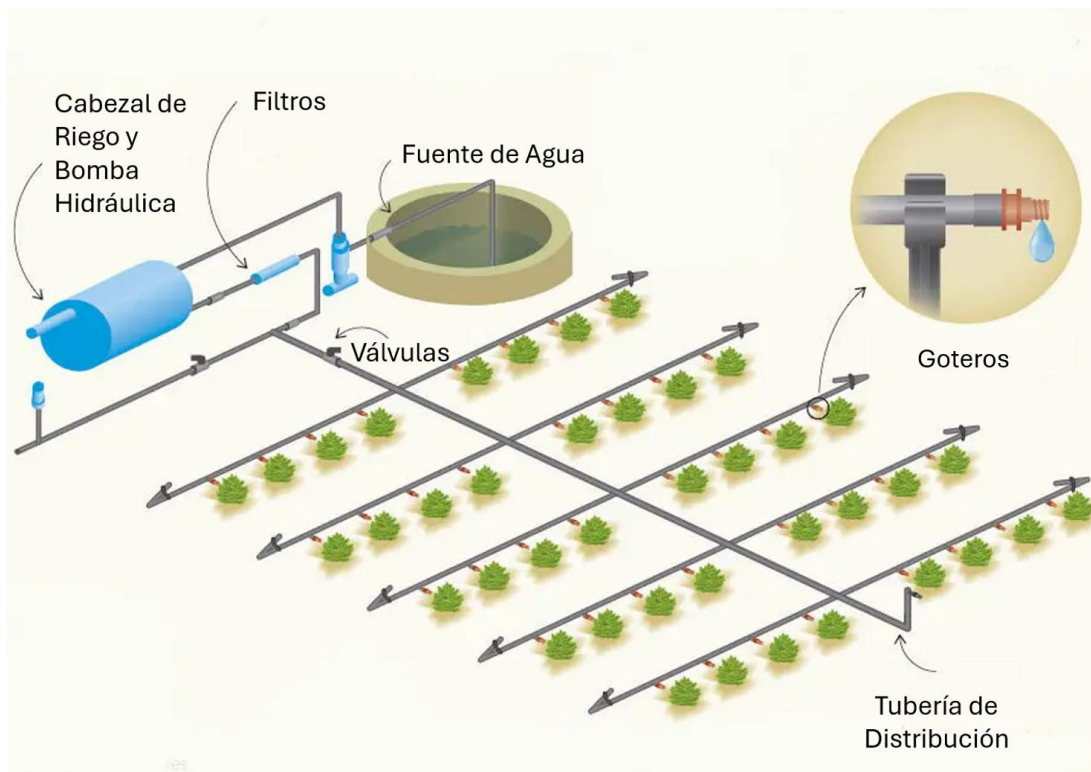


Figura 29. Componentes principales de un sistema de goteo, Fuente: Gestiriego, 2016.

### 3.2. DISEÑO AGRONÓMICO PARA CULTIVO DE HUERTAS DE PLÁTANO

El diseño agronómico consiste en determinar los parámetros requeridos para que el manejo del riego a nivel de terreno que satisfaga las necesidades de los cultivos como lo son la distribución y riego en todas sus etapas, considerando la dosis,

frecuencia y duración del riego, según número de goteros y caudal. Para ello se deben determinar una serie de parámetros a nivel de campo, que, en ausencia, se utilizan fórmulas o tablas con información que se ha recopilado durante mucho tiempo.

La forma del terreno se muestra en Figuras 31 y Figura 32, en donde se observa su perímetro y como este se divide en terrazas de superficies planas a conveniencia para la siembra de cultivos varios.

El tema del trabajo de aplicación sugiere el diseño de un sistema de bombeo solar fotovoltaico orientado para el riego de árboles frutales sin embargo, a petición del propietario, se realizarán los cálculos pertinentes para el cultivo de huertas de plátano; si bien las huertas de plátano no son consideradas árboles frutales, su distribución de siembra es similar pero teniendo un consumo mayor de agua (como se verá en cálculos de secciones posteriores) y por lo tanto, suplir la demanda de agua de las huertas de plátano es una condición crítica.

Adicional a lo anterior, la siembra de huertas de plátano y de árboles frutales, tales como, guayabos, marañones y algunos cítricos, tienen las mismas características de distribución de siembra, la cual se sugiere con un distanciamiento de 3.0 x 3.0 metros, como lo especifican cada una de las guías técnicas de cultivo que presenta el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA)

Por lo antes expuesto, se justifica el diseño del sistema de bombeo solar fotovoltaico para huertas de plátano debido a un mayor consumo de agua e igual distribución de siembra.

La distribución por utilizar es la distribución de siembra en cuadro esta se muestra en la página 12 de la guía técnica del cultivo de plátano presentada por el CENTA, esta es la distribución usada por los dueños del terreno únicamente en terraza 1 y terraza 2 en temporada de lluvia años atrás, se utilizará una distribución o densidad de siembra en cuadro, de 3.0 x 3.0 metros.

En la figura 33, se observa la distribución del cultivo sobre las terrazas, con un total de 101 plantas distribuidas en las 4 terrazas destinadas a siembra de huertas de plátano. Esta distribución no presenta problemas de sombra ya que la pendiente de terrazas está orientada hacia el sur, y sumado a esto se sigue la recomendación del CENTA del espaciamiento de 3 metros entre plantas, esto da como resultado que no se obtendrán inconvenientes por sombras generadas por forma del terreno y entre las huertas mismas ya que se respeta la distribución propuesta, esto es confirmado por el propietario Arturo Quintanilla quien nos indicó que en la siembra de huertas en la terraza 1 y 2 que son las de menor altitud, siempre han gozado de sol desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm.

El ciclo del plátano es descrito a detalle por medio de la guía técnica de cultivo de plátano proporcionado por CENTA, la huerta cuenta con 3 fases.

- Fase vegetativa: tiene una duración de 6 meses y es donde en su inicio ocurre la formación de raíces principales y secundarias, desarrollo de pseudotallo e hijos, Ocurre desde la emisión de raíces hasta los 6 meses después, formando raíces principales y secundarias, alcanzando hasta 4 metros en forma horizontal, las raíces se ramifican en secundarias y emiten

pelos absorbentes, estas se localizan entre 20-25 cm de la base de la planta a una profundidad de 10-15 cm

- Fase floral: tiene una duración aproximada de tres meses a partir de los 6 meses de la fase vegetativa. El tallo floral se eleva del cormo a través del pseudotallo y es visible hasta el momento de la aparición de la inflorescencia, en este momento falta que se desarrollen de 10-12 hojas
- Fase fructificación: tiene una duración aproximada de tres meses y ocurre después de la fase floral, en esta fase se diferencian las flores masculinas y las flores femeninas (dedos). Hay una disminución gradual del área foliar y finaliza con la cosecha. El tiempo desde el inicio de la floración a la cosecha del racimo es de 81 a 90 días, en esta fase los factores adversos solo influyen en el tamaño de los frutos, la cantidad de frutos fue dada en las dos fases anteriores. Los factores adversos que influyen son la sequía, la defoliación, las bajas temperaturas, la luz y el viento.

Luego de cumplida estas fases en la huerta sembrada, se procede a la corta, la corta de esta no representa un problema en la distribución del sistema hidráulico destinado al riego de las huertas ya que como se muestra en la figura 28, al momento que madura y entrega el fruto, un nuevo brote llamado hijo, crece justo al lado del tallo principal, este hijo será ahora el que dará el nuevo fruto repitiendo el ciclo nuevamente.

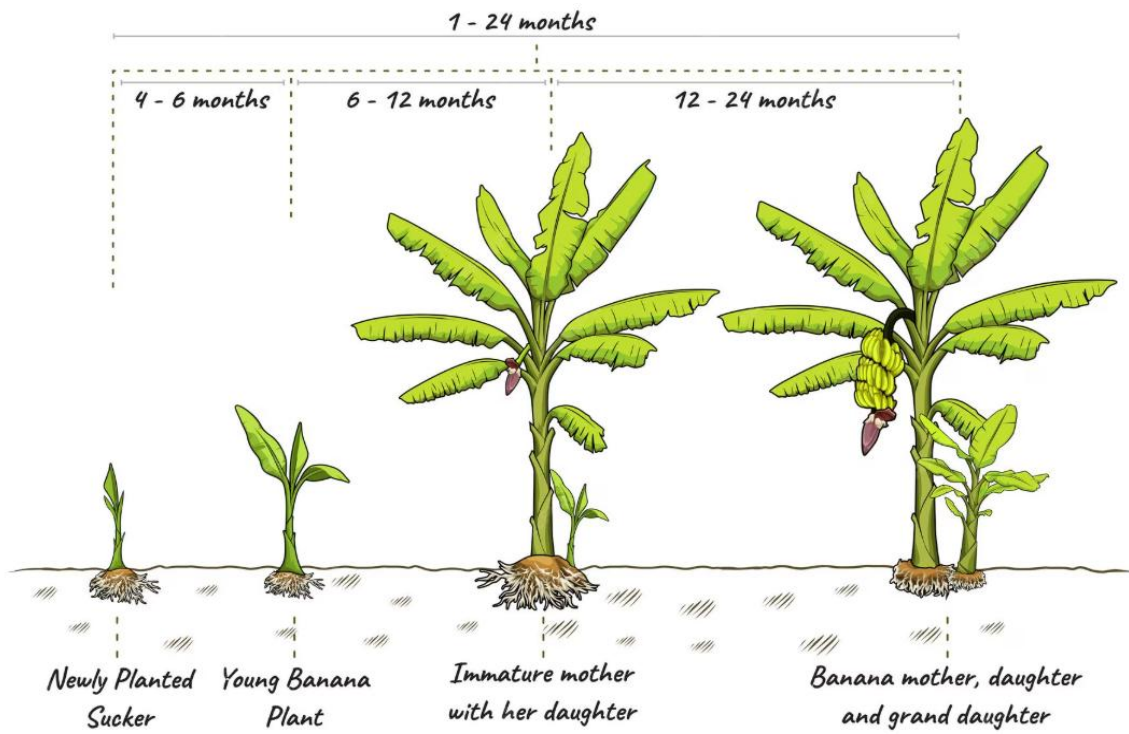
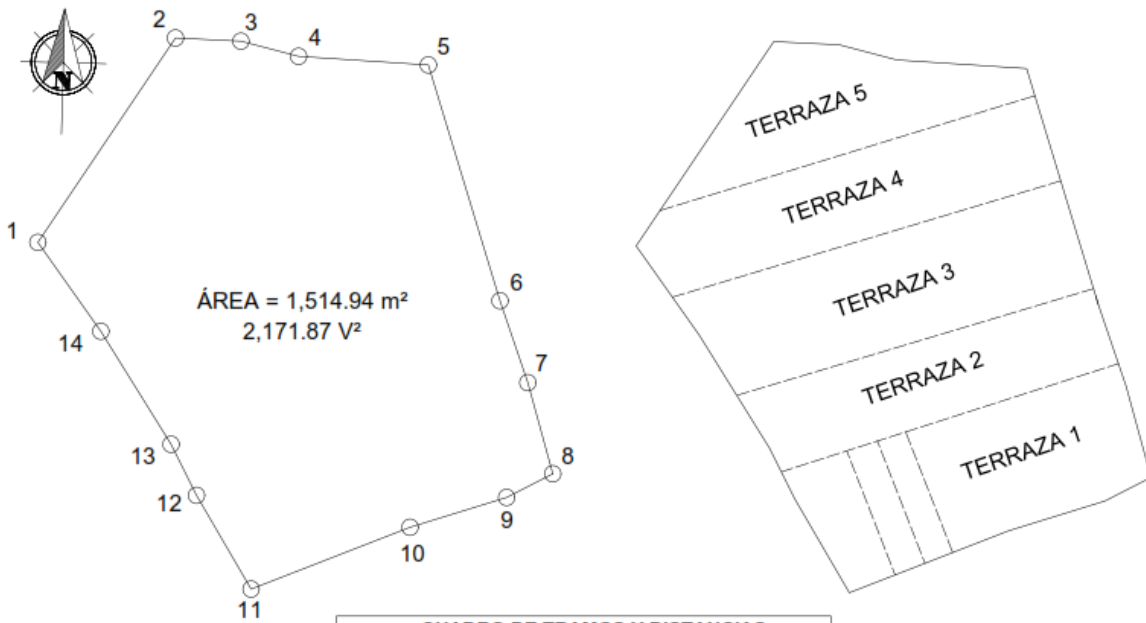


Figura 30. Ciclo de vida de la huerta de plátano. Fuente: CENTA.

**PERÍMETRO DEL TERRENO**

**DISTRIBUCIÓN EN TERRAZAS**



CUADRO DE TRAMOS Y DISTANCIAS		
TRAMO	RUMBO	DISTANCIA
1 - 2	N 34° 06' 29" E	22.55
2 - 3	S 89° 57' 34" E	6.00
3 - 4	S 77° 57' 46" E	5.46
4 - 5	S 88° 33' 30" E	11.90
5 - 6	S 15° 00' 28" E	22.56
6 - 7	S 17° 09' 36" E	7.91
7 - 8	S 13° 36' 13" E	8.65
8 - 9	S 61° 55' 33" W	4.75
9 - 10	S 71° 06' 59" W	9.25
10 - 11	S 67° 38' 14" W	15.65
11 - 12	N 29° 05' 17" W	9.47
12 - 13	N 25° 23' 49" W	5.22
13 - 14	N 30° 41' 36"	12.17
14 - 1	N 34° 13' 23" W	9.98
ÁREA = 1,514.94 m <sup>2</sup> 2,171.87 V <sup>2</sup>		

Figura 31. Perímetro del terreno y distribución de terrazas. Fuente: Propia.

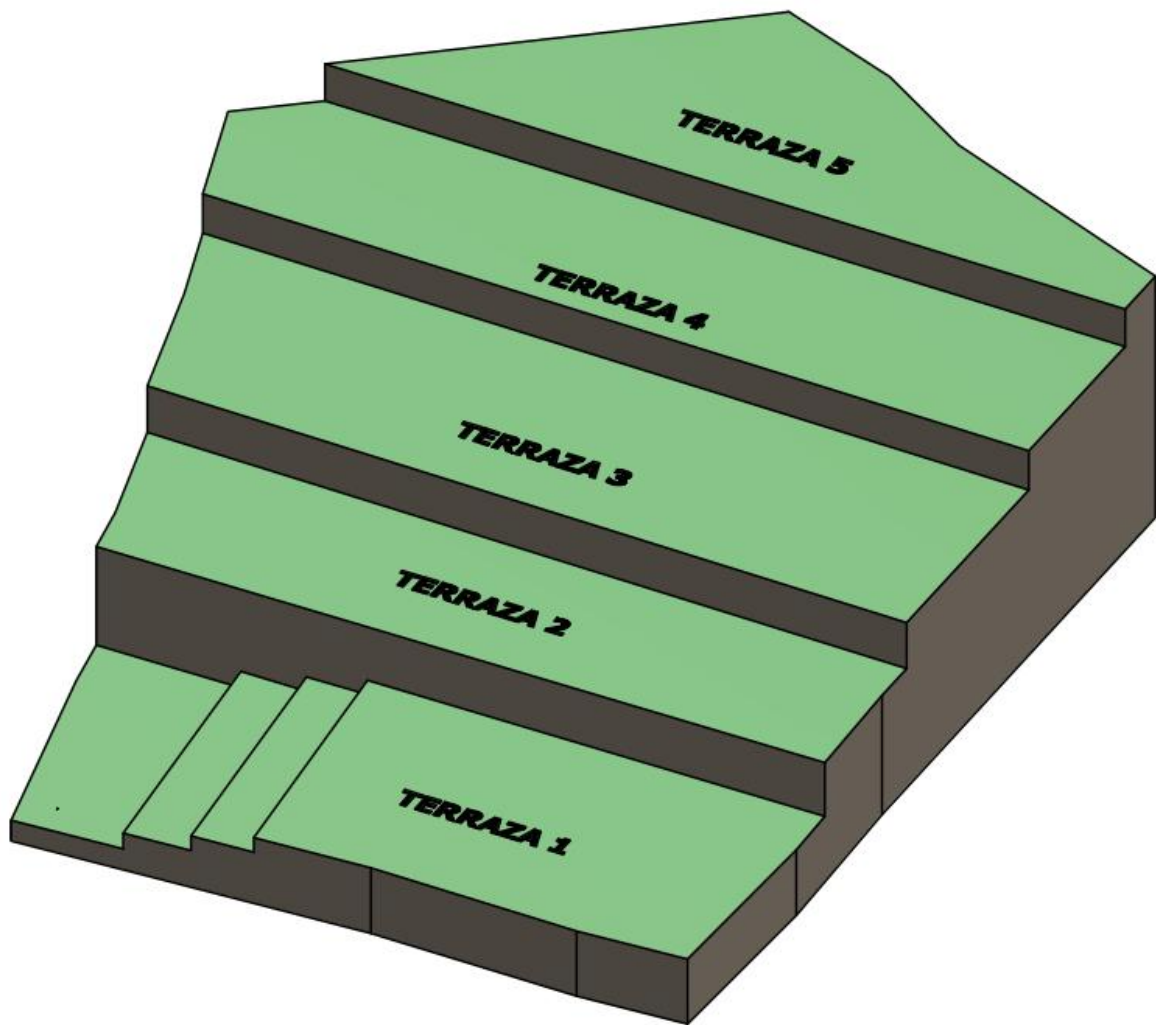


Figura 32. Isométrico de terreno.

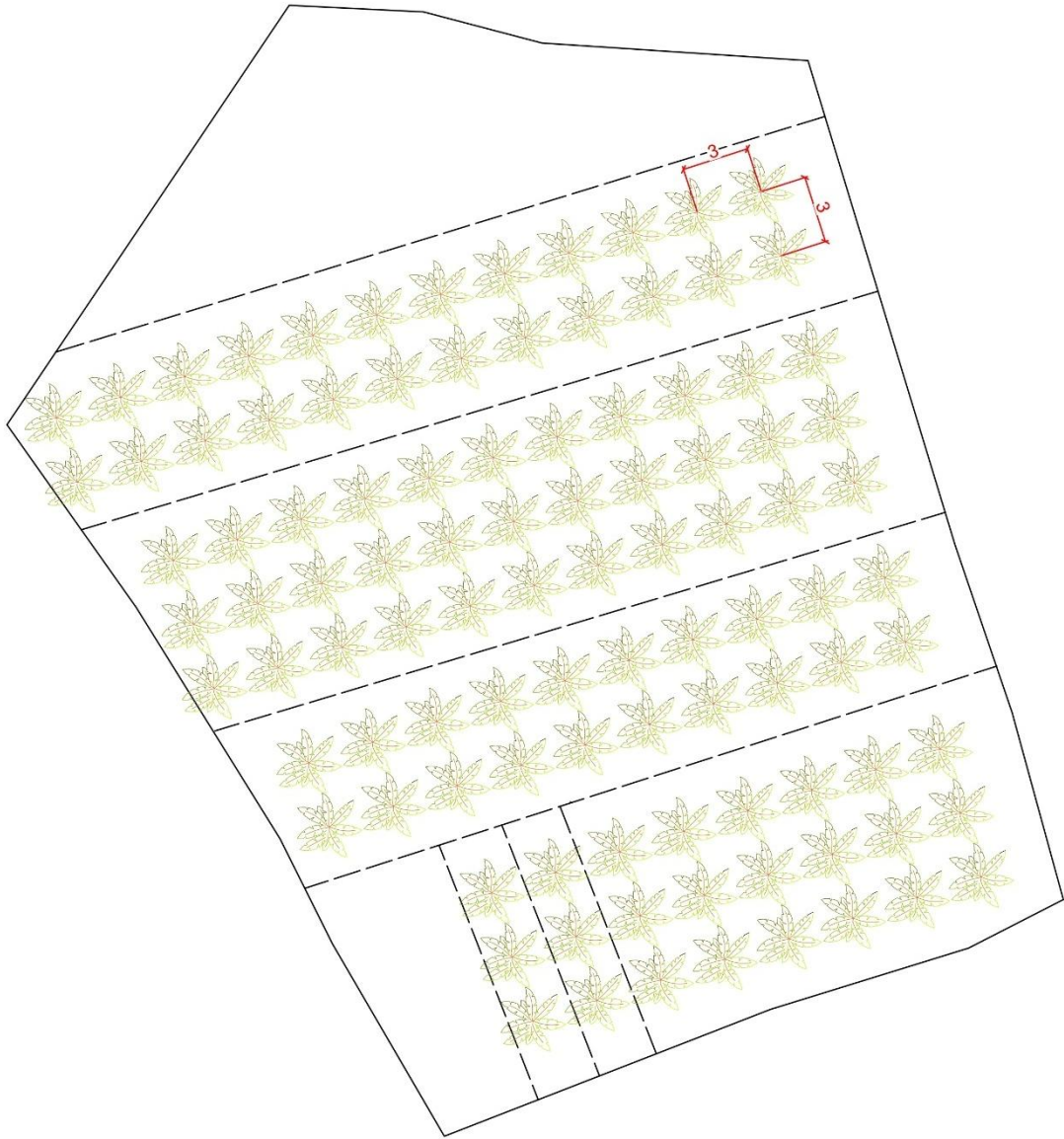


Figura 33. Densidad de Siembra de Huertas de Plátano.

### **3.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

El término evapotranspiración involucra los conceptos de evapotranspiración de referencia , evapotranspiración de cultivo y evapotranspiración real, los cuales son explicados a continuación.

#### ***3.2.1.1. Evapotranspiración de Referencia***

La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como referencia (gramíneas o pastos), debido a condiciones climáticas. Es definida como “la evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua”. Generalmente es simbolizada en los textos como  $ET_0$ . Su determinación se realiza a partir de datos climáticos, empleando diferentes fórmulas empíricas, cuya elección para el cálculo depende básicamente del tipo de datos climáticos disponibles en la zona. Las fórmulas más utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman-Montheith, Hargraves, Blaney-Cridde, entre otras, las cuales han sido calibradas localmente en algunos sitios.

En El Salvador, aunque no se ha calibrado ninguna de las fórmulas mencionadas, si se realizó en el año 1980 una evaluación de diferentes fórmulas para el cálculo de  $ET_0$ , con relación a la fórmula de Penman, la cual fue considerada como patrón de referencia debido a la gran cantidad de parámetros climáticos que involucra. De acuerdo con los resultados obtenidos, la fórmula de Hargreaves presentó los resultados más cercanos a la fórmula de referencia. Dado que la fórmula de Hargreaves utiliza menos parámetros para el cálculo de la  $ET_0$ , que la de Penman

y por su correlación con los resultados de esta última, la evapotranspiración de referencia que se calcula por parte del Servicio Meteorológico Nacional del SNET, se hace a través de la fórmula de Hargreaves, la cual involucra temperatura, radiación solar y humedad relativa.

### **3.2.1.2. Evapotranspiración de Cultivo**

La evapotranspiración de cultivo es aquella que se produce cuando no existe ninguna restricción de agua en el suelo y depende de las condiciones de los cultivos tales como sus características, el ritmo de desarrollo de las plantas (período vegetativo) y las condiciones climáticas de temperatura, viento y humedad relativa.

Para tener en cuentas los efectos de las características del cultivo sobre las necesidades de agua, se han desarrollado unos Coeficientes de Cultivo  $K_C$ , los cuales relacionan la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  con la evapotranspiración de cultivo  $ET_C$ , y representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas, que produzca rendimientos óptimos.

La evapotranspiración de cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ET_C = K_C \cdot ET_0$$

Donde:

$ET_C$  = Evapotranspiración de Cultivo en mm/día

$ET_0$  = Evapotranspiración de Referencia en mm/día

$K_C$  = Coeficiente de Cultivo (adimensional)

### 3.2.1.3. Evapotranspiración Real

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

### 3.2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA EN EL SALVADOR

Para determinar la evapotranspiración de referencia se presenta la tabla 3 con ecuaciones de correlación entre las variables de altitud – evapotranspiración de referencia (calculadas a partir del método de Hargreaves).

MES	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN
Enero	$ET_0 = (-7 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.017 \cdot Z + 152.95$
Febrero	$ET_0 = (-8 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0164 \cdot Z + 156.04$
Marzo	$ET_0 = (-1 \cdot 10^{-5}) \cdot Z^2 - 0.0171 \cdot Z + 190.42$
Abril	$ET_0 = (-9 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0202 \cdot Z + 194.52$
Mayo	$ET_0 = (-7 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0237 \cdot Z + 189.89$
Junio	$ET_0 = (-7 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0181 \cdot Z + 165.79$
Julio	$ET_0 = (-9 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0127 \cdot Z + 175.28$
Agosto	$ET_0 = (-8 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0122 \cdot Z + 170.12$
Septiembre	$ET_0 = (-8 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0126 \cdot Z + 150.42$
Octubre	$ET_0 = (-1 \cdot 10^{-5}) \cdot Z^2 - 0.0094 \cdot Z + 149.56$
Noviembre	$ET_0 = (-9 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0119 \cdot Z + 142.18$
Diciembre	$ET_0 = (-7 \cdot 10^{-6}) \cdot Z^2 - 0.0168 \cdot Z + 144.91$

Tabla 3. Ecuaciones de correlación Altitud-Evapotranspiración de Referencia. Fuente: SNET.

### 3.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO PARA HUERTA DE PLÁTANO EN EL SALVADOR.

Se tienen en cuenta los Coeficientes de Cultivos  $K_c$  de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), para los diferentes tipos de usos de suelo del país, de acuerdo con condiciones de desarrollo vegetativo y condiciones climáticas, con lo que se asignan valores a nivel mensual para cada tipo de uso de suelo, valores cuya función es la determinación de la evapotranspiración de cultivo a partir de la evapotranspiración de referencia. Para el caso de cultivo de árboles frutales, platanales y bananeras:

<b>MES</b>	<b>COEFICIENTE DE CULTIVO DE PLATANALES Y BANANERAS <math>K_c</math></b>	<b>COEFICIENTE DE CULTIVO DE ÁRBOLES FRUTALES <math>K_c</math></b>
Enero	0.55	0.6
Febrero	0.55	0.6
Marzo	0.55	0.6
Abril	0.65	0.6
Mayo	0.7	0.6
Junio	0.85	0.6
Julio	0.95	0.6
Agosto	1	0.6
Septiembre	1	0.6
Octubre	1	0.6
Noviembre	1	0.6
Diciembre	0.95	0.6

Tabla 4. Coeficientes de Cultivo para Platanales y Bananeras. Fuente: SNET.

### 3.2.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO (SAN MIGUEL DE MERCEDES)

A partir de los datos mencionados anteriormente y haciendo uso de una hoja de cálculo se calculó un valor promedio de evapotranspiración:

MES	EVOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA [mm/mes]	EVOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA [mm/día]	COEFICIENTE DE CULTIVO $K_c$ [ÁRBOLES FRUTALES]	EVOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO [mm/día]
ENERO	152.95	4.93	0.6	2.96
FEBRERO	156.04	5.57	0.6	3.34
MARZO	190.42	6.14	0.6	3.69
ABRIL	194.52	6.48	0.6	3.89
MAYO	186.89	6.03	0.6	3.62
JUNIO	165.79	5.53	0.6	3.32
JULIO	175.28	5.65	0.6	3.39
AGOSTO	170.12	5.49	0.6	3.29
SEPTIEMBRE	150.42	5.01	0.6	3.01
OCTUBRE	149.56	4.82	0.6	2.89
NOVIEMBRE	142.18	4.74	0.6	2.84
DICIEMBRE	144.91	4.67	0.6	2.80
PROMEDIO				3.25

MES	EVOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA [mm/mes]	EVOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA [mm/día]	COEFICIENTE DE CULTIVO $K_c$ [PLATANO]	EVOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO [mm/día]
ENERO	143.37	4.62	0.55	2.54
FEBRERO	146.52	5.23	0.55	2.88
MARZO	180.12	5.81	0.55	3.20
ABRIL	182.98	6.10	0.65	3.96
MAYO	174.14	5.62	0.7	3.93
JUNIO	155.69	5.19	0.85	4.41
JULIO	167.28	5.40	0.95	5.13
AGOSTO	162.58	5.24	1	5.24
SEPTIEMBRE	142.69	4.76	1	4.76
OCTUBRE	144.90	4.67	1	4.67
NOVIEMBRE	134.56	4.49	1	4.49
DICIEMBRE	135.42	4.37	0.95	4.15
PROMEDIO				4.11

Tabla 5. Evapotranspiración de Cultivo para Árboles Frutales y Platanales. Fuente: Propia.

### 3.2.5. SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

#### *Emisor Seleccionado*

Para el diseño del sistema de riego por goteo es necesario seleccionar un emisor o gotero con un caudal específico y en base a sus especificaciones técnicas determinar las demás características del sistema de irrigación.

Se propone el uso del gotero de la marca TORO modelo TURBO-KEY: AUTOCOMPENSADO DPJ08-A con las siguientes características técnicas:

CONCEPTO	VALOR	MAGNITUD
Caudal nominal	8.0	l/h
Rango de presión recomendado	0.7 - 3.5	Bar
Requisito de filtrado mínimo (Mesh)	140	-

Tabla 6. Especificaciones técnicas del gotero seleccionado.

Presión		DPJ02-A		DPJ04-A		DPJ08-A	
psi	bar	gph	lph	gph	lph	gph	lph
5	0.34	0.42	1.60	0.73	2.75	1.41	5.34
10	0.69	0.44	1.65	0.97	3.68	1.80	6.81
15	1.03	0.47	1.78	0.96	3.62	2.00	7.57
20	1.38	0.49	1.86	0.97	3.69	2.12	8.03
25	1.72	0.50	1.91	1.00	3.79	2.15	8.14
30	2.07	0.51	1.93	1.01	3.82	2.15	8.14
35	2.41	0.51	1.91	1.01	3.82	2.11	7.99
40	2.76	0.50	1.88	1.00	3.78	2.04	7.72
45	3.10	0.49	1.84	0.98	3.71	1.95	7.38
50	3.45	0.47	1.78	0.95	3.60	1.84	6.97

Tabla 7. Comportamiento del gotero en función de la presión.

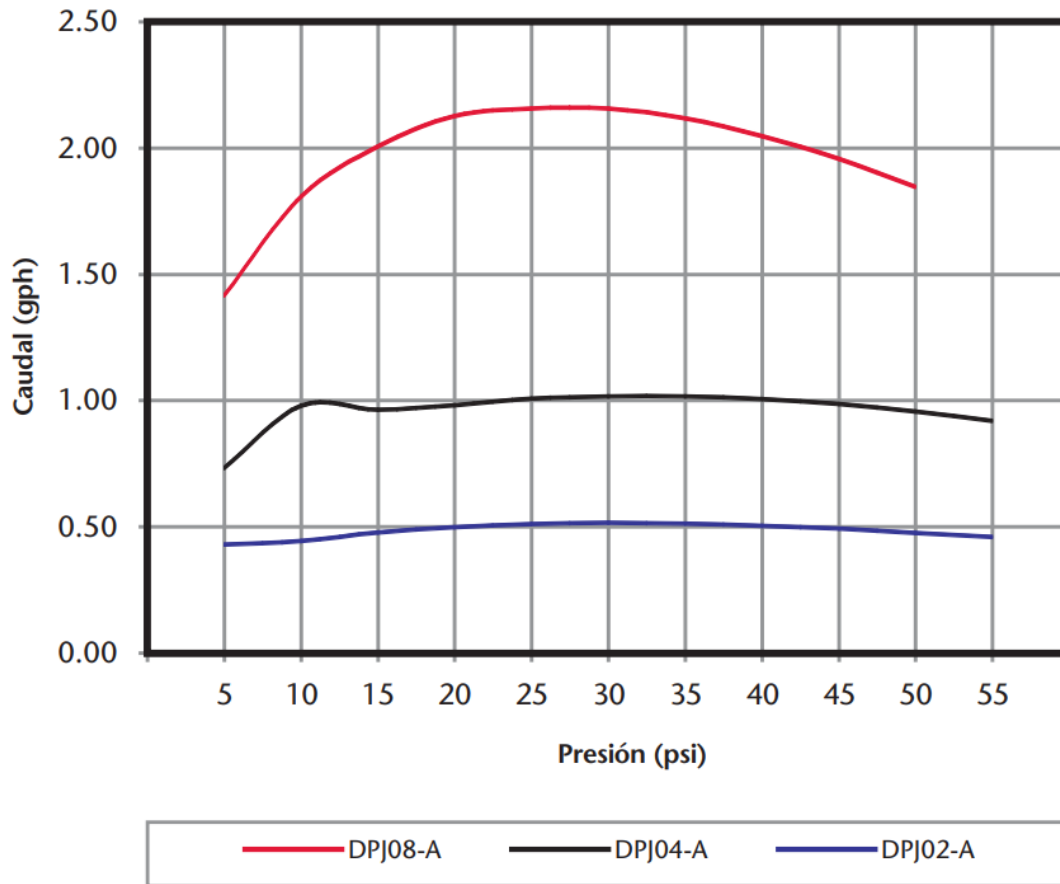


Figura 34. Curva de comportamiento del gotero, Caudal vs Presión.

En la tabla 7 y figura 34 se observa el comportamiento del emisor frente a distintas presiones de trabajo, para el caso del sistema de riego del presente proyecto, se estima conveniente utilizar una presión de trabajo de 0.34 bar o 3.47 metros de columna de agua, obteniendo de esta manera un caudal de 5.34 litros por hora.

### **Lamina Horaria**

En el sistema de riegos por goteo, la lámina horaria se refiere a la cantidad de agua aplicada por hora sobre la superficie del cultivo, expresada normalmente en milímetros por hora (mm/h).

Se determina a partir del caudal de los emisores (l/h), la densidad de emisores por superficie (número de goteros por planta o por metro cuadrado) y el área que cubren, es decir:

$$\text{Lámina horaria [mm/h]} = \frac{\text{Caudal del emisor [l/h]}}{\text{Área regada [m}^2\text{]}}$$

Siempre tomando en cuenta que 1 l/m<sup>2</sup> es igual a 1 mm de lámina de agua.

### **Superficie Por Plantar y Regar**

La superficie por regar se muestra en la figura 33, la cual tiene un área de 1218.71 m<sup>2</sup> o también 0.1219 hectáreas.

### **Caudal Requerido**

El caudal necesario para regar la superficie de plantación se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_{total} = 2.78 \times \text{Lamina Horaria} \times \text{Superficie Plantada}$$

Donde:

Lamina Horaria debe estar en mm/h

Superficie Plantada debe estar en hectáreas [ha]

### **Horas de Riego al Día**

Para determinar las horas de riego al día que necesita el cultivo, se debe relacionar la lámina horaria con la evotransporación de cultivo del lugar, de la siguiente manera:

$$\text{Horas de Riego por Día} = \frac{\text{Evotransporación}}{\text{Lamina Horaria}}$$

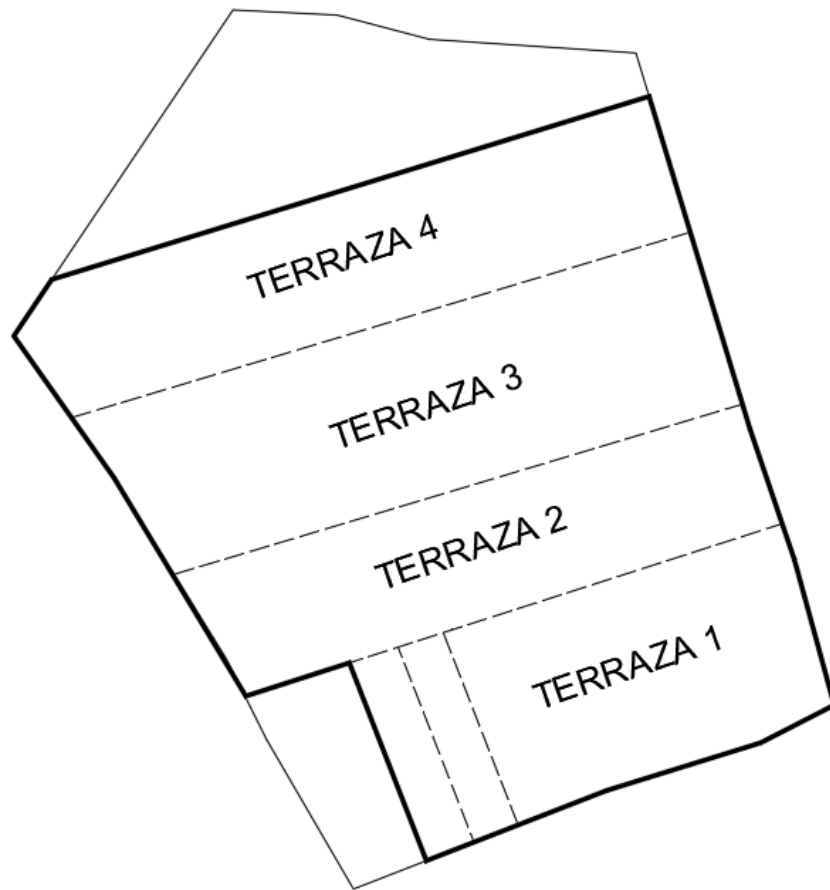


Figura 35. Superficie de siembra.

Los resultados obtenidos para el diseño agronómico se detallan en la tabla 8.

<b>DATOS DE ENTRADA (PLATANO)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>MAGNITUD</b>
Evotranspiración	4.11	mm
Separación entre Plantas	3.00	m
Separación entre Surcos	1.50	m

<b>GASTO NECESARIO (PLATANO)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>MAGNITUD</b>
Tipo de Sistema	GOTEO	
Gasto del Emisor	5.34	l/h
Separación entre Emisor	3.00	m
Separación entre Laterales	1.50	m
Lamina Horaria	1.19	mm/h
Superficie	0.12	ha
$Q_{total}$	0.40	l/s
Horas de Riego por Día	3.47	horas

<b>DATOS DE ENTRADA (ÁRBOLES FRUTALES)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>MAGNITUD</b>
Evotranspiración	3.25	mm
Separación entre Plantas	3.00	m
Separación entre Surcos	1.50	m

<b>GASTO NECESARIO (ÁRBOLES FRUTALES)</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>MAGNITUD</b>
Tipo de Sistema	GOTEO	
Gasto del Emisor	5.34	l/h
Separación entre Emisor	3.00	m
Separación entre Laterales	1.50	m
Lamina Horaria	1.19	mm/h
Superficie	0.12	ha
$Q_{total}$	0.40	l/s
Horas de Riego por Día	2.74	horas

*Tabla 8. Resultados del diseño agronómico para .*

Y con los resultados obtenidos, se comprueba lo mencionado en la sección “2.2 diseño agronómico” lo cual hace referencia a que se realizará un diseño tomando como punto crítico el consumo de agua de las huertas de plátano ya que demandan

una mayor cantidad de agua y por ende una mayor cantidad de horas de riego por día.

Además, para el diseño agronómico se plantea el circuito hidráulico de la figura 36 para alimentación de los emisores en cada uno de los cultivos.

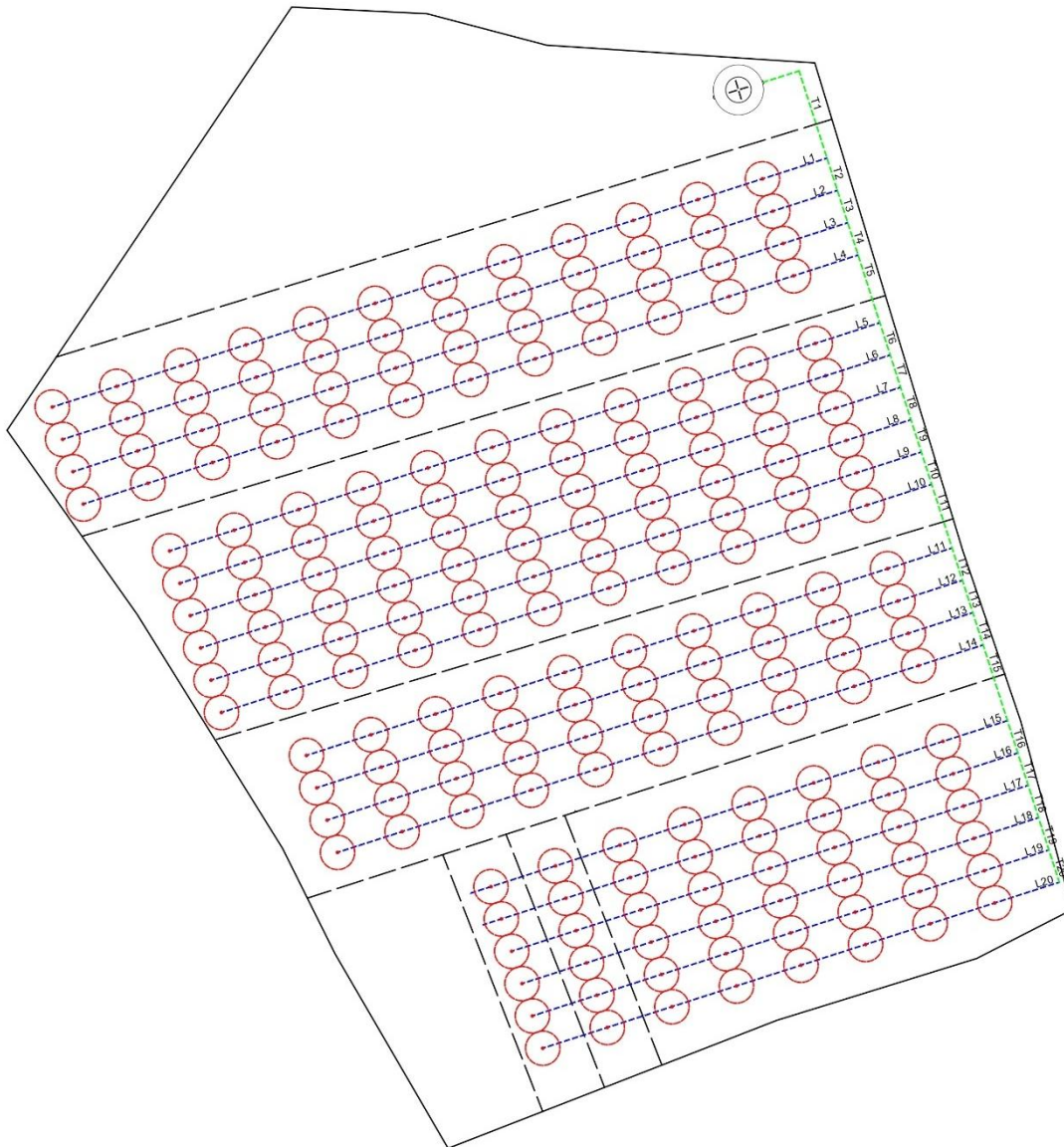


Figura 36. Distribución de circuito hidráulico y emisores/goteros en terrazas.

### 3.3. DISEÑO HIDRÁULICO (CIRCUITO HIDRAULICO DE RIEGO)

Este circuito comienza desde el lado de descarga del tanque de agua hasta el gotero, no incluye el circuito hidráulico de alimentación para tanque de agua (comprende desde la bomba sumergible en el pozo hasta la tubería de entrada del tanque de agua.) este segundo circuito hidráulico denominado circuito hidráulico de alimentación para tanque de agua se muestra más adelante.

Para los diámetros comerciales se utilizan las normas ASME B36.10M Welded and Seamless Wrought Steel Pipe e ISO 4427-2:2019 PEAD pipe.

#### 3.3.1. PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS

El cálculo de pérdidas por fricción se puede simplificar en una sola ecuación general de pérdidas de carga de la siguiente manera:

$$hf = K \frac{Q^m}{D^n} L$$

Donde:

*hf*: pérdida de carga por fricción.

*K*: involucra un coeficiente de conversión de unidades y al coeficiente de fricción que depende de la fórmula empleada para cuantificar la pérdida de carga (Manning, Hazen-Williams, Scobey, Darcy-Weisbach, entre otros).

*Q*: es el caudal que circula en la tubería desde el inicio hasta el final de esta.

*D*: es el diámetro interno de la tubería.

*m* y *n*: exponentes del caudal y del diámetro interno de la tubería, respectivamente.

**Nota:** el caudal en m<sup>3</sup>/s, longitud, pérdidas de carga y diámetro interno de la tubería en metros

Fórmula	K	m	n
Darcy-Weisbach	$0.0826 \cdot f_{D-W}$	2	5
Hazen-Williams	$10.648 \left( \frac{1}{C_{H-W}} \right)^{1.852}$	1.852	4.871
Manning	$10.3 \cdot n^2$	2	16/3
Scobey	$0.004098 \cdot K_s$	1.9	4.9

Utilizando la fórmula de Hazen-Williams:

$$hf_{H-W} = 10.648 \left( \frac{1}{C_{H-W}} \right)^{1.852} \cdot \left( \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} \right) \cdot L$$

### 3.3.2. TUBERÍAS CON SALIDAS MÚLTIPLES

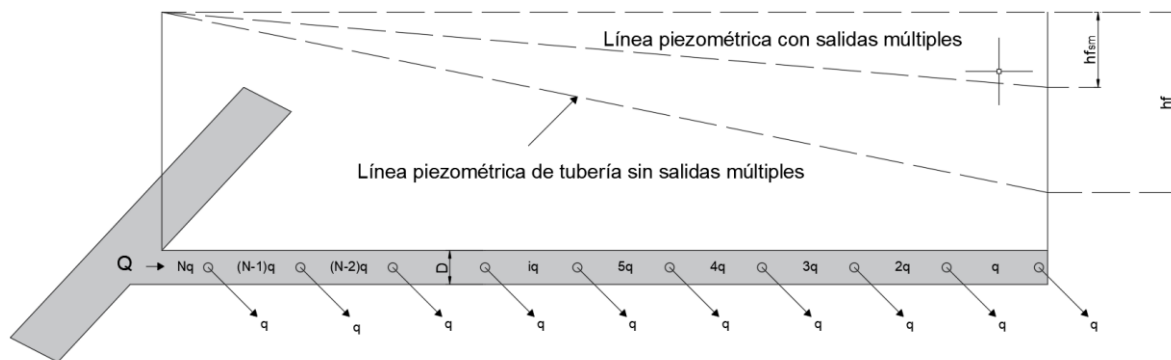


Figura 37. Tubería con salidas múltiples. Primera salida al mismo espaciamiento que los emisores. Fuente: (Montiel, et al, 2002).

En una tubería con salidas múltiples, a medida que el agua avanza, el caudal en el tubo se va reduciendo, por lo cual, la pérdida de carga por fricción en estas tuberías será de menor magnitud que la pérdida de carga en una tubería simple sin salidas con las mismas condiciones.

$$hf_s = \sum_{i=1}^n hf_i$$

A fin de evitar el lento y tedioso proceso de cálculos para cada tramo, Christiansen (1942) ideó un procedimiento por medio del cual se puede obtener un valor aproximado de la pérdida de fricción total con la siguiente ecuación:

$$hf_s = hf \cdot F$$

La pérdida por fricción en este tipo de arreglos se puede determinar calculando la pérdida de carga en una tubería ciega o simple  $[hf]$  del mismo diámetro, longitud y con el mismo gasto de entrada, multiplicando solo por un factor  $[F]$  de Christiansen

Suposiciones para el uso de la ecuación:

- La distancia entre salidas es constante.
- El caudal de cada salida es constante.
- La distancia del inicio de la tubería a la primera salida es igual al espaciamiento del resto de salidas.
- Después de la última salida el caudal es cero.
- El material y el diámetro de tubería se mantienen constantes.

Para el factor de corrección de Christiansen, se tiene:

$$F = \frac{1}{m + 1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m - 1}}{6N^2}$$

Donde:

$F$ : es el factor de salidas múltiples de Christiansen.

$N$ : es el número de salidas.

$m$ : es el exponente de gasto en la fórmula usada para calcular la pérdida por fricción.

### 3.3.3. PÉRDIDAS POR ACCESORIOS (PÉRDIDAS SECUNDARIAS)

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un accesorio (codo, válvula, expansión o contracción de flujo, entre otros), por lo general, los valores experimentales de pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia  $K$  y se calculan con la siguiente ecuación:

$$h_s = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Para el cálculo de pérdidas menores en algunos accesorios, el método para determinar el coeficiente de resistencia  $K$  es a partir de la siguiente ecuación:

$$K = \left( \frac{L_e}{D} \right) f$$

En donde,

$(L_e/D)$ : es el valor llamado relación de longitud equivalente, el valor de  $L_e$  se denomina longitud equivalente, y es la longitud de una tubería del mismo diámetro nominal que el del accesorio correspondiente, la cual presentaría la misma resistencia que este.

$D$ : es el diámetro interior real de la tubería.

$f$ : es el factor de fricción en la tubería a la que está conectado el accesorio, que se da por hecho está en la zona de turbulencia completa.

El factor de fricción se calcula dependiendo si el flujo es laminar o turbulento, esto se determina a partir del número adimensional de Reynolds, y con el criterio:

- Flujo Laminar:  $Re < 2000$
- Flujo turbulento:  $Re > 2000$

Y el Número de Reynolds se determina con la ecuación:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D\nu}$$

Para el Factor de Fricción, dependiendo el tipo de flujo:

- Para flujo laminar:

$$f = \frac{60}{Re}$$

- Para flujo turbulento:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Si la tubería estuviera hecha de un material diferente al acero comercial, nueva y limpia, es necesario calcular la rugosidad relativa  $D/\epsilon$ , en donde  $D$  es el diámetro interior real de la tubería y  $\epsilon$  es la rugosidad absoluta del material.

### **3.3.4. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO**

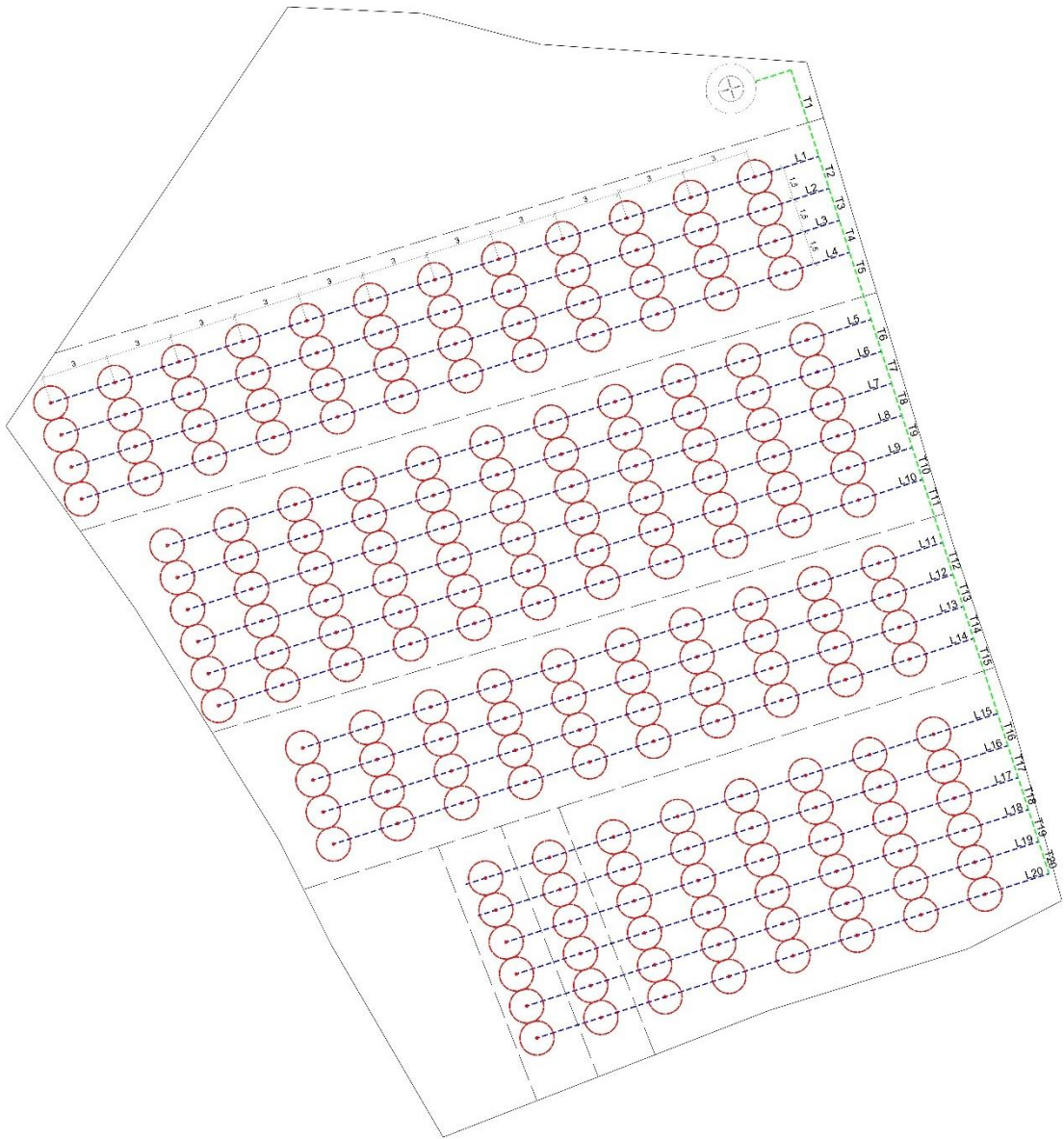
Como se mostraba en la figura 36, la distribución del circuito hidráulico y la ubicación de los emisores, el espaciamiento entre ellos y el espaciamiento entre laterales de riego son criterios de diseño acorde al método a utilizar para determinar las pérdidas en la tubería y accesorios.

En la figura 38 se muestran la selección de diámetros de tubería para el circuito hidráulico.

Para poder garantizar el suministro de presión y caudal a la red para que el sistema funcione adecuadamente, es necesario definir la demanda de presión y de caudal de todo el sistema, para determinar estas condiciones se hará uso de dos herramientas las cuales son el software de simulación EPANET y hojas de cálculo de Excel para validar los resultados obtenidos en la simulación.

### **3.3.5. SOFTWARE DE SIMULACIÓN EPANET**

EPANET es un programa informático que realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua durante un período extendido en redes de tuberías presurizadas. La red incluye tuberías, nodos (juntas de las tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET rastrea el flujo de agua de cada tubería, la presión en cada nodo, la altura del agua en cada tanque y la concentración de sustancias químicas en toda la red durante un período de simulación que comprende múltiples períodos. Asimismo, también es posible realizar una simulación de las sustancias químicas, la antigüedad del agua y el seguimiento de la fuente.



S I M B O L O G I A	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	EMISOR O GOTERO
	DEPÓSITO DE AGUA (TANQUE)
	TUBERÍA SECUNDARIA DE 1"
	TUBERÍA PRINCIPAL DE 2"

Figura 38. Circuito Hidráulico y Emisores/Goteros.

EPANET está diseñado como una herramienta de investigación para mejorar nuestra comprensión del movimiento y destino de los componentes del agua potable en los sistemas de distribución. Se puede utilizar para muchos tipos diferentes de aplicaciones en los análisis de sistemas de distribución. Entre los ejemplos, se puede mencionar el muestreo del diseño del programa, la calibración del modelo hidráulico, el análisis de cloro residual y la evaluación de la exposición del consumidor. EPANET puede ayudar a evaluar estrategias de gestión alternativas para mejorar la calidad del agua en todo un sistema. Estas pueden incluir:

- La alteración del uso de fuentes en múltiples sistemas de fuentes.
- La alteración de los cronogramas de bombeo y de llenado o vaciado de tanques.
- El uso de tratamientos satélite, como la recloración en tanques de almacenamiento.
- La limpieza y el reemplazo de tuberías específicas

***Datos de Diseño para Simulación y Hojas de Cálculo:***

$$D_{int, 2\text{ inch}} = 52.5\text{ mm} = 0.0525\text{ m}$$

$$D_{int, 1\text{ inch}} = 25.4\text{ mm} = 0.0262\text{ m}$$

Rugosidad absoluta para PVC:

$$\epsilon = 0.0015\text{ mm} = 1.5 \cdot 10^{-6}\text{ m}$$

Gotero seleccionado: Marca TORO modelo TURBO-KEY: AUTOCOMPENSADO DPJ08-A, con especificaciones mostradas en la tabla 4.



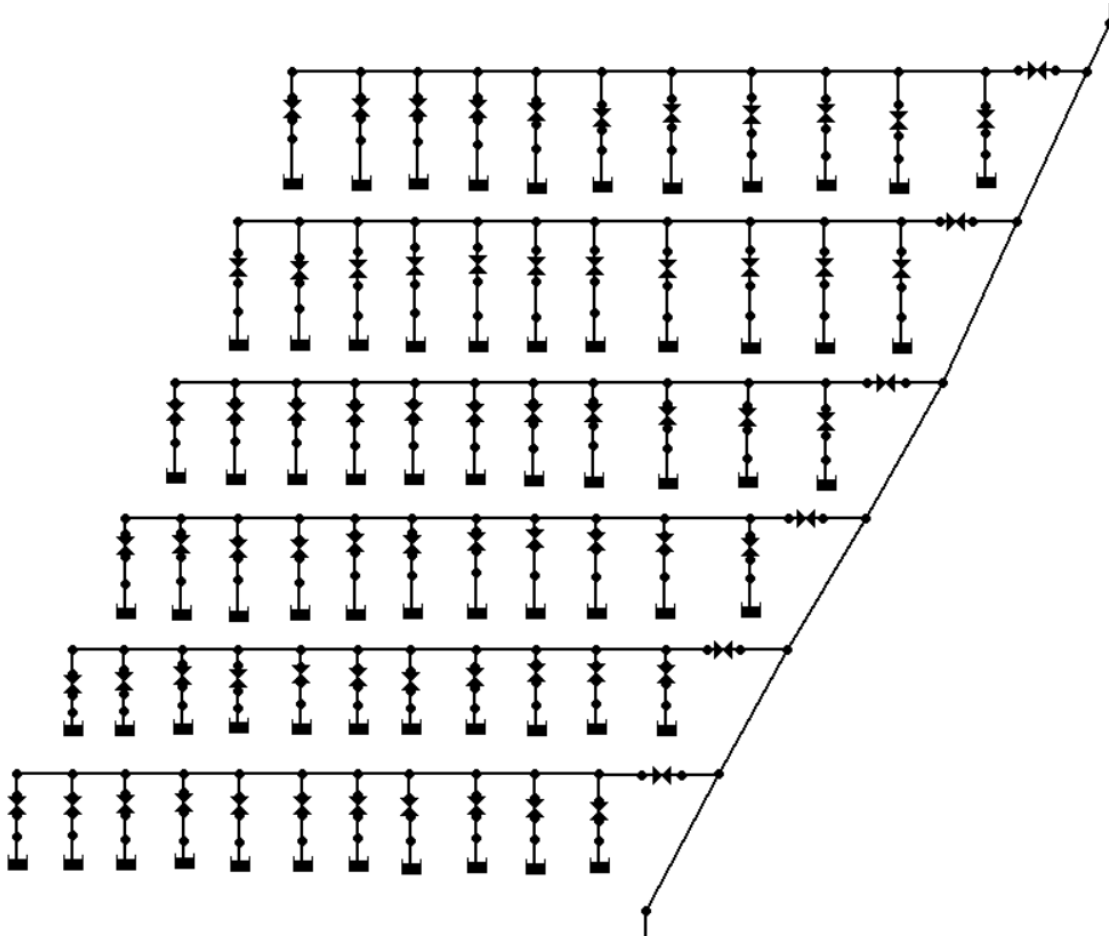


Figura 41. Circuito en EPANET en Terraza 3.

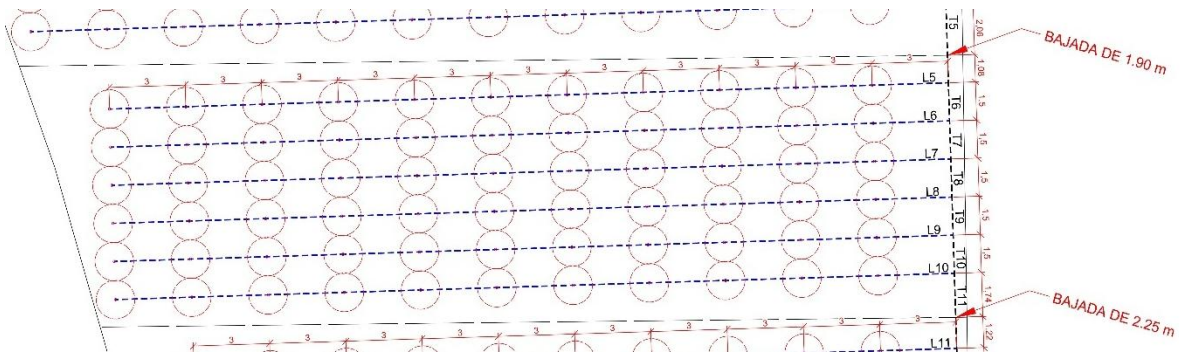


Figura 42. Distribución de Goteros en Terraza 3.

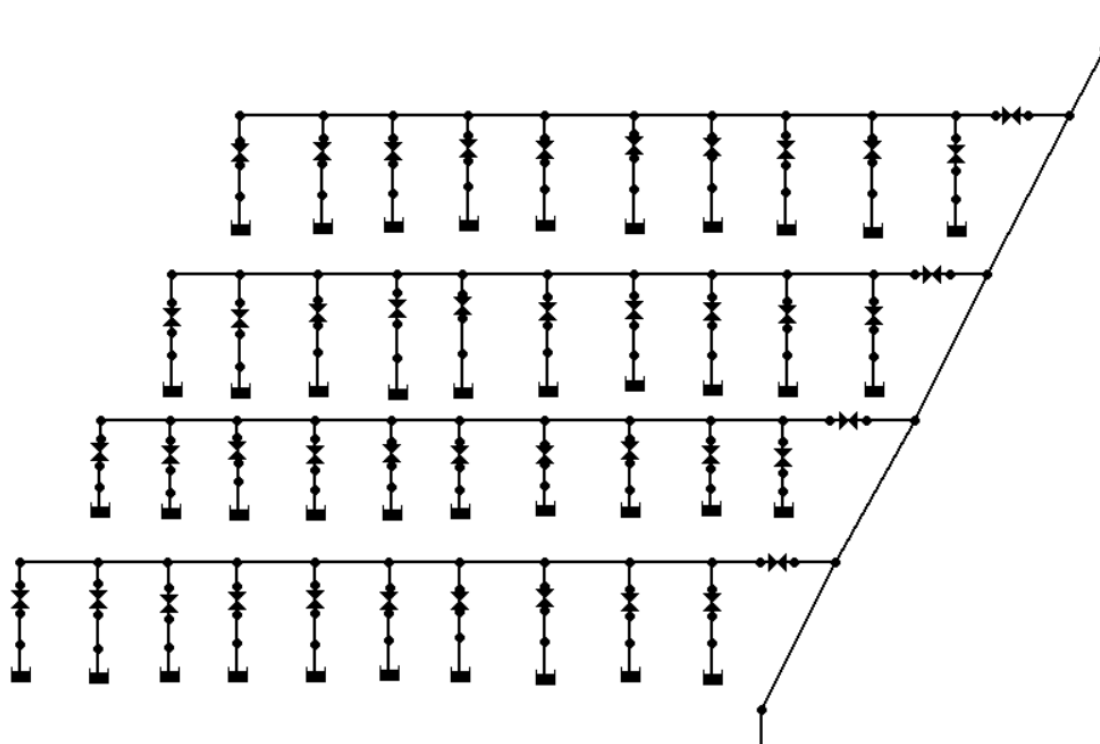


Figura 43. Circuito en EPANET en terraza 2.

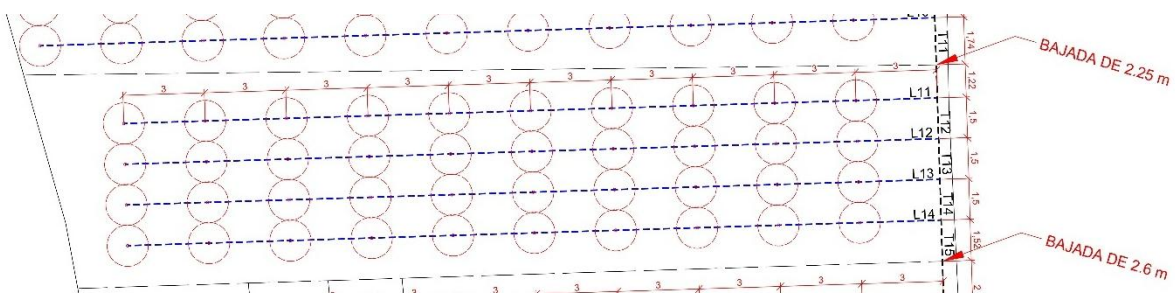


Figura 44. Distribución de Goteros en Terraza 2

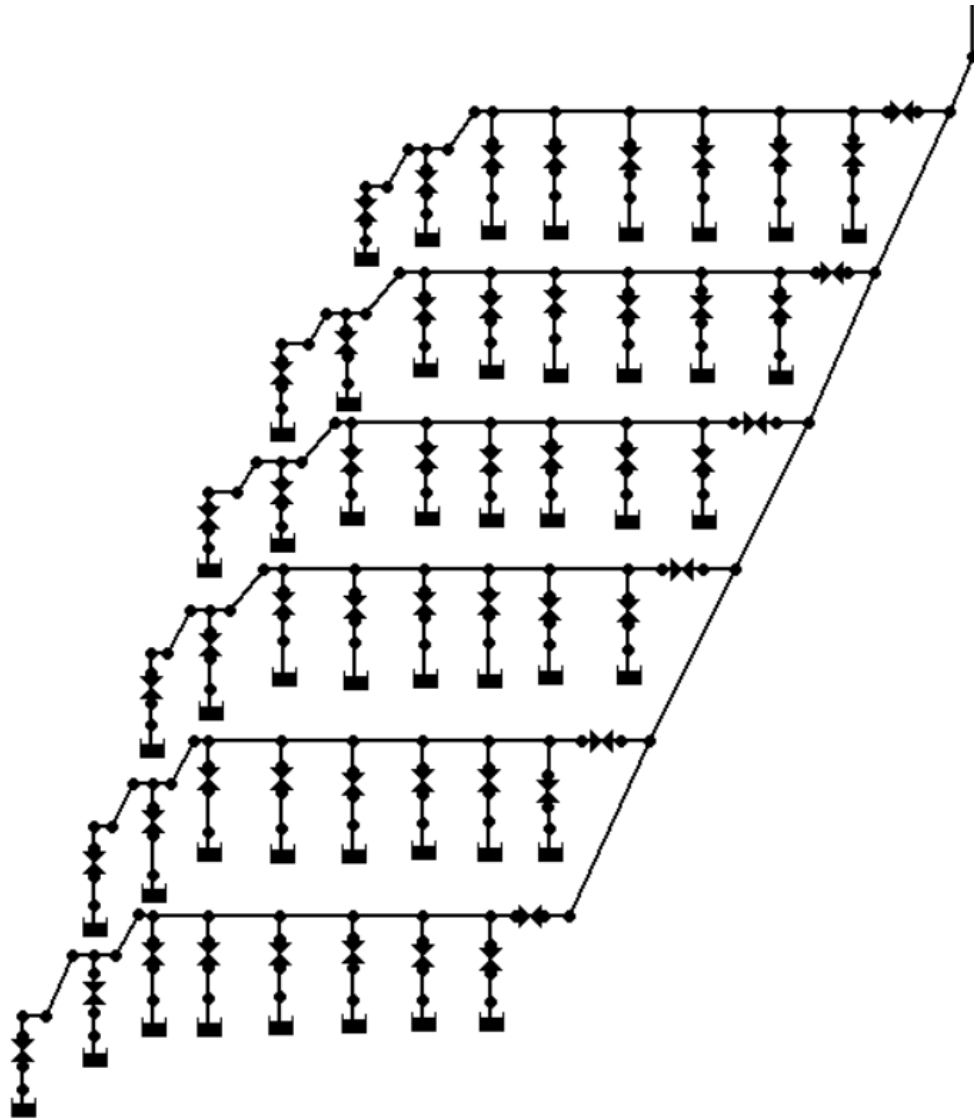


Figura 45. Circuito en EPANET en terraza 1.

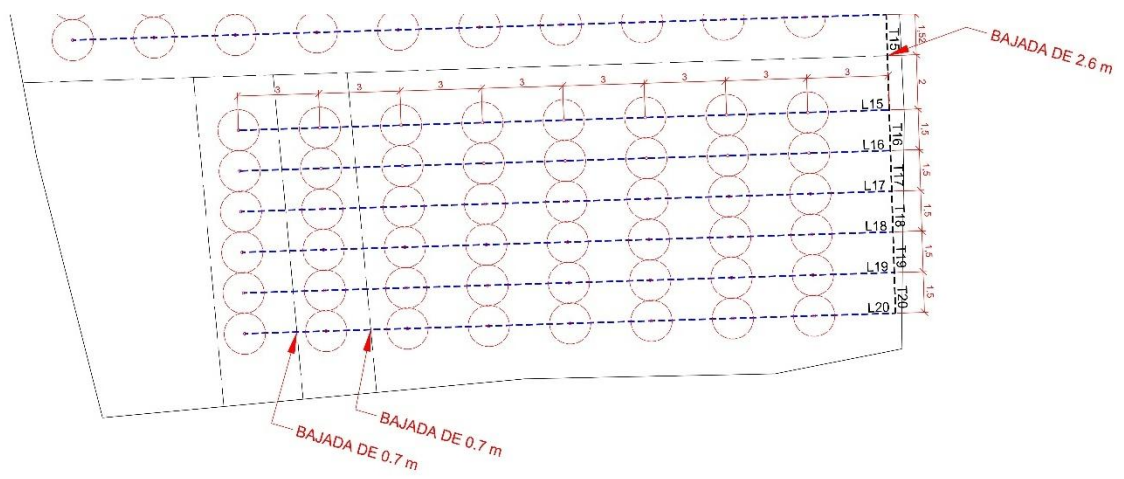


Figura 46. Distribución de Goteros en Terraza 1.

Al inicio de cada uno de los laterales de riego, se encuentra una válvula reductora de presión, con una consigna de 3.47 m.c.a. o 5 psi, con el objetivo de proteger a los emisores de sufrir cualquier daño por una presión elevada.

También se muestra una válvula limitadora de caudal que simula como tal el gotero emisor de agua, con un valor de consigna de 5.34 l/h.

El principal objetivo de la simulación es el de conocer la presión (en metros de columna de agua) a la salida del tanque acumulador de agua, lo cual da la pauta para seleccionarlo adecuadamente y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego.

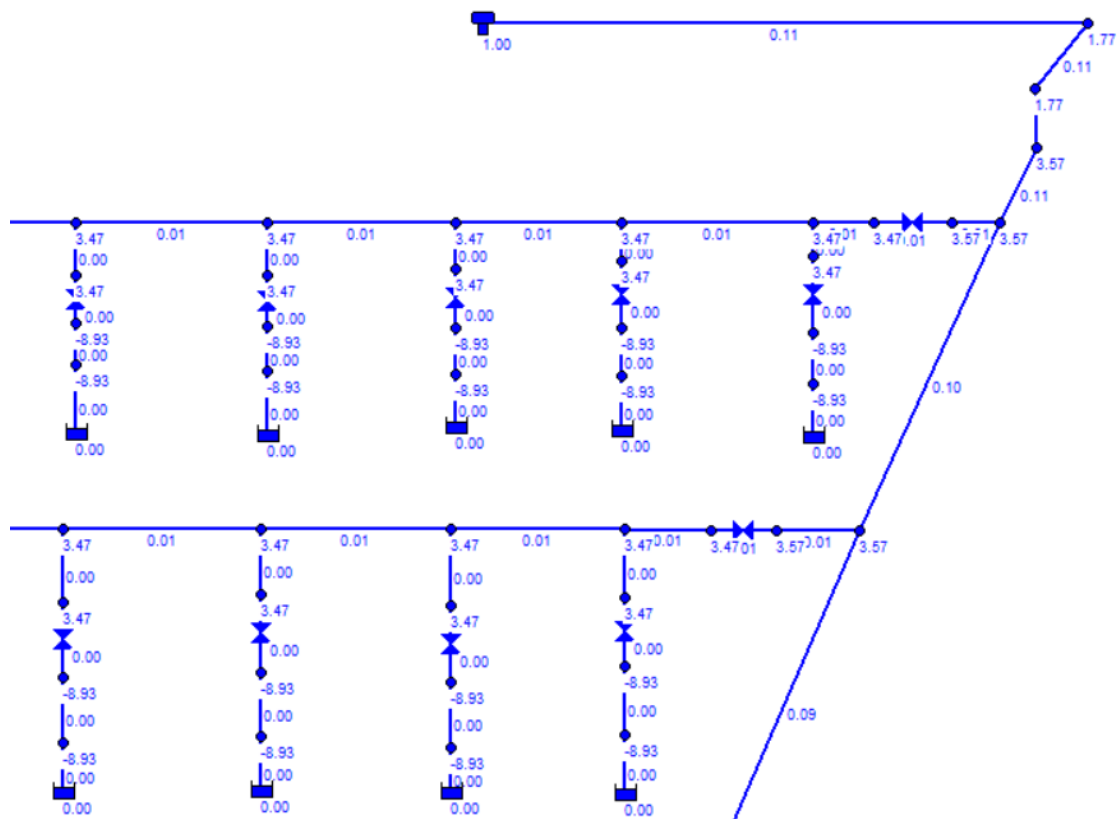


Figura 47. Resultados de la Simulación.

Como se observa en la figura 47, para garantizar que en todos los laterales de riego se obtenga la presión suficiente para abrir todos los goteros emisores, se necesita a la salida del tanque acumulador una altura de 1.77 metros.

Para aportar a los cálculos de diseño se elaboró una hoja de Excel para determinar las pérdidas primarias y secundarias en el circuito hidráulico, haciendo uso de todas las metodologías y ecuaciones mencionadas anteriormente, esto con el objetivo de validar los resultados obtenidos en la simulación en el software EPANET.

### **3.3.7. SELECCIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

Para determinar el tanque cisterna adecuado a las necesidades del proyecto, se debe tomar en cuenta los días de autonomía del sistema, es decir cuantas veces poder regar la cantidad de agua suficiente por día durante varios días, sin la necesidad de suministro de agua de la bomba por cualquier motivo, como puede ser, mantenimiento preventivo o correctivo de cualquier elemento del sistema hidráulico de llenado del tanque.

Para dimensionar el tanque, es necesario conocer el volumen de agua consumido en un día, para ello se hará uso de los datos obtenidos del diseño agronómico, en donde se calcularon las horas de riego por día, dando como resultado un total de 3.46 horas, donde se planea tener 2 horarios de riego durante el día, 1.73 horas durante la mañana y 1.73 horas durante la tarde, entonces:

$$V_{\text{agua}}/\text{día} = \text{horas de riego} \times Q_{\text{total}} = \text{horas de riego} \times Q_{\text{emisor}} \times N_{\text{emisores}}$$

$$V_{\text{agua}}/\text{día} = (3.46 \text{ h})(5.34 \text{ l/h})(202) = 3732.23 \text{ l/día}$$

Se desea tener una autonomía de riego de 2 días completos, por lo cual, como mínimo el tanque acumulador debe poseer una capacidad de almacenamiento de 7464.46 litros.

Se selecciona un tanque cisterna marca Durman de 10,000 litros de capacidad de almacenamiento.

## Tanque Cisterna

Tanque o tinaco de polietileno diseñado para contener agua y otros materiales. Con refuerzos para la instalación bajo tierra, consultar Guía de Instalación (a excepción del tanque de 10000 litros, el cual se recomienda instalar únicamente a nivel de piso). En la tabla adjunta se presenta el detalle de las dimensiones del sistema, en función de la capacidad seleccionada.



Capacidad	1700 L	2500 L	5000 L	10000 L
Diámetro (A) cm	136	156	200	222
Altura (B) cm	155	165	220	300
Peso c/agua (kg)	1,739	2,550	5,110	10,250
Capacidad (gal)	449	660	1,321	2,642
Barriles/Estañones	10.7	15.7	31.5	62.9

Figura 48. Tanque cisterna seleccionado.

### 3.4. SELECCIÓN DE BOMBA Y DISEÑO HIDRÁULICO (CIRCUITO HIDRÁULICO DE ALIMENTACIÓN PARA TANQUE DE AGUA).

#### 3.4.1. TIPO DE BOMBA

Primero se evaluará si la bomba será sumergible o no, por tanto, se consideran factores como la profundidad del pozo (cavitación), espacio a ocupar por cada una de las bombas, vandalismo, potencia y precios, de estos factores se priorizará la profundidad del pozo.

**Profundidad del pozo:** esto va ligado con el espacio que ocupa cada una, potencia vandalismo y precios; comenzaremos por el NPSH (Net Positive Suction Head) donde  $NPSH_a \geq NPSH_r$ , primero corresponde al calculado y el segundo lo proporciona el fabricante

Para calcular NPSH<sub>a</sub> se utiliza Bernoulli:

$$NPSH_a = \frac{P_{atm}}{\rho g} + Z_{líquido} - Z_{bomba} - h_f - \frac{P_{vapor}}{\rho g}$$

- $\frac{P_{atm}}{\rho g}$ : Altura equivalente de la presión atmosférica. A nivel del mar  $\approx 10.3$  m de agua; disminuye con altitud.
- $Z_{líquido} - Z_{bomba}$ : Altura estática entre el nivel libre del líquido y el eje de la bomba. Positiva si la bomba está por debajo del nivel del líquido (succión inundada), negativa si está por encima (aspiración).
- $h_f$ : Pérdidas por fricción en la línea de succión y accesorios, desde el tanque hasta la brida de succión.

- $\frac{P_{vapor}}{\rho g}$ : Altura equivalente de la presión de vapor del líquido a la temperatura de operación (aumenta con la temperatura).

**Nota:** El término de energía cinética en succión  $v^2/2g$  suele ser pequeño y se omite en líneas cortas y de gran diámetro; inclúyelo si la velocidad es alta.

Como se tiene una profundidad considerable de 12 metros y una altura considerable a bombear el NPSH de una bomba no sumergible disminuirá teniendo que recurrir a las siguientes opciones:

1. Una bomba más grande que utilizará más espacio, más costosa y además de eso se deberá proteger de vandalismo ya que esta queda expuesta lo que encarece los precios, su contra parte la bomba sumergible estará en la misma obra civil del pozo lo cual no ocupara espacio extra y al estar sumergida es menos propensa a vandalismo.
2. Enterrar la bomba para disminuir la cavitación, esto encarecerá los precios ya que se deberá recurrir de obra civil más compleja para protegerla de temporada lluviosa y evitar inundaciones.

Por tanto, se recurre a una matriz de decisión (tabla 9), y se selecciona así una **bomba sumergible**.

Tipo de bomba		No sumergible		Sumergible	
Factor	Peso	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada
Menor costo	0.2	5	1	7	1.4
Profundidad del pozo (NPSH)	0.3	5	1.5	9	2.7
Espacio extra por utilizar	0.2	4	0.8	10	2
Vandalismo	0.1	5	0.5	7	0.7
Vida útil	0.2	9	1.8	9	1.8
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>5.6</b>		<b>8.6</b>

Tabla 9. Matriz de decisión de tipo de bomba.

### 3.4.2. ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA DE LA BOMBA

Dentro del mundo de las bombas sumergibles estas las alimenta energía eléctrica o mecánica, para el caso de alimentación mecánica como lo puede ser un motor a combustión interna no tiene sentido dentro del contexto de este trabajo, por lo tanto quedan excluidas; para las bombas que se alimentan con energía eléctrica existen 3 tipos, las de corriente continua, corriente alterna e híbridas (DC/AC) como en la sección anterior se utilizara una matriz de selección pero antes se profundizara en los factores a tener en cuenta que se describen a continuación:

Facilidad de obtención: en el mercado salvadoreño reinan las bombas sumergibles con motor AC, las bombas sumergibles con motor DC no son comerciales y solo pueden obtenerse bajo pedido o importación como el caso de la bomba sumergible motor DC de fabricación china Solar ZRI y modelo S3PCb [14], esto encarece el precio base de la bomba, las bombas sumergibles con motor DC comerciales disponibles en el salvador son bombas de máximo 0.3 HP los voltajes de estas varían desde 110V hasta 24 V ejemplo de esto es el modelo WADFOW WWPQDC24 la cual opera con 24V y logra una altura de solo 13 metros. [13]

Precio: Aunque los precios de las bombas sumergibles con motor AC no son bajos, las bombas con motor DC tampoco son bajos como lo muestra el modelo ESP-2.2-14/165 de la marca EcoSolar Green Energy Products con un valor de 1332,26 dólares estadounidenses [12], si bien es cierto que para un motor AC necesitaremos un inversor, para transformar la corriente alterna de la corriente continua generada por los paneles, este además se encarga de que los paneles operen en el MPPT (punto de máxima potencia), por ende aunque se consideraría una bomba con motor

DC este no elimina por completo el inversor ya que necesitaremos un controlador que mantenga a los paneles en el punto de máxima potencia, cabe resaltar que este componente no tiene un precio bajo, para las bombas híbridas directamente es un inversor con la capacidad de entregar también corriente continua en el punto de máxima potencia de los paneles.

Practicidad: Una bomba sumergible con motor DC no necesitaría un inversor por tanto la energía generada por los paneles no podría ser utilizada por otros equipos comerciales que si utilicen energía alterna, por ende la inversión sería únicamente para alimentar la bomba y esto obliga a que no podríamos usar la configuración ON GRID que sería de mucha ayuda en caso de que exista un problema con los paneles, la bomba podría funcionar con la red eléctrica pública, lo cual nos garantiza que los árboles frutales se podrán regar aun si se produjera una falla o tan simple como un día muy nublado.

Es así como se seleccionará una bomba sumergible con motor de corriente alterna en base a la matriz de decisión (tabla 10).

Bomba sumergible		Con motor DC		Con motor AC	
Factor	Peso	Calificación	Calificación Ponderada	Calificación	Calificación Ponderada
Menor costo	0.2	7	1.4	7	1.4
Facilidad de obtención	0.4	5	2	9	3.6
Practicidad	0.3	4	1.2	10	3
Vida útil	0.1	9	0.9	9	0.9
<b>Total</b>	<b>1</b>		<b>5.5</b>		<b>8.9</b>

Tabla 10. Matriz de decisión de tipo de alimentación de la bomba.

### 3.4.3. CIRCUITO HIDRAULICO DE ALIMENTACIÓN PARA TANQUE DE AGUA.

El suministro de agua para el sistema de llenado de tanque será a través de un pozo y, para la estructura del pozo, se tiene de referencia la figura 49 como detalle de los elementos y equipos que conforman el sistema de bombeo.

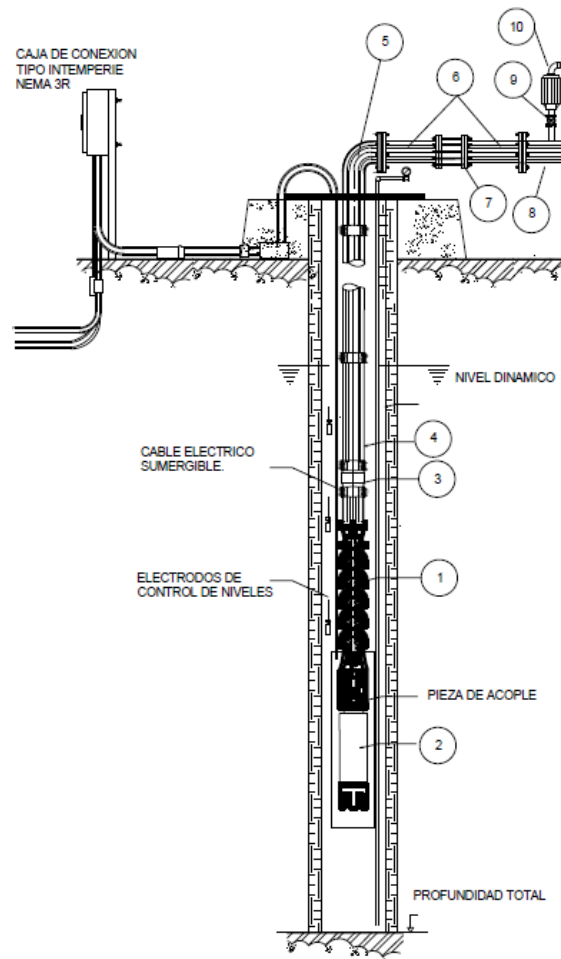


Figura 49. Diagrama de Referencia Extraída de Planos de Proyectos de Aplicación Reales ya Instalados.

Para la selección de la bomba para el sistema de llenado de tanque, el circuito hidráulico es el mostrado en la figura 50, donde se detalla las longitudes y algunos de los accesorios necesarios.



Figura 50. Tubería de Llenado de Tanque. Fuente: Propia.

### Datos de Diseño:

Caudal máximo de explotación:  $Q = 0.001 \text{ m}^3/\text{s}$

Longitud total de tubería:  $L = 79.67$  (comprende los metros lineales de tubería horizontal y vertical).

Altura de tanque:  $h_{\text{tanque}} = 3 \text{ m}$

Viscosidad cinemática del agua:  $\nu = 8.94 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Accesorios:

- 12 codos de  $90^\circ$
- 1 válvula check
- 1 contador
- 1 acoplamiento en T
- 1 válvula de globo

Tubería de acero comercial con rugosidad:  $\epsilon = 4.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$  (dato extraído del libro “Mecánica de Fluidos de Robert L. Mott”, en la tabla 8.2 “Valores de diseño de la rugosidad de tubos”).

Se comenzará por la selección de la tubería que genere las menores pérdidas en la configuración del sistema ya propuesto, por tanto, se utilizará una metodología recomendada por la fuente bibliográfica “Mecánica de Fluidos de Robert L. Mott” la cual es conocida como Método III-A y luego un proceso iterativo.

### 3.4.4. METODO III-A

Este enfoque simplificado únicamente toma en cuenta la pérdida de energía debido a la fricción en la tubería. Se supone que los puntos de referencia están en la tubería que va a diseñarse y a una distancia preestablecida.

Debido a que  $V_1 = V_2$ , entonces se obtiene del balance de energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}, \quad h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2$$

Este valor, junto con los otros datos del sistema se introducen en la ecuación de diseño que proporciona la bibliografía de referencia:

$$D = 0.66 \left[ \epsilon^{1.25} \left( \frac{LQ^2}{gh_L} \right)^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left( \frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

Para este caso se considera que no hay pérdida de presión (caso ideal),

$$h_L = Z_1 - Z_2 = 25.50 \text{ m}$$

Por lo tanto se tiene:

$$D = 0.66 \left[ (4.6 \times 10^{-5})^{1.25} \left( \frac{(78.9)(0.001^2)}{(9.81)(25.50)} \right)^{4.75} + (8.94 \times 10^{-7})(0.001)^{9.4} \left( \frac{78.9}{(9.81)(25.50)} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = 0.0221 = 2.21 \text{ cm}$$

Se obtiene así el diámetro recomendado sin considerar las pérdidas por accesorio; el siguiente paso es comprobar este diámetro recomendado mediante iteración, tomando valores de diámetros internos de tubería de acero comercial. Los valores de diámetros internos elegidos para la iteración serán menores y mayores (según

medidas comerciales) al valor recomendado con tal de observar el comportamiento de pérdidas. Cabe aclarar que solo se hará el procedimiento de iteración para un diámetro, en este caso de 3/4 de pulgada (1.9 cm), para los demás diámetros se hará uso de una hoja de cálculo de Excel y una tabla resumen.

En el caso del presente proyecto, ya que el objetivo de la tubería no es transportar liquido a presión, no es necesario utilizar tubería a presión, de igual forma no habría problema en utilizar ya que es más resistente que el acero galvanizado

Se tienen así los siguientes valores nominales para acero comercial y polietileno de alta densidad. Para acero comercial tubería a presión se tiene de referencia la norma ASME B36.10M Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.

**Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe**

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
1/8	0.405	0.049	0.19	...	10	6 (3)	10.3	1.24	0.28
1/8	0.405	0.057	0.21	...	30	6 (3)	10.3	1.45	0.32
1/8	0.405	0.068	0.24	STD	40	6 (3)	10.3	1.73	0.37
1/8	0.405	0.095	0.31	XS	80	6 (3)	10.3	2.41	0.47
1/4	0.540	0.065	0.33	...	10	8 (3)	13.7	1.65	0.49
1/4	0.540	0.073	0.36	...	30	8 (3)	13.7	1.85	0.54
1/4	0.540	0.088	0.43	STD	40	8 (3)	13.7	2.24	0.63
1/4	0.540	0.119	0.54	XS	80	8 (3)	13.7	3.02	0.80
3/8	0.675	0.065	0.42	...	10	10	17.1	1.65	0.63
3/8	0.675	0.073	0.47	...	30	10	17.1	1.85	0.70
3/8	0.675	0.091	0.57	STD	40	10	17.1	2.31	0.84
3/8	0.675	0.126	0.74	XS	80	10	17.1	3.20	1.10
1/2	0.840	0.065	0.54	...	5	15	21.3	1.65	0.80
1/2	0.840	0.083	0.67	...	10	15	21.3	2.11	1.00
1/2	0.840	0.095	0.76	...	30	15	21.3	2.41	1.12
1/2	0.840	0.109	0.85	STD	40	15	21.3	2.77	1.27
1/2	0.840	0.147	1.09	XS	80	15	21.3	3.73	1.62
1/2	0.840	0.188	1.31	...	160	15	21.3	4.78	1.95
1/2	0.840	0.294	1.72	XXS	...	15	21.3	7.47	2.55
3/4	1.050	0.065	0.69	...	5	20	26.7	1.65	1.03
3/4	1.050	0.083	0.86	...	10	20	26.7	2.11	1.28
3/4	1.050	0.095	0.97	...	30	20	26.7	2.41	1.44
3/4	1.050	0.113	1.13	STD	40	20	26.7	2.87	1.69
3/4	1.050	0.154	1.48	XS	80	20	26.7	3.91	2.20
3/4	1.050	0.219	1.95	...	160	20	26.7	5.56	2.90
3/4	1.050	0.308	2.44	XXS	...	20	26.7	7.82	3.64

*Figura 51. Extracto de la tabla 1 de la norma ASME B36.10M-2015*

Para la tubería de polietileno de alta densidad, la norma de referencia es ISO 4427-2:2019 PEAD pipe.

Table 2 — Wall thicknesses

	Pipe series											
	SDR 6		SDR 7,4		SDR 9		SDR 11		SDR 13,6		SDR 17	
	S 2,5		S 3,2		S 4		S 5		S 6,3		S 8	
	Nominal pressure (PN) <sup>a</sup> bar											
PE 40	—		PN 10		PN 8		—		PN 5		PN 4	
PE 63	—		—		—		PN 10		PN 8		—	
PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10		PN 8	
PE 100	—		PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10	
Nominal size	Wall thicknesses <sup>b</sup> mm											
	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>	<i>e</i> <sub>min</sub>	<i>e</i> <sub>max</sub>
16	3,0	3,4	2,3 <sup>c</sup>	2,7	2,0 <sup>c</sup>	2,3	—	—	—	—	—	—
20	3,4	3,9	3,0	3,4	2,3 <sup>c</sup>	2,7	2,0 <sup>c</sup>	2,3	—	—	—	—
25	4,2	4,8	3,5	4,0	3,0	3,4	2,3 <sup>c</sup>	2,7	2,0 <sup>c</sup>	2,3	—	—
32	5,4	6,1	4,4	5,0	3,6	4,1	3,0	3,4	2,4	2,8	2,0 <sup>c</sup>	2,3
40	6,7	7,5	5,5	6,2	4,5	5,1	3,7	4,2	3,0	3,5	2,4	2,8
50	8,3	9,3	6,9	7,7	5,6	6,3	4,6	5,2	3,7	4,2	3,0	3,4
63	10,5	11,7	8,6	9,6	7,1	8,0	5,8	6,5	4,7	5,3	3,8	4,3
75	12,5	13,9	10,3	11,5	8,4	9,4	6,8	7,6	5,6	6,3	4,5	5,1

Figura 52. Extracto de la tabla 2 de la norma ISO 4427-2:2019

Entonces:

$$D = \frac{3}{4}in = 0.019m = 1.9 \text{ cm}$$

$$Q = VA, \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \left(0.001 \frac{m^3}{s}\right)}{\pi(0.019)^2} = 3.52 \frac{m}{s}$$

Para el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu} = \frac{3.52 \frac{m}{s} * 0.019 \text{ m}}{8.94(10^{-7}) \frac{m^2}{s}} = 74958$$

Ya que se trata de un flujo turbulento, la fórmula para calcular el acto de fricción es el siguiente (aplica únicamente para tramos de tubería, no para accesorios).

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.019}{4.6 \times 10^{-5}} \right)} + \frac{5.74}{(74958)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0268$$

Con la ecuación de Darcy, se puede calcular las pérdidas debido a la fricción en todo el tramo de tubería desde el pozo hasta el tanque.

$$h_L = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2g} \right) = 0.0268 \left( \frac{79.67m}{0.019m} \right) \left( \frac{(3.52 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right) = 71.41m$$

Para los accesorios, las pérdidas secundarias se determinan de la siguiente manera:

$$h_L = K \left( \frac{V^2}{2g} \right), \text{ donde } K = \left( \frac{L_e}{D} \right) f_r$$

Para utilizarla se toman valores del libro de referencia para las longitudes equivalentes de la tabla 10.4 del libro de referencia.

Para la válvula antirretorno (check):

$$K = \left( \frac{L_e}{D} \right) f_r = 150(0.025) = 3.75, \quad h_L = 3.75 \left( \frac{(3.52 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} \right) = 2.377 \text{ m}$$

Para codo de 90°:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_r = 30(0.025) = 0.75, \quad h_L = 0.75 \left( \frac{(3.52 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \right) = 0.475 \text{ m}$$

Para acoplamiento en T:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_r = 20(0.025) = 0.5, \quad h_L = 0.5 \left( \frac{(3.52 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \right) = 0.316 \text{ m}$$

Pérdida Total:

$$h_{L\text{total}} = h_L + h_{L\text{Check}}(1) + h_{L\text{Codo}}(12) + h_{L\text{T}}(1) + h_{L\text{Filtro}}(1)$$

$$h_{L\text{total}} = 71.41 + 2.377(1) + 0.475(12) + 0.316(1) + 3.51 = 83.31 \text{ m}$$

Ya que tenemos  $h_L$  se puede despejar para  $h_A$

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ya que el punto 1 está al nivel del agua del pozo y el punto 2 en el nivel del agua del tanque como se muestra en la figura, se debe entonces que la velocidad en el punto 1 y 2 es despreciable, además el pozo como el tanque están abiertos a la atmosfera.

$$V_1 = 0, \quad V_2 = 0, \quad P_1 = P_2$$

$$Z_1 + h_A - h_L = Z_2$$

Despejando para  $h_A$

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + h_L = (Z_{\text{profundidad}} + Z_{\text{terrazza 1 a 5}} + Z_{\text{elevacion TK}} + Z_{\text{nivel llenado TK}})m + 83.31 \text{ m}$$

$$h_{A \rightarrow 3/4"} = (12 + 11.73 + 1.77 + 3)m + 83.313 \text{ m} = 116.81 \text{ m}$$

## Resultados para los diferentes diámetros de tubería:

Caudal GPM	Caudal L/s	Pérdidas totales por fricción y accesorios [m]									
		V_tub 3/4"	hL_total_3/4"	V_tub 1"	hL_total_1"	V_tub 1" 1/4"	hL_total_1 1/4"	V_tub 1" 1/2"	hL_total_1 1/2"	V_tub 2"	hL_total_2"
1.59	0.10	0.35269793	1.07	0.19735252	0.27	0.12630562	0.09	0.08771223	0.04	0.04933813	0.01
3.17	0.20	0.70539587	3.77	0.39470505	0.93	0.25261123	0.32	0.17542447	0.14	0.09867626	0.04
4.76	0.30	1.0580938	8.02	0.59205757	1.95	0.37891685	0.67	0.2631367	0.28	0.14801439	0.07
6.34	0.40	1.41079174	14.49	0.7894101	3.33	0.50522246	1.14	0.35084893	0.48	0.19735252	0.12
7.93	0.50	1.76348967	22.28	0.98676262	5.33	0.63152808	1.72	0.43856116	0.72	0.24669066	0.19
9.51	0.60	2.11618761	31.22	1.18411514	7.82	0.75783369	2.42	0.5262734	1.01	0.29602879	0.26
11.10	0.70	2.46888554	42.19	1.38146767	10.59	0.88413931	3.23	0.61398563	1.35	0.34536692	0.35
12.68	0.80	2.82158348	54.29	1.57882019	13.70	1.01044492	4.27	0.70169786	1.73	0.39470505	0.45
14.27	0.90	3.17428141	67.89	1.77617272	17.14	1.13675054	5.38	0.7894101	2.28	0.44404318	0.55
15.85	1.00	3.52697935	83.32	1.97352524	21.29	1.26305615	6.58	0.87712233	2.83	0.49338131	0.67
17.44	1.10	3.87967728	100.60	2.17087777	25.42	1.38936177	7.90	0.96483456	3.40	0.54271944	0.81
19.02	1.20	4.23237522	119.36	2.36823029	30.59	1.51566739	9.33	1.0525468	4.02	0.59205757	0.95
20.61	1.30	4.58507315	139.27	2.56558281	35.48	1.641973	10.84	1.14025903	4.70	0.6413957	1.10
22.19	1.40	4.93777109	162.06	2.76293534	41.61	1.76827862	12.53	1.22797126	5.38	0.69073383	1.27
23.78	1.50	5.29046902	185.63	2.96028786	47.46	1.89458423	14.29	1.31568349	6.17	0.74007197	1.44
25.36	1.60	5.64316696	210.69	3.15764039	54.34	2.02088985	16.16	1.40339573	6.98	0.7894101	1.63
26.95	1.70	5.99586489	237.93	3.35499291	61.56	2.14719546	18.14	1.49110796	7.83	0.83874823	1.83
28.53	1.80	6.34856283	266.66	3.55234543	68.42	2.27350108	20.24	1.57882019	8.72	0.88808636	2.04

Tabla 11. Resultados de Iteración para Diferentes Diámetros de Tubería.

Para la selección del diámetro de tubería se considerará como criterio la velocidad del agua ya que esta es la responsable directa del aumento o disminución de las perdidas en la tubería, se observa que para el diámetro comercial de tubería de 1 ¼" donde la velocidad es límite, y ocurre lo siguiente:

- 1- Si disminuimos el diámetro comercial de la tubería, la velocidad aumenta y las perdidas aumentan significativamente.
- 2- Si por el contrario aumentamos el diámetro la velocidad disminuye, pero las perdidas empiezan a tener un comportamiento logarítmico, ya no disminuyen significativamente.

**Se selecciona la tubería de diámetro comercial 1 ¼ de pulgada**

## Resultados para alturas a vencer por parte de la bomba sumergible

Caudal GPM	Caudal L/s	Pérdidas totales por fricción y accesorios [m]					BOMBA SUMERGIBLE [m]					BOMBA SUMERGIBLE [pie]				
		L <sub>total_3/4"</sub>	h <sub>total_1"</sub>	L <sub>total_1 1/4"</sub>	h <sub>total_1 1/2"</sub>	L <sub>total_2"</sub>	hA_3/4"	hA_1"	hA_1 1/4"	hA_1 1/2"	hA_2"	hA_3/4"	hA_1"	hA_1 1/4"	hA_1 1/2"	hA_2"
1.59	0.10	1.07	0.27	0.09	0.04	0.01	29.57	28.77	28.59	28.54	28.51	97.01	94.38	93.81	93.64	93.54
3.17	0.20	3.77	0.93	0.32	0.14	0.04	32.27	29.43	28.82	28.64	28.54	105.88	96.56	94.56	93.95	93.62
4.76	0.30	8.02	1.95	0.67	0.28	0.07	36.52	30.45	29.17	28.78	28.57	119.81	99.91	95.71	94.44	93.75
6.34	0.40	14.49	3.33	1.14	0.48	0.12	42.99	31.83	29.64	28.98	28.62	141.03	104.43	97.24	95.08	93.91
7.93	0.50	22.28	5.33	1.72	0.72	0.19	50.78	33.83	30.22	29.22	28.69	166.60	111.01	99.15	95.87	94.12
9.51	0.60	31.22	7.82	2.42	1.01	0.26	59.72	36.32	30.92	29.51	28.76	195.92	119.18	101.44	96.83	94.36
11.10	0.70	42.19	10.59	3.23	1.35	0.35	70.69	39.09	31.73	29.85	28.85	231.91	128.24	104.09	97.93	94.64
12.68	0.80	54.29	13.70	4.27	1.73	0.45	82.79	42.20	32.77	30.23	28.95	271.63	138.44	107.53	99.18	94.96
14.27	0.90	67.89	17.14	5.38	2.28	0.55	96.39	45.64	33.88	30.78	29.05	316.23	149.75	111.17	100.99	95.32
15.85	1.00	83.32	21.29	6.58	2.83	0.67	111.82	49.79	35.08	31.33	29.17	366.87	163.36	115.09	102.79	95.72
17.44	1.10	100.60	25.42	7.90	3.40	0.81	129.10	53.92	36.40	31.90	29.31	423.57	176.91	119.41	104.66	96.15
19.02	1.20	119.36	30.59	9.33	4.02	0.95	147.86	59.09	37.83	32.52	29.45	485.11	193.87	124.12	106.70	96.62
20.61	1.30	139.27	35.48	10.84	4.70	1.10	167.77	63.98	39.34	33.20	29.60	550.42	209.91	129.05	108.92	97.12
22.19	1.40	162.06	41.61	12.53	5.38	1.27	190.56	70.11	41.03	33.88	29.77	625.20	230.02	134.60	111.14	97.66
23.78	1.50	185.63	47.46	14.29	6.17	1.44	214.13	75.96	42.79	34.67	29.94	702.51	249.21	140.38	113.76	98.24
25.36	1.60	210.69	54.34	16.16	6.98	1.63	239.19	82.84	44.66	35.48	30.13	784.74	271.77	146.52	116.40	98.85
26.95	1.70	237.93	61.56	18.14	7.83	1.83	266.43	90.06	46.64	36.33	30.33	874.13	295.48	153.02	119.18	99.50
28.53	1.80	266.66	68.42	20.24	8.72	2.04	295.16	96.92	48.74	37.22	30.54	968.39	317.97	159.92	122.11	100.19

Tabla 12. Resultados de Iteración para Diferentes Diámetros de Tubería.

### 3.4.5. SELECCIÓN DE BOMBA CON ALIMENTACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

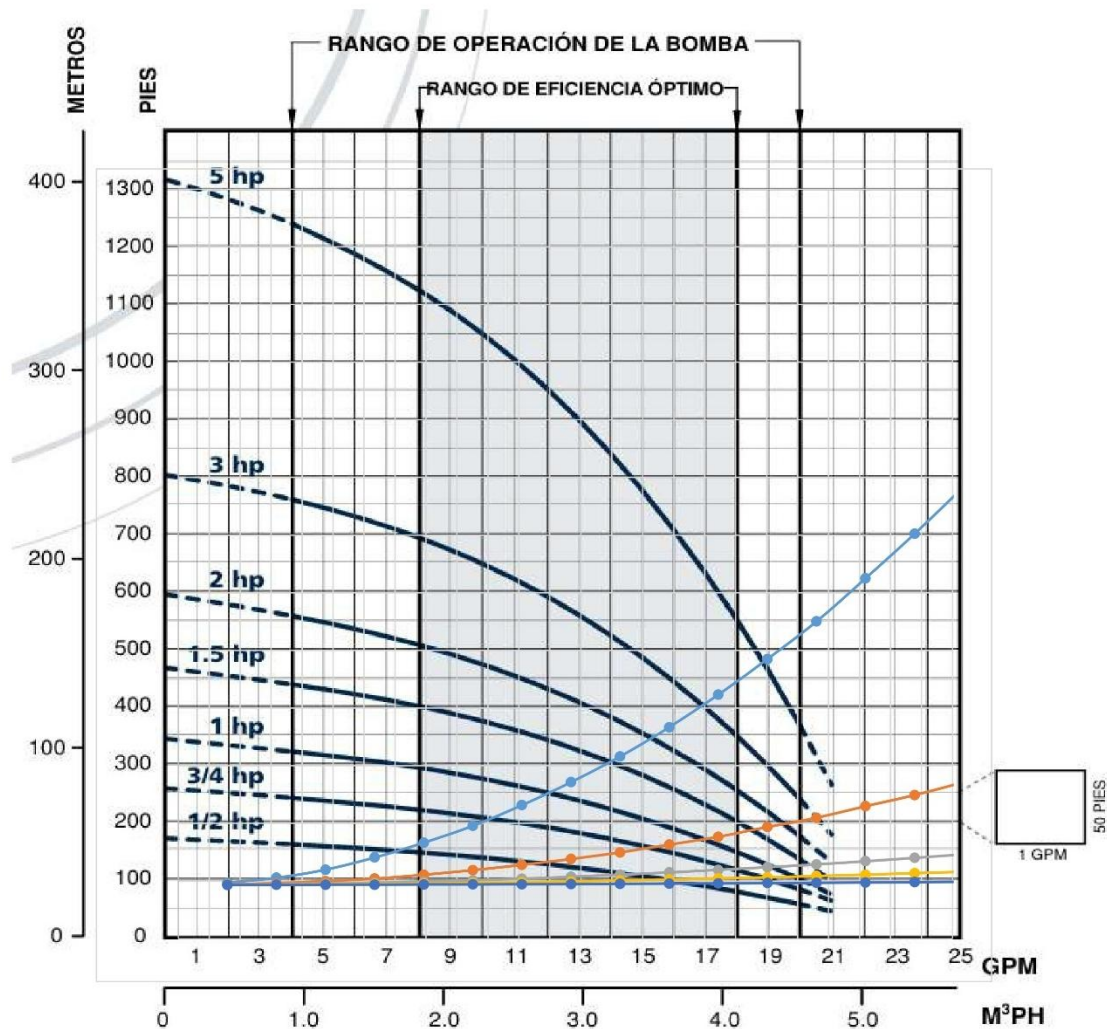


Figura 53. Intercepción de curva característica de bombas.

En base a los resultados obtenidos de la tabla 12 y las curvas características de las bombas del fabricante Franklin Electric se superponen y grafican los resultados, se selecciona una tubería 1¼ de pulgada y la bomba de la marca Franklin Electric, modelo 15FA05S4-2W230 de ½ HP operando a 230V y de 2 hilos.

Esta combinación da como resultado 14.5 GPM lo cual llenaría completamente el tanque de 10,000 litros en un tiempo de 3 horas, además, ya que la tubería de descarga de la

bomba es 1¼ de pulgada no requiere de un reductor para acoplar la tubería principal de llenado del tanque.

**Acero Inoxidable**

GPM	HP	Etapas	Voltaje	2-Hilos		3-Hilos	
				No. Modelo	No. Pedido	No. Modelo	No. Pedido
5	1/2	8	115	5FA05S4-2W115	93810505	5FA05S4-3W115	93810530
	1/2	8	230	5FA05S4-2W230	93810510	5FA05S4-3W230	93810535
	3/4	12	230	5FA07S4-2W230	93810515	5FA07S4-3W230	93810540
	1	15	230	5FA1S4-2W230	93810520	5FA1S4-3W230	93810545
	1.5	21	230	5FA15S4-2W230	93810525	5FA15S4-3W230	93810550
7	1/2	7	115	7FA05S4-2W115	93810705	7FA05S4-3W115	93810730
	1/2	7	230	7FA05S4-2W230	93810710	7FA05S4-3W230	93810735
	3/4	10	230	7FA07S4-2W230	93810715	7FA07S4-3W230	93810740
	1	13	230	7FA1S4-2W230	93810720	7FA1S4-3W230	93810745
	1.5	18	230	7FA15S4-2W230	93810725	7FA15S4-3W230	93810750
10	1/2	6	115	10FA05S4-2W115	93811005	10FA05S4-3W115	93811030
	1/2	6	230	10FA05S4-2W230	93811010	10FA05S4-3W230	93811035
	3/4	8	230	10FA07S4-2W230	93811015	10FA07S4-3W230	93811040
	1	11	230	10FA1S4-2W230	93811020	10FA1S4-3W230	93811045
	1.5	15	230	10FA15S4-2W230	93811025	10FA15S4-3W230	93811050
15	1/2	4	115	15FA05S4-2W115	93811505	15FA05S4-3W115	93811530
	1/2	4	230	15FA05S4-2W230	93811510	15FA05S4-3W230	93811535
	3/4	6	230	15FA07S4-2W230	93811515	15FA07S4-3W230	93811540
	1	8	230	15FA1S4-2W230	93811520	15FA1S4-3W230	93811545
	1.5	11	230	15FA15S4-2W230	93811525	15FA15S4-3W230	93811550
20	3/4	5	230	20FA07S4-2W230	93812015	20FA07S4-3W230	93812040
	1	7	230	20FA1S4-2W230	93812020	20FA1S4-3W230	93812045
	1.5	10	230	20FA15S4-2W230	93812025	20FA15S4-3W230	93812050
25	1	6	230	25FA1S4-2W230	93812520	25FA1S4-3W230	93812545
	1.5	8	230	25FA15S4-2W230	93812525	25FA15S4-3W230	93812550

Nota: La descarga es de 1-1/4" NPT. El diámetro máximo incluyendo el guardacable es de 3.90" para todos los modelos.

Figura 54. Ficha técnica de la bomba sumergible.

## **CAPÍTULO 4. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO**

En este capítulo se realizará un estudio de pérdidas utilizando el método de patrones de sombra, con el fin de evaluar un primer punto de estudio y luego respaldarlo con una simulación en el software PVSyst, en conjunto con el software SAGAGIS se realizará la determinación de polígonos de Thiessen y de esta forma determinar cuál estación cubre el comportamiento meteorológico del terreno en análisis, también se usará la base de datos del SNET para obtener los datos de temperatura máximas y mínimas del terreno en análisis luego de determinar la estación meteorológica

La norma que rige el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico son la norma UPR (Usuario Final Productor Renovable) de la SIGET

### **4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS**

El arreglo fotovoltaico se analizará en la quinta terraza; ya que es el lugar más alto del terreno en análisis, las coordenadas de esta terraza son  $14^{\circ}00'33''\text{N}$   $88^{\circ}56'31''\text{W}$ .

El lugar exacto donde se colocarán los paneles fotovoltaicos es en la parte central de la quinta terraza en las coordenadas Latitud  $14.00934^{\circ}$  y Longitud  $-88.94194^{\circ}$  con una elevación de 492.73 msnm (figura 55).

Ya ubicado el lugar de interés se utilizará el software SAGAGIS para determinar los polígonos de Thiessen y así determinar la estación meteorológica que describe mejor el comportamiento de las temperaturas registradas por el SNET (figura 56).

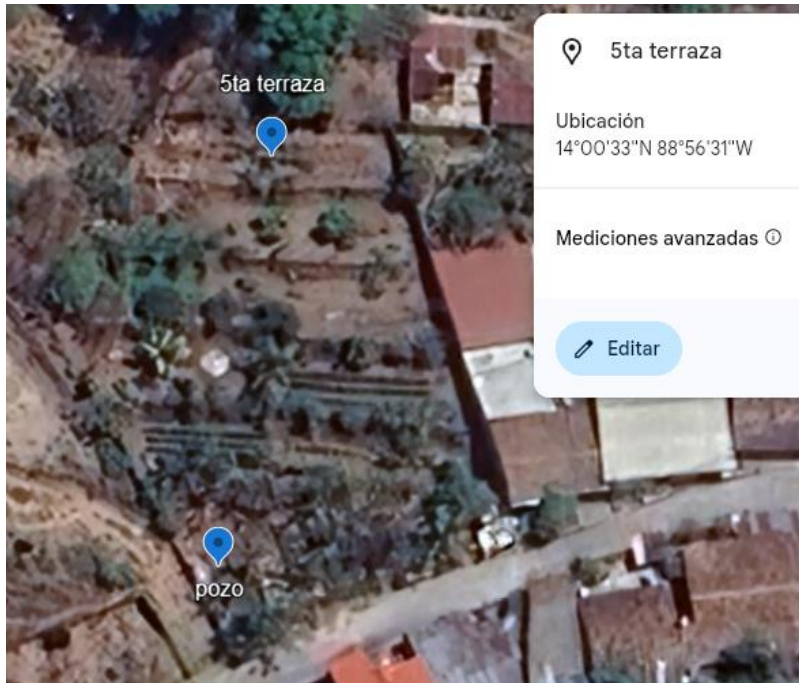


Figura 55. Vista satelital terraza 5 (punto de interés para recurso fotovoltaico).

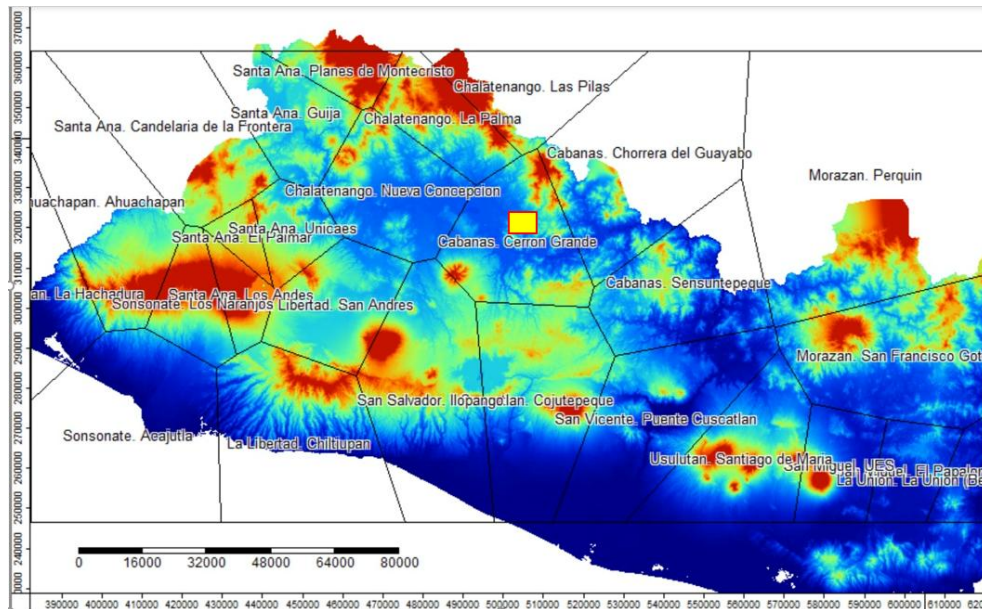


Figura 56. Polígonos de Thiessen y Estaciones Meteorológicas.

La información por utilizar para las temperaturas máximas y mínimas de referencia para el terreno en análisis son las de la estación Cerrón Grande, como se muestra en la figura

57, la temperatura mínima se registró en el 2010 en diciembre con un valor de 15.4 °C y la temperatura máxima en el 2001 en abril con un valor de 40.1 °C

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES													
DIRECCION GENERAL DEL OBSERVATORIO AMBIENTAL													
GERENCIA DE METEOROLOGIA													
EL SALVADOR													
ESTACION: CERRON GRANDE							LATITUD NORTE 13° 56.3'						
INDICE: B-10							LONGITUD OEST 88° 47.3'						
DEPARTAMENTO: CABAÑAS							ELEVACION : 200 m.s.n.m.						
ELEMENTO: TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO (°C)													
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
2000	16.3	18.0	22.2	21.7	22.6	21.3	21.1		22.7	20.2	20.5	17.3	20.4
2001	16.5	19.3	20.0	23.0	23.5	23.0	22.7	23.5	-	-	-	20.3	21.3
2002	19.3	20.1	21.6	23.2	23.6	22.7	22.5	21.1	20.7	20.4	19.1	18.1	21.0
2003	17.1	18.5	20.5	22.3	22.1	21.2	20.7	20.9	21.0	20.7	20.0	16.7	20.1
2004	17.1	19.8	20.2	20.5	21.7	20.2	19.6	19.7	19.9	19.8	18.4	17.7	19.6
2005	16.8	17.4	22.4	22.2	22.2	21.4	21.0	20.9	20.8	19.7	18.1	18.4	20.1
2006	17.8	19.2	19.4	20.6	20.1	19.6	20.9	22.0	22.0	21.9	19.2	19.4	20.2
2007	18.5	19.3	20.8	22.2	22.7	22.6	22.0	22.2	22.2	21.3	18.3	17.8	20.8
2008	18.2	20.2	21.4	22.9	24.0	22.8	22.3	22.7	22.9	21.8	17.5	17.5	21.2
2009	17.8	18.5	19.5	22.5	22.0	22.2	21.8	22.1	22.2	21.9	20.1	19.6	20.9
2010	17.5	20.0	20.9	22.7	23.0	22.8	22.2	22.7	22.4	20.1	18.7	15.4	20.7

ESTACION: CERRON GRANDE													
INDICE: B10													
DEPARTAMENTO: CABAÑAS							LATITUD NORTE 13° 56.3'						
							LONGITUD OEST 88° 447.1'						
							ELEVACION : 200 m.s.n.d.m.						
Año/Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
2000	34.1	35.1	37.3	37.8	33.2	32.9	33.4	34.1	32.9	33	33.8	33.4	34.3
2001	34.9	38.5	38.3	40.1	36.1	35.8	34.8	35.7	34.1	34.9	35.7	37.1	36.3
2002	35.8	37.8	39.1	39.1	38.3	34.9	35.4	34.5	32.9	34.8	33.2	34.3	35.8
2003	34.4	37.4	37.3	38.4	35.3	33.2	34.2	34.7	34.3	33.7	33.0	32.4	34.9
2004	33.9	36.1	38.2	37.9	36.1	34.6	33.9	34.4	33.6	33.6	32.4	33.7	34.9
2005	34.5	36.9	37.2	38.5	34.6	-	-	-	-	-	-	-	36.3
2006	-	-	-	-	-	-	34.2	34.9	34.4	34.0	32.6	34.7	34.1
2007	36.3	37.0	38.3	37.9	36.0	34.4	34.4	33.5	33.8	31.8	34.0	34.9	35.2
2008	35.6	36.8	37.6	36.5	35.9	33.8	33.6	34.1	33.8	32.3	33.3	34.3	34.8
2009	35.5	36.3	37.5	39.2	35.4	34.5	35.1	35.0	35.3	34.0	32.8	34.7	35.4
2010	35.3	37.5	39.0	38.4	35.0	33.7	33.5	33.2	32.5	34.1	33.7	33.4	34.9

Figura 57. Temperaturas Registradas por Estación Meteorológica “Cerrón Grande”.

## 4.2. CONDICIONES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS

Ya definidas las temperaturas y lugar de análisis, se analizará las condiciones mecánicas y eléctricas, del capítulo anterior la bomba a utilizar tiene un motor eléctrico con las características mostradas en la figura 58, esta figura muestra un consumo de 670 W (potencia útil), corriente nominal 5 Amperios, corriente de arranque 32.2 Amperios, voltaje 230 Voltios, y un factor de potencia de 0.58.

TIPO	PREFIJO DEL MODELO MOTOR	CAPACIDAD					CARGA PLENA		CARGA DE F.S. MÁXIMA		DEVANADO (1) RES. EN OHMS		% EFICIENCIA		% FACTOR DE POTENCIA		ROTOR BLOQUEADO AMPS	CÓDIGO KVA
		HP	KW	VOLT.	HZ	F.S.	(2) AMPS	WATTS	(2) AMPS	WATTS	M=RES. TRABAJO S=RES. ARRANQUE	F.S.	F.L.	F.S.	F.L.			
4" 2-HILOS	244504	1/2	0.37	115	60	1.6	10.0	670	12.0	960	1.0-1.3		62	56	73	58	64.4	R
	244505	1/2	0.37	230	60	1.6	5.0	670	6.0	960	4.2-5.2		62	56	73	58	32.2	R
	244507	3/4	0.55	230	60	1.5	6.8	940	8.0	1310	3.0-3.6		64	59	74	62	40.7	N
	244508	1	0.75	230	60	1.4	8.2	1210	9.8	1600	2.2-2.7		65	62	74	63	48.7	N
	244309	1.5	1.1	230	60	1.3	10.6	1700	13.1	2180	1.5-1.9		67	66	80	73	66.6	M
	214504	1/2	0.37	115	60	1.6	Y10.0 B10.0 R0	670	Y12.0 B12.0 R0	960	M1.0-1.3 S4.1-5.1		62	56	73	58	50.5	M

Figura 58. Especificaciones técnicas del motor eléctrico de la bomba sumergible.

El motor de la bomba demandara de la red y el inversor la potencia aparente (KVA), con la tabla especificada en figura 56 (tabla empírica que proporciona el fabricante) donde muestra el consumo efectivo del motor de 670 Watts y un factor de potencia de 0.58, obtenemos un valor de  $P_A = 1155 VA$ .

La corriente de arranque en este caso es la misma que la corriente de rotor bloqueado que se muestra en la figura 58 con un valor de 32.2 Amperios, esto se da ya que en motores de inducción de arranque directo sin variador de frecuencia como es el caso del motor eléctrico de la bomba seleccionada, la corriente de arranque tiene el mismo valor que la corriente de rotor bloqueado, además esta corriente de rotor bloqueado siempre será la corriente máxima que un motor eléctrico presenta, por tanto es un valor crítico que se presentaría en caso de que el rotor se bloqueara mecánicamente (por ejemplo un atasco). La corriente de arranque es considerada para la instalación de protecciones y cableado, ya que, si no se toma en cuenta, y se usa exclusivamente la corriente nominal, al momento de encender la bomba las protecciones se dispararían y en consecuencia la bomba no arrancará.

La corriente de arranque no será considerada para el dimensionamiento de los paneles y el inversor, por dos razones: la primera por la naturaleza de funcionamiento del inversor conectado a red y la segunda por la norma UPR de la SIGET.

Funcionamiento del inversor conectado a red (on-grid): Un inversor conectado a red (on-grid) toma la energía de los paneles solares (CC) y la convierte en corriente alterna (CA) sincronizada con la red eléctrica en voltaje, frecuencia y fase. Esto permite que la energía solar se use en la carga del cliente o se inyecte a la red de forma segura. [18]

- El inversor entrega hasta su potencia máxima útil y opera en sincronización con la red, esta energía se sincroniza con la de la red en la barra eléctrica del tablero
- Si la carga es mayor que la potencia que puede entregar el inversor, la tecnología del inversor permite que la red automáticamente supla la diferencia de potencia en tiempo real para mantener la carga estable, esto ocurre de forma automática sin intervención manual por que la red está en paralelo con la salida del inversor. [17]
- Cuando la irradiación sea insuficiente o nula, tal que el inversor no pueda entregar potencia, la red suministrará el 100% de la potencia requerida por la carga. [17]
- El sistema on-grid usa controladores de potencia interna y algoritmos de sincronización que permiten priorizar el uso de energía solar para cargas locales, y usar la potencia de la red para completar la potencia faltante

Norma UPR de SIGET: para consumo propio solo puede suplirse el 90% de la carga como máximo, de lo contrario se incurrirá en sanciones monetarias.

Resumiendo, el inversor no podrá aportar más del 90% de la carga para evitar sanciones, este trabajará en paralelo con la energía de la red aportando el 10% faltante, al momento del arranque de la bomba el motor demandará mayor potencia durante un muy corto periodo de tiempo, debido a la corriente de arranque, en ese período corto de tiempo

simplemente lo cubrirá la red ya que estará trabajando en paralelo con los controladores de potencia del inversor.

Retomando la norma UPR de la SIGET y la potencia instalada calculada ( $P_A = 1155 \text{ VA.}$ ) se tendrá que el valor de esta no puede ser suplida en su totalidad para el diseño fotovoltaico ya que se tiene una limitante gubernamental por parte de la norma UPR emitida por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones la cual establece lo siguiente en el Art. 8.

- a. La capacidad nominal máxima de la unidad a instalar deberá ser menor o igual que la demanda máxima de potencia del suministro al que la unidad suplirá energía.
- b. La producción mensual estimada de energía de la unidad a instalar deberá ser menor que el consumo promedio mensual del suministro al que la unidad suplirá energía.
- c. A las unidades de generación que posean algún dispositivo de almacenamiento de energía, no les será aplicable el requisito detallado en la letra “a.”, y la producción mensual estimada de energía detallada en la letra “b.” deberá ser menor o igual que el 90% del consumo promedio mensual del suministro al que suplirá la energía.

Con esta limitación se estimará un arreglo fotovoltaico en el que no se supla más del 90% de la energía para no caer en objeto de multas, esto también da como resultado omitir la corriente de arranque, ya que al ser el sistema on-grid lo cubrirá la red y no el sistema solar fotovoltaico, dando como resultado manejar una potencia instalada menor y así un sistema solar fotovoltaico de menor capacidad y de menor costo monetario.

### 4.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

Los paneles solares que se consideraran son los TRINA SOLAR TSM-DE18M-(II)-500 monocristalinos, los cuales se comercializan en el salvador por medio de Equipos Electrónicos Valdés S.A. de C.V.

El inversor por considerar es HOYMILES HMS-1000-2T el cual es comercializado principalmente en España, Estados Unidos, y Centro América, este deberá importarse de Guatemala con la empresa que lo comercializa llamada Chipcom S.A Guatemala o la empresa Solar PowerAmerica, La Bodega Solar.

El inversor requiere una potencia en corriente continua (DC) entre 1 kWp y 1.34 kWp, este cuenta con 2 entradas MPPT.

#### 4.3.1. CÁLCULO DEL NÚMERO TOTAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- **Calculo y Análisis de Temperatura:**

$$T_{m\acute{a}x} = 40.1 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ y } T_{m\acute{a}x} = 15.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$NOCT = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{OC} = 51.7 \text{ V} \text{ y } V_{mpp} = 42.8 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 12.28 \text{ A}$$

$$\beta_{oc} = -0.25 \frac{\%}{^\circ\text{C}}, \quad \gamma_{mp} = -0.34 \frac{\%}{^\circ\text{C}} \text{ y } \alpha_{sc} = 0.04 \frac{\%}{^\circ\text{C}}$$

- **Cálculo de la Temperatura Máxima de la Celda**

$$T_{c-m\acute{a}x} = T_{m\acute{a}x} + G \left( \frac{NOCT - 20}{800} \right) = 40.1 + 1000 \left( \frac{45 - 20}{800} \right)$$

$$T_{c-m\acute{a}x} = 71.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{c-min} = T_{min} + G \left( \frac{NOCT - 20}{800} \right) = 15.4 + 0 \left( \frac{45 - 20}{800} \right)$$

$$T_{c-min} = 15.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Calculo y Variación de Parámetros Eléctricos**

$$VOC_{\max(Tmin)} = VOC + \beta_{oc}(VOC)(T_{min} - 25)$$

$$VOC_{\max(Tmin)} = 51.7 + \left( \frac{-0.25}{100} \right) (51.7)(15.4 - 25)$$

$$VOC_{\max(Tmin)} = 52.94 \text{ V}$$

- **Análisis de Voltaje Para Temperatura Mínima**

$$VOC_{\min(Tmax)} = VOC + \beta_{oc}(VOC)(T_{max} - 25)$$

$$VOC_{\min(Tmax)} = 51.7 + \left( \frac{-0.26}{100} \right) (51.7)(71.35 - 25)$$

$$VOC_{\min(Tmax)} = 45.70 \text{ V}$$

- **Análisis de Máxima Potencia para Temperatura Mínima**

$$Vmp_{\max(Tmin)} = Vmp_{MFV} + \gamma_{mp}(Vmp_{MFV})(T_{min} - 25)$$

$$Vmp_{\max(Tmin)} = 42.8 + \left( \frac{-0.34}{100} \right) (42.8)(15.4 - 25)$$

$$Vmp_{\max(Tmin)} = 44.19 \text{ V}$$

- **Análisis de Máxima Potencia para Temperatura Máxima**

$$Vmp_{\min(Tmax)} = Vmp_{MFV} + \gamma_{mp}(Vmp_{MFV})(T_{max} - 25)$$

$$V_{mp_{\min}(T_{\max})} = 42.8 + \left(\frac{-0.34}{100}\right)(42.8)(71.35 - 25)$$

$$V_{mp_{\min}(T_{\max})} = 36.05 \text{ V}$$

- **Análisis de la Corriente para Temperatura Mínima:**

$$I_{SC_{\min}(T_{\min})} = I_{SC_{MFV}} + \alpha_{sc}(I_{SC_{MFV}})(T_{\min} - 25)$$

$$I_{SC_{\min}(T_{\min})} = 12.28 + \left(\frac{0.04}{100}\right) \times 12.28 \times (15.4 - 25)$$

$$I_{SC_{\min}(T_{\min})} = 12.23 \text{ A}$$

- **Análisis de la Corriente para Temperatura Máxima:**

$$I_{SC_{\max}(T_{\max})} = I_{sc} + I_{sc}(T_{\max} - 25)$$

$$I_{SC_{\max}(T_{\max})} = 12.28 + 12.28(71.35 - 25)$$

$$I_{sc-\max} = 12.50 \text{ A}$$

#### 4.3.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS POR STRING

Parámetros técnicos del inversor:

$$V_{\max-DC} = 65 \text{ V}, V_{star-DC} = 22 \text{ V}, V_{mppt-min} = 16 \text{ V}, V_{mppt-max} = 60 \text{ V}$$

Cálculo del límite 1 por voltaje máximo en DC del inversor y voltaje de arranque en DC del inversor:

$$\#MaxMFV_1 = \frac{V_{\max-DC} Inversor}{V_{OC-\max} MFV} = \frac{65}{52.94} = 1.22$$

$$\#MaxMFV_1 = \frac{V_{start-DC} Inversor}{V_{OC-\min} MFV} = \frac{22}{45.7} = 0.481$$

**LIMITE 1:** el límite es 1 panel fotovoltaico

Cálculo del límite 2 por voltaje MPPT máximo y mínimo del inversor:

$$\#MaxMFV_2 = \frac{V_{mppt-max}Inversor}{V_{mppt-max}MFV} = \frac{60}{44.19} = 1.35$$

$$\#MaxMFV_2 = \frac{V_{mppt-min}Inversor}{V_{mppt-min}MFV} = \frac{16}{36.05} = 0.44$$

**LIMITE 2:** el límite es 1 panel fotovoltaico

Analizando ambos limites, la cantidad de módulos fotovoltaicos que cumplen ambas condiciones es 1 modulo fotovoltaico por string.

#### 4.3.3. CÁLCULO DE NÚMERO DE STRINGS PARA EL INVERSOR

$$\# \frac{String}{inversor} = \frac{Pot - DC - inv}{\#MFV(Pot \frac{max}{MFV})} = \frac{670W(2)}{1(505)} = 2.65$$

Para no exceder el 90% de la carga total a suplir para estar dentro de los parámetros de la norma UPR y recordando que el inversor solo cuenta con dos entradas de MPPT y cada MPPT cuenta con solo 1 entrada, se considerarán 2 strings.

Verificación de parámetros eléctricos de la ficha técnica del inversor.

$$Pot_{entrada inversor} = \left( \frac{\#MFVT}{STRINGS} \right) (\#strings)(Pot_{maxMFV})$$

$$Pot_{entrada inversor} = 1(2)(505) = 1010W < 1340W$$

$$Vmáx_{entrada inversor} = (Voc, max, MFV)(\#MFV) = 52.94(1) = 52.94V < 60V$$

$$Imáx_{entrada inversor} = (Iscmáx, MFV)(\#Strings) = (12.50)(2) = 25A < 28A$$

$$V_{mppt, max} = (V_{mppt, max, MFV})(\#MFV) = 44.19(1) = 44.19V < 60V$$

$$V_{mppt, min} = (V_{mppt, min, MFV})(\#MFV) = 36.05(1) = 36.05V > 16V$$

CARGA DEL INVERSOR: La norma UPR especifica que solo el 90% debe suplirse como máximo si dividimos la potencia instalada entre los 1000W que entrega el inversor da como resultado 1.035, por lo tanto, solo necesitamos un inversor y este estaría aportando el 87% de la carga total estamos por debajo del 90% que solicita la norma UPR.

<b>Descripción</b>	<b>Detalle</b>
Panel solar TRINA SOLAR TSM-DE18M (II)-500	2 paneles
Inversor HOYMILES HMS-1000-2T	1 inversor
Potencia fotovoltaica	1000 watt

*Tabla 13. Resultados del dimensionamiento solar fotovoltaico.*

#### 4.4. ESTUDIO DE PATRONES DE SOMBRA

El punto exacto que se evaluara en la terraza 5 es Latitud 14.00934° y Longitud - 88.94194°, la carta cilíndrica de este lugar es la mostrada en figura 61.

Correlativo	A	B	C	D	E	F
1	0.00	0.00	0.00	0.05	0.14	0.18
2	0.48	0.58	0.69	0.76	0.73	0.70
3	1.51	1.62	1.47	1.48	1.33	1.23
4	1.98	2.11	2.20	2.15	1.88	1.72
5	2.57	2.72	2.79	2.70	2.33	2.11
6	2.95	3.11	3.17	3.05	2.63	2.37
7	3.08	3.25	3.11	3.18	2.73	2.46
8	2.95	3.11	3.17	3.05	2.63	2.37
9	2.57	2.72	2.79	2.70	2.33	2.11
10	1.98	2.11	2.20	2.15	1.88	1.72
11	1.26	1.38	1.47	1.48	1.33	1.23
12	0.48	0.58	0.69	0.76	0.73	0.70

Tabla 14. Coeficientes de perdidas por sombreado para inclinación de 15°.

#### 4.4.1. CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS POR SOMBRA PARA EL TERRENO EN ANÁLISIS

El punto donde se pretende colocar los paneles solares y donde se hará la evaluación de perdidas por sombra presenta a su alrededor 3 obstáculos, estos son las copas de las huertas que sobresalen respecto a terraza 5 (1.20 metros de altura), los cercos perimetrales del terreno mismo (2 metros de altura) y el tanque de agua (4.77 metros de altura), estos obstáculos se muestran en las figuras 59 y 60 con el azimut y distancia respecto al punto de análisis.

$$Perdidas\ sombra\ (\%) = \sum_1^{13} (f * A_n + f * B_n + f * C_n + f * D_n + f * E_n + f * F_n)$$

Tomando de referencia la figura 61 y la tabla 14 factores de sombra tenemos una tenemos como resultado: **Perdidas por sombra = 5.41%** y un **Factor de perdidas sombra = 0.946**

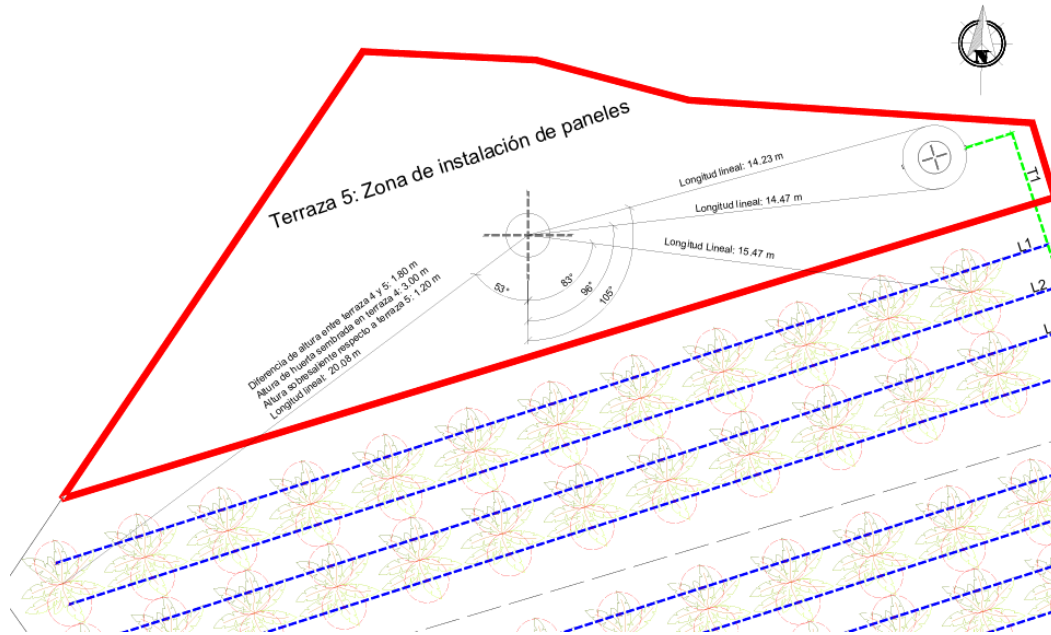


Figura 59. Ubicación de objetos generadores de sombra, parte 1.

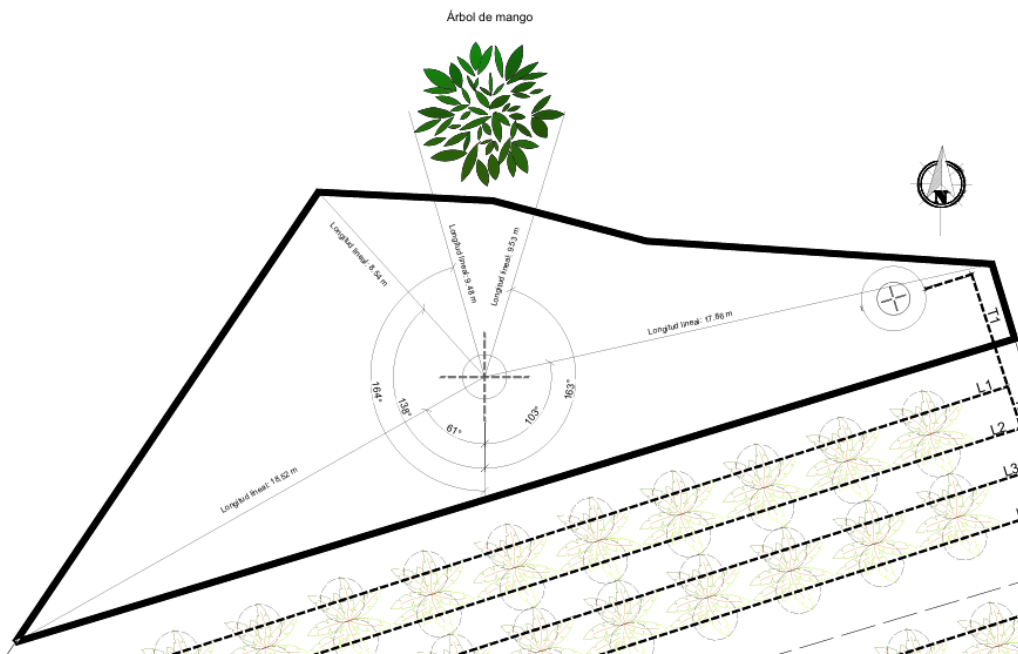


Figura 60. Ubicación de objetos generadores de sombra, parte 2.

Los puntos graficados sobre la carta solar cilíndrica se muestran a continuación en figura 60.

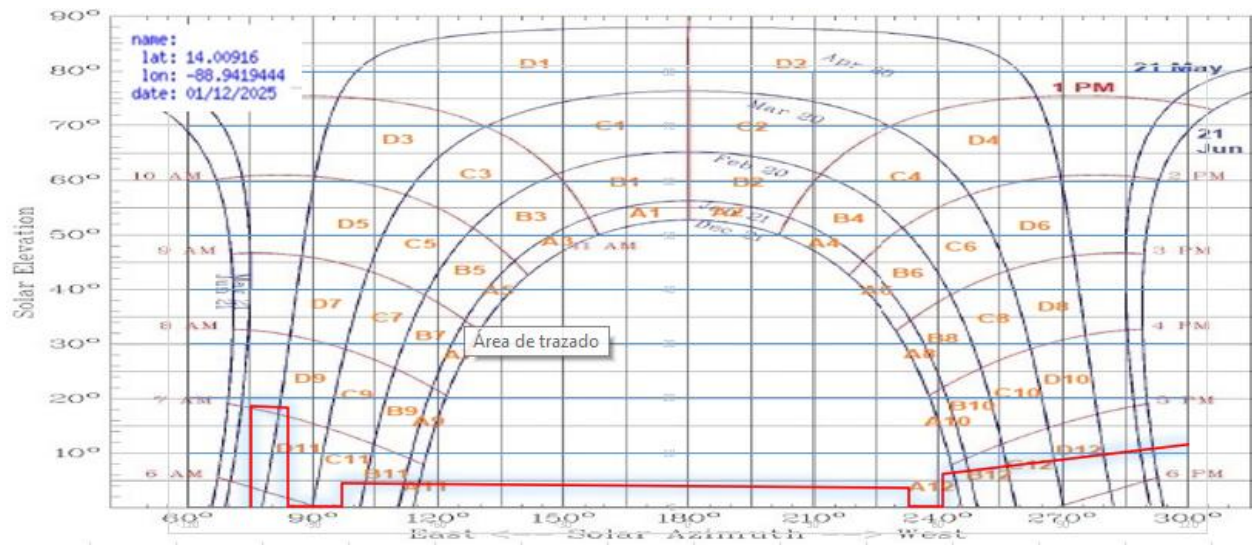


Figura 61. Carta solar cilíndrica del punto Latitud 14.00934° y Longitud -88.94194°

#### 4.5. SIMULACIÓN SOFTWARE PVSYST

Con ayuda del software PVSyst se simulará el arreglo fotovoltaico ya seleccionado en el punto anteriormente mencionado, con el objetivo de respaldar nuestros cálculos manuales y estimar la producción de energía que se obtendrá del diseño propuesto.

Al ser solo dos paneles fotovoltaicos se pondrán en paralelo, para no tener problemas de distanciamiento entre ellos, las coordenadas Latitud  $14.00934^\circ$  y Longitud  $-88.94194^\circ$ , los paneles seleccionados, el inversor y así como los obstáculos mostrados en las figuras 62 y 63 se introducirán en el software.

Este da como resultado un reporte donde especifica un resumen del arreglo fotovoltaico y la producción estimada, este se muestra en Anexo 4, para fines prácticos se mostrará un resumen de los resultados en la tabla .

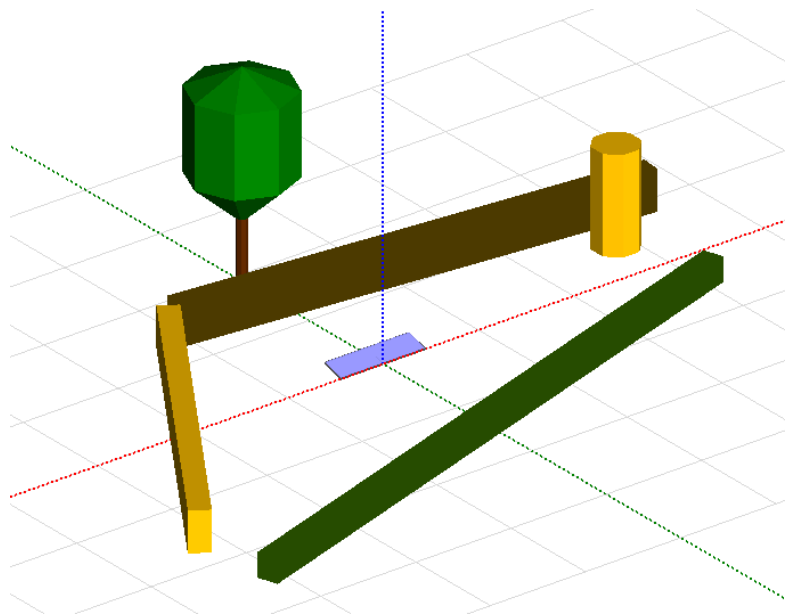


Figura 62. Modelado de obstáculos generadores de sombra (isométrico).

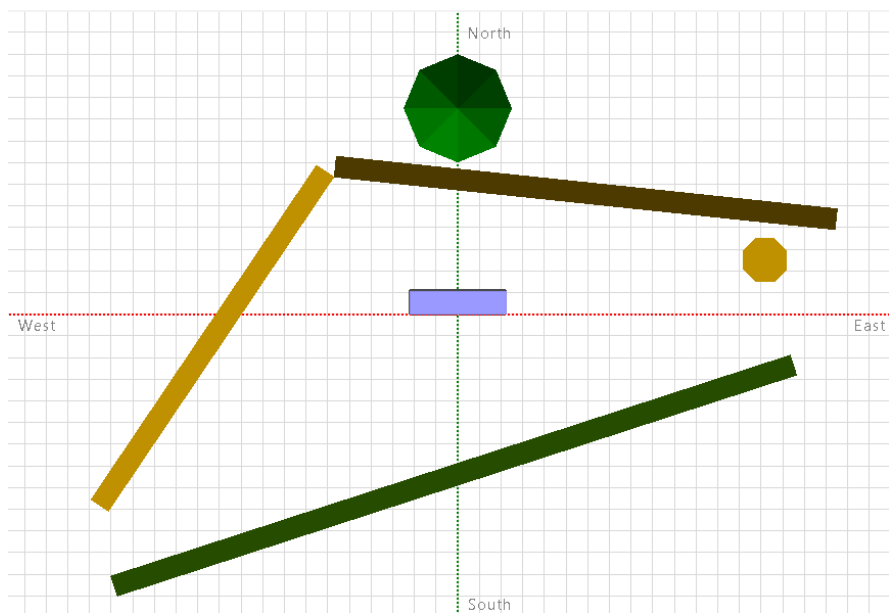


Figura 63. Modelado de obstáculos generadores de sombra (vista de planta).

<b>COMPONENTES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Detalle</b>
Panel solar TRINA SOLAR TSM-DE18M (II)-500	2 paneles
Inversor HOYMILES HMS-1000-2T	1 inversor
Potencia fotovoltaica	1000 Wp
<b>RESULTADOS DE SIMULACIÓN</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Detalle</b>
Generación mensual mes enero	174.1 kWh
Generación mensual mes febrero	158.0 kWh
Generación mensual mes marzo	177.1 kWh
Generación mensual mes abril	154.5 kWh
Generación mensual mes mayo	147.9 kWh
Generación mensual mes junio	138.7 kWh
Generación mensual mes julio	157.8 kWh
Generación mensual mes agosto	154.7 kWh
Generación mensual mes septiembre	146.0 kWh
Generación mensual mes octubre	137.7 kWh
Generación mensual mes noviembre	146.1 kWh
Generación mensual mes diciembre	163.0 kWh
Consumo total medio mensual estimado	41.47 kWh
Energía mensual media por suplir por parte del arreglo fotovoltaico	36.08 kWh
Energía mensual media que suplirá la red	5.39 kWh
Hora solar pico promedio	5.65 h
Índice producción anual considerando generación continua	1784 kWh/ kWp/año

Tabla 15. Resumen de resultados de simulación.

#### **4.6. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA**

Las normas que restringen y proporcionan buenas prácticas para nuestro sistema solar fotovoltaico y la instalación eléctrica del sistema son:

- National Electrical Code (NEC) por la organización National Fire Protection Association (NFPA).
- Norma para Usuarios Finales Productores de Energía Eléctrica con Recursos Renovables en El Salvador (UPR) por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET).

Para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico on grid, es necesario el arreglo mostrado en la figura 64, en donde se toma en cuenta diferentes factores como la instalación de protecciones tanto en el lado de AC como en el lado de DC, la referencia a tierra de todos los componentes involucrados y también, el medidor bidireccional a ser suministrado e instalado por la distribuidora, el cual tiene la función de cuantificar la cantidad de energía suministrada por la red y la cantidad de energía inyectada a la red por el sistema de generación (en esta caso sistema fotovoltaico).

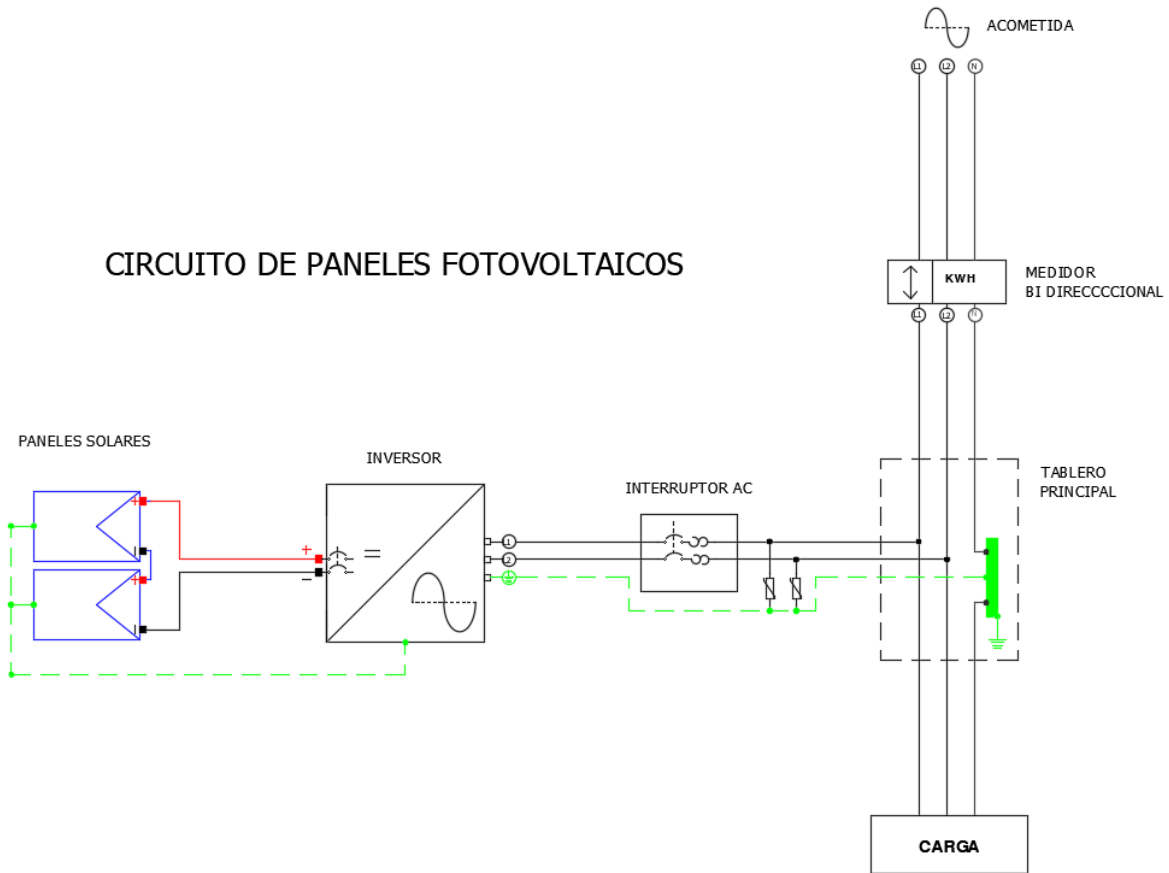


Figura 64. Arreglo de conexión de sistema fotovoltaico.

Para ilustrar de mejor manera el sistema eléctrico del arreglo propuesto, se hace uso de un diagrama unifilar como el que se muestra en la figura 65, en el cual se detalla algunas de las conexiones y protecciones para los elementos que componen el sistema de bombeo solar.

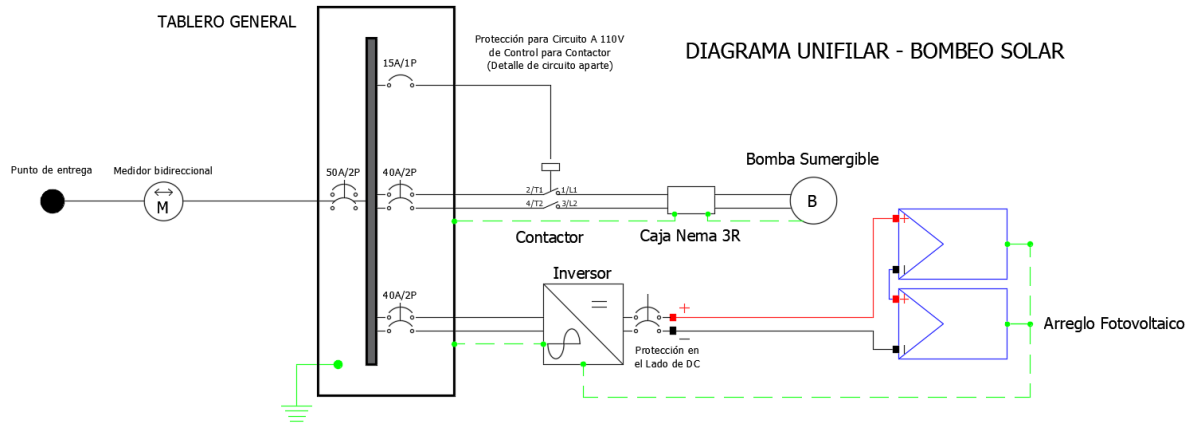


Figura 65. Diagrama Unifilar.

Para el control del encendido y apagado de la bomba sumergible se toma en cuenta dos parámetros de control y de seguridad, el primero de ellos es el valor de consigna de nivel de líquido en el tanque de almacenamiento, el segundo es por motivos de seguridad de la bomba sumergible, y se trata del nivel de agua en el pozo, para ilustrar esto, se tiene en circuito de control de la figura 66.

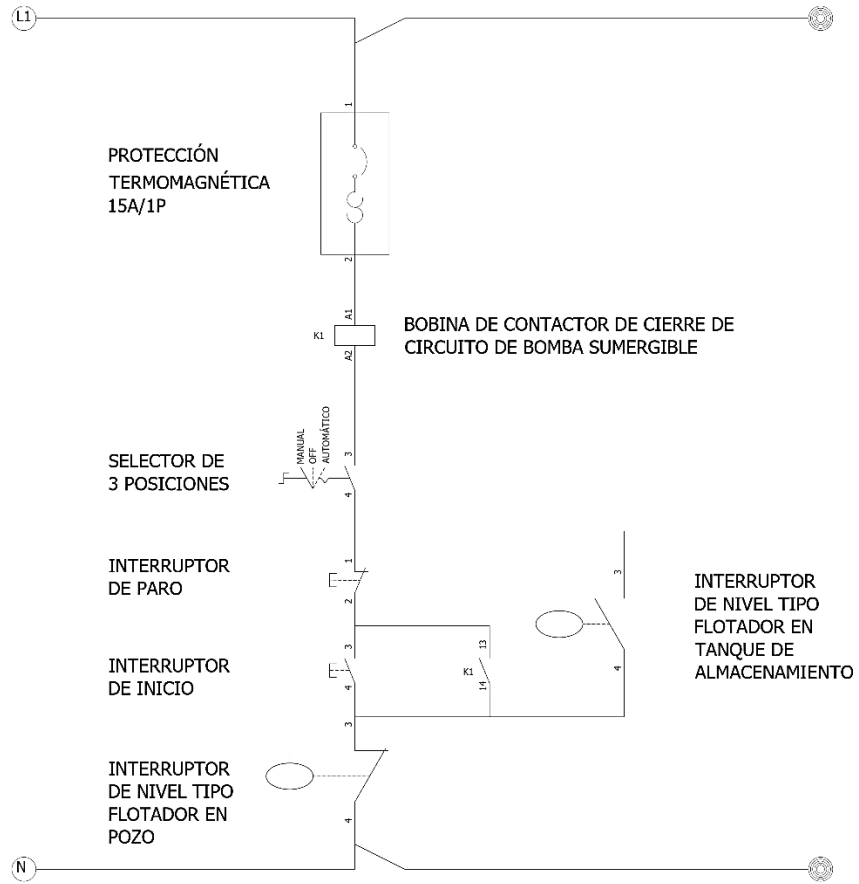


Figura 66. Circuito de Control de Contactor de Bomba Sumergible.

## **CAPÍTULO 5. ANÁLISIS ECONÓMICO**

El análisis económico constituye una parte fundamental en la evaluación integral de proyectos de infraestructura y sistemas energéticos, ya que permite determinar la viabilidad financiera y la sostenibilidad en el tiempo de las inversiones realizadas. En este capítulo se abordará de manera detallada el retorno de inversión asociado a la parte eléctrica, considerando tanto la eficiencia operativa como los beneficios derivados de la reducción de costos energéticos.

Asimismo, se presentará un desglose de los costos totales de los componentes a utilizar, incluyendo equipos principales, accesorios y materiales complementarios, con el fin de establecer una visión clara y transparente sobre la inversión inicial requerida. Este análisis se complementará con la estimación de la vida útil de cada componente, aspecto esencial para proyectar la durabilidad del sistema y calcular con precisión el retorno de inversión en función del tiempo.

Finalmente, se incorporarán los gastos administrativos vinculados a la gestión del proyecto, tales como procesos de adquisición, supervisión técnica y documentación institucional, los cuales representan un factor relevante dentro de la estructura de costos. La integración de estos elementos permitirá construir un marco económico sólido, que no solo refleje la inversión inicial, sino también la rentabilidad y sostenibilidad del sistema a lo largo de su ciclo de vida.

## 5.1. PRESUPUESTO DE SISTEMA HIDRÁULICO Y FOTOVOLTAICO

A continuación, en la tabla 16 se muestra la lista de cantidades, el precio unitario y el total de la inversión a realizar en las instalaciones eléctricas e hidráulicas.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	P. UNITARIO [USD]	TOTAL
<b>1</b>	<b>INSTALACION HIDRÁULICA</b>				
1,01	Tanque Cisterna	1,0	U	\$ 2.719,00	\$ 2.719,00
1,02	Tubería Galvanizada Roscada 1 1/4"	80,0	ML	\$ 6,30	\$ 504,00
1,03	Codos a 90°	12,0	ML	\$ 0,65	\$ 7,80
1,04	Válvula Check	1,0	U	\$ 6,25	\$ 6,25
1,05	Contador	1,0	U	\$ 125,00	\$ 125,00
1,06	Acoplamiento en T	1,0	U	\$ 3,25	\$ 3,25
1,07	Válvula de Globo	1,0	U	\$ 12,15	\$ 12,15
1,08	Goteros	202,0	U	\$ 2,13	\$ 430,26
1,09	Camisa Galvanizada	14,0	U	\$ 1,80	\$ 25,20
1,10	Bomba Sumergible	1,0	U	\$ 410,00	\$ 410,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 4.242,91</b>
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	P. UNITARIO [USD]	TOTAL
<b>2</b>	<b>INSTALACION ELÉCTRICA</b>				
2,01	Paneles Solares	2	U	\$ 300,00	\$ 600,00
2,02	Cable THHN #10 negro	60	ML	\$ 0,89	\$ 53,40
2,03	Cable THHN #10 rojo	60	ML	\$ 0,89	\$ 53,40
2,04	Cable THHN #10 verde	60	ML	\$ 0,89	\$ 53,40
2,05	Dado termo magnetico 30A 2P	1	U	\$ 14,95	\$ 14,95
2,06	Caja Térmica Nema 3R 70A 240V 2cir	1	U	\$ 63,00	\$ 63,00
2,07	Conduit Galvanizado delgado	60	ML	\$ 2,60	\$ 156,00
2,08	Térmico 40A 2P	1	U	\$ 17,00	\$ 17,00
2,09	Inversor de Corriente	1	U	\$ 270,00	\$ 270,00
2,1	Honorarios profesionales/técnicos (contribución por parte de la Universidad de El Salvador realizado por los egresados responsables del presente trabajo)	3	-	\$ -	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 1.281,15</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 5.524,06</b>

Tabla 16. Presupuesto de Instalaciones Eléctricas e Hidráulicas.

## 5.2. RETORNO DE LA INVERSIÓN

El retorno de inversión se debe tener en cuenta la vida útil estimada que proporcionan los fabricantes para lograr un cálculo preciso, la tabla 17 muestra el consolidado de la vida útil de los componentes que forman parte del sistema solar fotovoltaico.

<b>Componente/Equipo</b>	<b>Vida útil estimada</b>
Trina Solar Vertex 500	25-30 años
Hoymiles HMS 1000-2T	15-25 años
Cable THHN#8	20-30 años
Conduit metálico	20-30 años
Dado 20A 2P	15-20 años
Caja térmica Nema 3R 70 A 240V	20-25 años

*Tabla 17. Vida útil de los componentes. Fuente: Fichas técnicas de fabricantes*

Se procede a hacer los cálculos del ahorro mensual que representa la utilización del sistema solar fotovoltaico.

La potencia instalada entra en el rango de pequeñas demandas bloque 1 establecido en el pliego tarifario del 01 de mayo al 31 de julio de 2025 por la SIGET.

<b>Detalle</b>	<b>Cargo (USD)</b>
Cargo de comercialización-Cargo fijo (US\$/Usuario-mes)	0.867998
Cargo de Energía-Cargo Variable (US\$/kWh)	0.192553
Cargo de Distribución-Cargo variable (US\$/kWh)	0.032119

*Tabla 18. Pliego Tarifario CAESS para consumidor final pequeña demanda bloque 1.*

<b>Detalle</b>	<b>Monto (USD)</b>
Cargo de comercialización-Cargo fijo	0.87
Cargo de Energía-Cargo Variable	7.99
Cargo de Distribución-Cargo variable	1.33
Total, facturación mensual	10.19

*Tabla 19. Tabla costo mensual de energía sin paneles.*

Detalle	Monto (USD)
Cargo de comercialización-Cargo fijo	0.87
Cargo de Energía-Cargo Variable	1.03
Cargo de Distribución-Cargo variable	0.17
Total, facturación mensual	2.08
<b>AHORRO MENSUAL</b>	<b>8.11</b>

*Tabla 20. Tabla costo mensual de energía con paneles fotovoltaicos.*

$$\text{Tiempo de retorno de la inversión} = \frac{\text{USD } 1281.15 - 45}{\text{USD } 97.32} = 12 \text{ años y } 8 \text{ meses}$$

El cálculo de retorno de inversión no sobrepasa ninguna vida útil de los equipos y componentes mostrados en la tabla 16.

Este cálculo solo aplica para el retorno de inversión en contexto de que solo la bomba operara, los paneles tienen capacidad de alimentar más equipos luego de que la bomba no funcione que en promedio la bomba operara al día solo 1 hora con 12 minutos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Conforme a los resultados obtenidos en la simulación y los cálculos realizados, el sistema solar fotovoltaico propuesto garantizará de manera satisfactoria el suministro del 87% de la carga total requerida por la bomba durante su operación, sin superar el 90% como lo indica la norma UPR de la SIGET.
- El incremento en el diámetro de la tubería ya especificados y seleccionados en el circuito hidráulico, desde el pozo hasta el tanque de almacenamiento de 10,000 litros y el circuito hidráulico de riego, genera una reducción mínima en la velocidad del agua y, en consecuencia, una disminución igualmente baja en las pérdidas de carga. No obstante, esta modificación implicaría un aumento en el costo de la instalación., caso inverso ocurre al disminuir el diámetro de la tubería de ambos circuitos hidráulicos, el precio de la tubería disminuye, sin embargo la velocidad del agua aumenta y las perdidas aumentan obligando al sistema a incurrir en mayores gastos en mejorar la obra civil y la selección de una bomba con mayor capacidad de altura para el caudal requerido.
- Se estima que el retorno total de la inversión del sistema solar fotovoltaico se alcanzará en un periodo de 13 años y 10 meses. A partir de ese momento, el sistema comenzará a generar beneficios netos, contribuyendo positivamente a la rentabilidad del proyecto mediante la disminución de la factura eléctrica.
- Se establece que la bomba seleccionada cumple de manera satisfactoria con las condiciones de operación requeridas. Por tanto, la elección de una bomba con mayor capacidad de caudal podría incrementar el riesgo de vaciado del pozo y elevar los costos de instalación. Por otro lado, optar por una bomba de menor

capacidad reduciría el costo inicial de la instalación, pero implicaría un mayor tiempo de funcionamiento, lo que afectaría negativamente su mantenimiento y vida útil. En consecuencia, ambos escenarios tienden a equilibrar el costo total del sistema a largo plazo.

- En un sistema de riego por goteo, los goteros requieren generalmente una presión en el agua mayor a comparación de otros sistemas de riego, además de las pérdidas de presión que se dan por las tuberías y accesorios, esto obliga al cultivador que hace uso de esta técnica en áreas igual a media manzana o mayores la utilización de una bomba para aportar mayor presión y así lograr el funcionamiento de los goteros. La disposición escalonada del terreno posibilita el aprovechamiento de la energía potencial gravitatoria para generar las presiones necesarias que garantizan el adecuado funcionamiento del sistema hidráulico de riego por goteo, eliminando así la necesidad de efectuar el riego directamente con la bomba
- El Agua subterránea extraída mediante un pozo es la fuente de agua seleccionada para el riego agrícola en el terreno en análisis. En el marco legal no está limitada al grado de la prohibición para uso agrícola como es el caso del agua potable que distribuye la Alcaldía en la comunidad de San Miguel de Mercedes. En el marco económico la fuente de agua subterránea se presenta como la alternativa más viable y estratégica ya que su contraparte el agua pluvial, requiere una inversión mayor para la obra civil ya que requiere de una extensión muy considerable para crear el módulo de captación y el de redireccionamiento de lluvia hacia el mismo, este representa además un costo de oportunidad alto debido a que requiere de mucho espacio que pueda ser destinada para cultivo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo un segundo estudio orientado a identificar alternativas que permitan aprovechar plenamente las horas solares que no son utilizadas por el sistema hidráulico de bombeo. Dicho análisis deberá considerar la incorporación de otros equipos capaces de brindar servicios útiles al propietario o a la comunidad, así como la posibilidad de destinar la electricidad generada a su comercialización.
- Se recomienda realizar estudios geológicos de suelo que incluyan tanto métodos invasivos, como las perforaciones de exploración, así como técnicas no invasivas, entre ellas el análisis de resistividad eléctrica. El objetivo de dichos estudios es lograr una interceptación precisa de las fuentes de agua subterránea, evitando así incurrir en gastos innecesarios o en pérdidas significativas de inversión.
- Se recomienda llevar a cabo un estudio económico orientado a determinar el tiempo de retorno de la inversión que genera la huerta de plátano. Dicho análisis deberá contemplar de manera integral los costos asociados a la obra civil, el sistema hidráulico de llenado de tanque, el sistema hidráulico de riego, así como las labores de mantenimiento del cultivo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Ley General de Recursos Hídricos. (s. f.). Portal de Transparencia.*

<https://www.asa.gob.sv/ley-del-agua/>

2. *Reglamento General de la Ley de Riego y Avenamiento. (s. f.). Portal de Transparencia.*

<https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/52reglamento-general-de-la-ley-de-riego-y-avenamiento.pdf>

3. *Tipo de sistema de riego y sus características. (s. f.). AQUAE FUNDACIÓN.*

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-riego/>

4. *Evaluación de diferentes tipos de riego en cultivos agrícolas. (s. f.). Universidad Laica «Eloy Alfaro» de Manabí Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agropecuaria.*

<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/ULEAM-AGRO-0029.pdf>

5. *Energías Renovables / Jaime Gonzáles Velasco. Barcelona, Reverté, 2009.*

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bl6L8E\\_9t1kC&oi=fnd&pg=PA35&dq=energias+renovables&ots=rajwng\\_9Nj&sig=Fzw\\_NBlzjAR-Aq0H5LSCgBWG8#v=onepage&q&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bl6L8E_9t1kC&oi=fnd&pg=PA35&dq=energias+renovables&ots=rajwng_9Nj&sig=Fzw_NBlzjAR-Aq0H5LSCgBWG8#v=onepage&q&f=true)

6. *SOLAR, P. (2020). Energía solar. Acceso en, 15(03), 202013-2014.*

<https://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013->

[2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20\(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica\)/2\\_Solar/Solar\\_Resumen.pdf](https://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013-2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica)/2_Solar/Solar_Resumen.pdf)

7. *Abella, M. A. (2005). Sistemas fotovoltaicos. SAPT Publicaciones Técnicas, SL.*

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS\\_FOTOVOLTAICOS-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS-)

[libre.pdf?1438653204=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS-libre.pdf?1438653204=&response-content-)

[disposition=inline%3B+filename%3DSistemas\\_fotovoltaicos\\_Sistemas\\_Fotovolt.pdf&Expires=](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS-libre.pdf?1438653204=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSistemas_fotovoltaicos_Sistemas_Fotovolt.pdf&Expires=)

[1745008299&Signature=OIFHyZvaqhw9wEXr-k04lB5NbslBt-hjStBpSmLfuTnsYBp7xSXzqsBP16aNdWIBPD7teuo0ZsXh2bjaLHrrINHhNpt9U8dfThUuxFps72-C3Ll0zCGdC6LcpwHq-HntOkW6eKldhYcTt21CU8xd7Ia~Ku6wf418furRa40y2Jf1bnFtLf31xQWCshJmirFIGxcUJlkCmToF8s~TrQQ0TKUpyYdLMOlHBliATBZuEeKDhJhf1hqtrIPgHYIpL9pMlnpnE9SaoiVTTmo8K6TPu9wr2BKX45z4p0MtP5RSV2-3Sot453fOZjnaK1Uf4WgrFd9BnCmGC~ZAoTegAECxpA\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente45332.pdf)

8. Abella, M. A., & Romero, F. C. (2009). *Sistemas de bombeo fotovoltaico. Master en Energías Renovables y Mercado Energético.*

<https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente45332.pdf>

9. *Política Nacional de Riego. Ministerio de Agricultura y Ganadería.*

<https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/1POLITICA-NACIONAL-DE-RIEGO.pdf>

10. *Caracterización hidrogeológica de la zona sur del municipio de Chalatenango limítrofe con el embalse Cerrón Grande. (s.f.). Sistema Bibliotecario de Universidad de El Salvador.*

<https://repositorio.ues.edu.sv/items/426a0d11-4c44-4eef-b344-4c45a82399bb>

11. Oviedo Salazar, J. L., M.H, M. H., Guillen, & Serrato. (2015, abril). *Historia y Uso de Energías Renovables. Daena: International Journal Of Good Conscience.* Recuperado 10 de abril de 2024, de

[http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf)

12. *Bomba de Agua Sumergible Ecosolar, DAMIA SOLAR.*

<https://www.damiasolar.com/bomba-de-agua-sumergible-ecosolar-acdc-esp-22-14165-caudal-regulable-segun-n-paneles.html>

13. *Bomba Sumergible de DC, INGCO TOOLS.*

<https://www.web2023.ingcotools.com.uy/catalogo/herramientas/bombas-de-agua/sumergible/bomba-sumergible-24v-67l7min-wadfow-wwpqc24-wfwwpqc24/>

14. *Bomba de Pozo Sumergible, Solar*

<https://www.zripump.com/3-inch-solar-powered-high-quality-centrifugal-submersible-borehole-pump-plastic-impeller-pump-with-mppt-controller/>

15. *Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). Mecánica de fluidos (7ª ed.). Pearson Educación.*

16. *Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional. (2005). Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador: Componente evaluación de recursos hídricos.*

<https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00005/doc00005-contenido.pdf>

17. *CHINT Global. (s. f.). Difference between grid-tied PV inverter and regular inverter. CHINT Global. Recuperado de*

<https://www.chintglobal.com/au/en/about-us/news-enter/blog/difference-between-grid-tied-pv-inverter-and-regular-inverter.html>

18. *June. (2025, 17 de abril). How does a grid tie inverter work? Demystifying the technology behind solar grid connections. Solar Inverter Manufacturers. Recuperado de*

[https://www.solarinvertermanufacturers.com/es/how-does-a-grid-tie-inverter-work/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.solarinvertermanufacturers.com/es/how-does-a-grid-tie-inverter-work/?utm_source=chatgpt.com)

# ANEXOS

## Anexo 1. Extracto permiso para uso de agua con fines de riego proporcionado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE ORDENAMIENTO FORESTAL, CUENCAS Y RIEGO

### SOLICITUD DE PERMISO PROVISIONAL PARA USO DE AGUA CON FINES DE RIEGO

TEMPORADA DE RIEGO: 20\_\_ / AL 20\_\_ / PRIMERA VEZ\_\_ / RENOVACIÓN\_\_ /  
PERIODO DE RECEPCIÓN DE SOLICITUDES EN MAG: ENERO HASTA AGOSTO

**DATOS DEL SOLICITANTE. Conforme a Documento Único de Identidad Código de expediente** \_\_\_\_\_  
1.- Nombre completo: \_\_\_\_\_  
2.- Profesión u oficio: \_\_\_\_\_  
3.- Dirección: \_\_\_\_\_  
4.- Nacionalidad: \_\_\_\_\_  
5.- En representación de: \_\_\_\_\_  
6.- En carácter de: Propietario\_\_ / Apoderado\_\_ / Representante\_\_ /  
Si es apoderado presentar documentación que acredite su personería, Representante Legal presentar Credencial vigente que lo acredite como tal. En todos los casos presentar Documentos que acreditan propiedad, dominio o posesión del inmueble a su favor o de a quien representan Art. 17, 18 del Reglamento General de la Ley de Riego y Avenamiento.-  
7.- Lugar para oír notificaciones: \_\_\_\_\_  
Uso exclusivo cuando hay prevenciones, ya que el permiso lo deberá pasar a retirar a las oficinas del Departamento de Asesoría Jurídica de la DGFCR.  
8.- Medios técnicos electrónicos (dato obligatorio)  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_  
Watsapp: \_\_\_\_\_

**DATOS DE LA PROPIEDAD Conforme a la Escritura de la propiedad.**  
9.- Nombre de la propiedad: \_\_\_\_\_  
10.- Inscripción de registro de la propiedad: \_\_\_\_\_  
11.- Localización: Coordenadas \_\_\_\_\_  
Cantón: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Departamento: \_\_\_\_\_  
Anexar Plano de Ubicación y/o croquis.  
12.- Área total \_\_ Has./ \_\_ Mzs./13.- Área regable: \_\_ Has./ \_\_ Mzs./ 14.- Área a regar: \_\_ Has./ \_\_ Mzs./  
15.- Tipo de fuente de abastecimiento: Río: \_\_/ Quebrada: \_\_/ Nacimiento: \_\_/ Pozo: \_\_/ Puntera: \_\_/   
\* Anexar un plano de ubicación y /o croquis del sitio donde se tomará el agua, ya sea de río, nacimiento o pozo.  
\* Aforos del río en época seca e invierno.  
\* Informe técnico del pozo perforado, según los requisitos mínimos.  
\* Agregar captura o fotografía del caudalímetros, aforador, medidor de agua instalado.  
16.- Nombre de fuente: \_\_\_\_\_  
17.- Clase de cultivo a regar: \_\_\_\_\_  
18.- Sistema de riego: \_\_\_\_\_  
19.- Situación con respecto al río: Ribereño: \_\_/ No ribereño: \_\_/  
20.- Colindantes: Al Norte: \_\_\_\_\_  
Al Sur: \_\_\_\_\_  
Al poniente: \_\_\_\_\_  
Al Oriente: \_\_\_\_\_  
21.- Nombre y dirección de personas que gozan de preferencia de acuerdo al art. 13 de la ley  
Donde nace el agua: \_\_\_\_\_  
Inmuebles ribereños: \_\_\_\_\_  
Inmuebles en orden de proximidad al nacimiento o curso de agua \_\_\_\_\_  
22.- Obras existentes para el riego: Aforador: \_\_/ Puerta de control: \_\_/  
23.- Obras que se proyectan construir: \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES**  
En la temporada anterior se le concedió permiso: Si \_\_/ No \_\_/  
**DECLARACION:** Declaro que la información consignada en esta solicitud, es correcta o verdadera, permitiendo de antemano cualquier investigación que está Dirección General realice para verificarlo, además me obligo a construir o modificar las obras que se me señale previo a autorización de la Dirección General, y a no hacer uso del agua con fines de riego sin haber recibido el permiso o de lo contrario se me seguirá procedimiento administrativo sancionatorio conforme a la Ley de Riego y Avenamiento y no se me otorgará el permiso solicitado. Autorizo a la Dirección General para que se haga uso de la información proporcionada para los efectos de los artículos 24 y 25 de la Ley de Acceso a la Información Pública y 40 del Reglamento de la Ley de Acceso a la Información Pública.  
NOTA: \* La presentación de esta solicitud no constituye permiso provisional para uso de agua con fines de riego.

**FIRMA DEL SOLICITANTE** \_\_\_\_\_ **DUI** \_\_\_\_\_  
Doy fe que la firma que calza el anterior escrito es AUTENTICA, por haber sido puesta en mi presencia de su puño y letra por el Señor/a \_\_\_\_\_, quien es de \_\_\_\_\_ años de edad, \_\_\_\_\_, portador de Documento Único de Identidad número \_\_\_\_\_ a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de dos mil \_\_\_\_\_.

### PARA USO EXCLUSIVO DE LA DIRECCIÓN


RECIBIDA POR: \_\_\_\_\_ LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN: \_\_\_\_\_

## Anexo 2. Ficha Técnica de Panel Solar Fotovoltaico.

Mono **Multi** Solutions

# THE Vertex

**BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE**



---

**510W**  
MAXIMUM POWER OUTPUT

---

**21.2%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

---

**0~+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS	POWER RANGE
TSM-DE18M(II)	485-510W

---

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

**High customer value**

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance Of System) cost, shorter payback time
- Lower guaranteed first year and annual degradation
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher return on Investment

---

**Comprehensive Products and System Certificates**

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730  
 ISO 9001: Quality Management System  
 ISO 14001: Environmental Management System  
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System

**High power up to 510W**

- Large area cells based on 210mm silicon wafers and 1/3-cut cell technology
- Up to 21.2% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection

---


**High reliability**

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

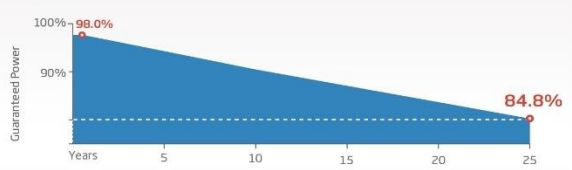
**High energy yield**

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions


---

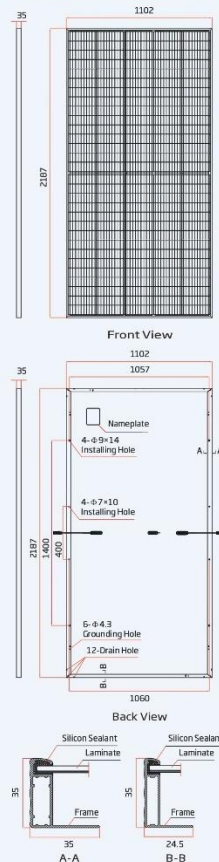
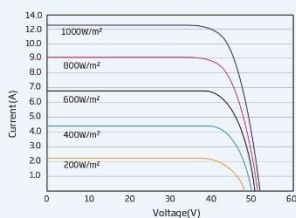
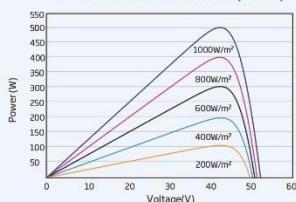


**Trina Solar's Vertex Backsheet Performance Warranty**



Years	Guaranteed Power (%)
0	98.0%
25	84.8%



**DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)**

**I-V CURVES OF PV MODULE(500W)**

**P-V CURVES OF PV MODULE(500W)**

**ELECTRICAL DATA (STC)**

	485	490	495	500	505	510
Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.  
 \*Measuring tolerance: ±3%.

**ELECTRICAL DATA (NOCT)**

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2187×1102×35 mm (86.10×43.39×1.38 inches)
Weight	26.5 kg (58.4 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

**TEMPERATURE RATINGS**

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/°C

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 ~ +85 °C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A

**WARRANTY**

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

**PACKAGING CONFIGURATION**

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 620 pieces

## Anexo 3. Ficha Técnica de Inversor.



Energía abierta para todos



### Ficha técnica del microinversor

**HMS-800-2T**  
**HMS-900-2T**  
**HMS-1000-2T**

#### Descripción

Con una potencia de salida de hasta 1000 VA, la nueva serie de microinversores HMS-1000-2T de Hoymiles se sitúa entre los mejores microinversores 2 en 1.

Cada microinversor puede conectarse a 2 paneles como máximo, con monitoreo y MPPT independiente, lo que maximiza la producción de energía de su instalación.

La nueva solución Sub-1G inalámbrica permite una comunicación más estable con la DTU de puerta de enlace Hoymiles.

#### Características

- |           |   |           |  |
|-----------|---|-----------|--|
| <b>01</b> | Microinversor 2 en 1 de alta potencia con potencia de salida de hasta 1000 VA   | <b>04</b> | El diseño 2 en 1 permite una instalación más rápida  |
| <b>02</b> | Con Control de Potencia Reactiva que cumple con las normas UL 1741, ABNT NBR 16150:2013, etc.                           | <b>05</b> | El monitoreo y seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) independiente garantizan una mayor captación de energía y un mantenimiento más sencillo |
| <b>03</b> | Es más seguro para las estaciones solares de techo, con un sistema optimizado de apagado rápido y transformador aislado | <b>06</b> | La solución inalámbrica Sub-1G permite una comunicación estable en entornos comerciales e industriales   |

## Especificaciones técnicas

Modelo	HMS-800-2T				HMS-900-2T				HMS-1000-2T			
<b>Datos de entrada (CC)</b>												
Módulo de potencia de uso común (W)	320 a +540				360 a +600				400 a +670			
Voltaje de entrada máximo (V)	65											
Intervalo de voltaje de MPPT (V)	16 - 60											
Voltaje de arranque (V)	22											
Corriente de entrada máxima (A)	2 × 12,5				2 × 13,3				2 × 14			
Corriente máxima de cortocircuito de entrada (A)	2 × 20											
Cantidad de MPPT	2											
Cantidad de entradas por MPPT	1											
<b>Datos de salida (CA)</b>												
Alimentación nominal de salida (VA)	800				900				1000			
Corriente nominal de salida (A)	3,85	3,64	3,48	3,33	4,33	4,09	3,91	3,75	4,81	4,55	4,35	4,17
Voltaje nominal de salida	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240
Voltaje nominal de intervalo (V)*	180 - 275											
Frecuencia nominal/intervalo (Hz)*	50/45 - 55 o 60/55 - 65											
Factor de potencia ajustable (@ potencia nominal)	> 0,99 predeterminado 0,8 adelantado ... 0,8 atrasado											
Distorción armónica total (@ potencia nominal)	< 3 %											
Máximo de unidades por cada ramal de calibre AWG 10**	8	8	9	9	7	7	8	8	6	7	7	7
Máximo de unidades por cada ramal de calibre AWG 12**	5	5	5	6	4	4	5	5	4	4	4	4
<b>Eficiencia</b>												
Eficiencia pico de la Comisión de Energía de California (CEC)	96,70%				96,50%				96,50%			
Eficiencia nominal de MPPT	99,80%											
Consumo de energía nocturno (en mW)	< 50											
<b>Datos mecánicos</b>												
Rango de temperatura ambiente (en °F)	-40 to 149 (-40°C to +65°C)											
Dimensiones (ancho × alto × profundidad en inches)	10,28 × 7,09 × 1,38 (261 × 180 × 35,1 mm)											
Peso (lbs)	7,06 (3,2 kg)											
Grado de Protección de la Cubierta	IP67 (NEMA 6) para exteriores											
Enfriamiento	Convección natural, sin ventiladores											
<b>Características</b>												
Comunicación	Sub-1G											
Tipo de aislamiento	Transformador de alta frecuencia (HF) aislado galvánicamente											
Monitoreo	S-Miles Cloud (Sistema de monitoreo Hoymiles)											
Cumplimiento	UL 1741, ABNT NBR 16150:2013, ABNT NBR 16149:2013											

\* :El voltaje nominal/intervalo de frecuencia puede variar en función de los requisitos locales.

\*\* : Consulte los requisitos locales para ver la cantidad exacta de microinversores por ramal.

## Anexo 4. Resumen de Resultados de Simulación.



Version 7.4.0

# PVsyst - Simulation report

## Grid-Connected System

Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

Sheds on ground

System power: 1000 Wp

TERRAZA 5 - El Salvador

| Author



# Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

## PVsyst V7.4.0

VC0, Simulation date:  
22/12/25 19:43  
with v7.4.0

### Project summary

<b>Geographical Site</b> TERRAZA 5 El Salvador	<b>Situation</b> Latitude 14.01 °N Longitude -88.94 °W Altitude 496 m Time zone UTC-6	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> TERRAZA 5 Meteonorm 8.1 (2000-2009), Sat=100% - Synthetic		

### System summary

<b>Grid-Connected System</b>	<b>Sheds on ground</b>	
<b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 15 / 0 °	<b>Near Shadings</b> Linear shadings	<b>User's needs</b> Monthly values
<b>System information</b>		
<b>PV Array</b>		<b>Inverters</b>
Nb. of modules 2 units		Nb. of units 1 unit
Pnom total 1000 Wp		Pnom total 1000 W
		Pnom ratio 1.000

### Results summary

Produced Energy 1783.56 kWh/year	Specific production 1784 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 81.33 %
Used Energy 497.63 kWh/year		Solar Fraction SF 45.01 %

### Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	4
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	6
Loss diagram	7
Predef. graphs	8
Single-line diagram	9
Cost of the system	10
CO <sub>2</sub> Emission Balance	11



Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

**PVsyst V7.4.0**  
 VC0, Simulation date:  
 22/12/25 19:43  
 with v7.4.0

**General parameters**

<b>Grid-Connected System</b>		<b>Sheds on ground</b>											
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>											
Orientation													
Fixed plane													
Tilt/Azimuth	15 / 0 °												
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>											
Average Height	3.0 °	Linear shadings											
		<b>Models used</b>											
		Transposition	Perez										
		Diffuse	Perez, Meteornorm										
		Circumsolar	separate										
		<b>User's needs</b>											
		Monthly values											
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	498	kWh/mth

**PV Array Characteristics**

<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Trina Solar	Manufacturer	Hoymiles
Model	TSM-DE18M-(II)-500	Model	HMS-1000-2T
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	500 Wp	Unit Nom. Power	1.00 kWac
Number of PV modules	2 units	Number of inverters	2 * MPPT 50% 1 unit
Nominal (STC)	1000 Wp	Total power	1.0 kWac
Modules	2 Strings x 1 In series	Operating voltage	16-60 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Phom ratio (DC:AC)	1.00
Pmpp	910 Wp	No power sharing between MPPTs	
U mpp	39 V		
I mpp	23 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	1.00 kWp	Total power	1 kWac
Total	2 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	4.8 m <sup>2</sup>	Phom ratio	1.00

**Array losses**

<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>		<b>Module Quality Loss</b>				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	28 mΩ	Loss Fraction	-0.3 %			
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s							
<b>Module mismatch losses</b>								
Loss Fraction	0.0 % at MPP							
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

PVsyst V7.4.0

VC0, Simulation date:  
22/12/25 19:43  
with v7.4.0

Horizon definition

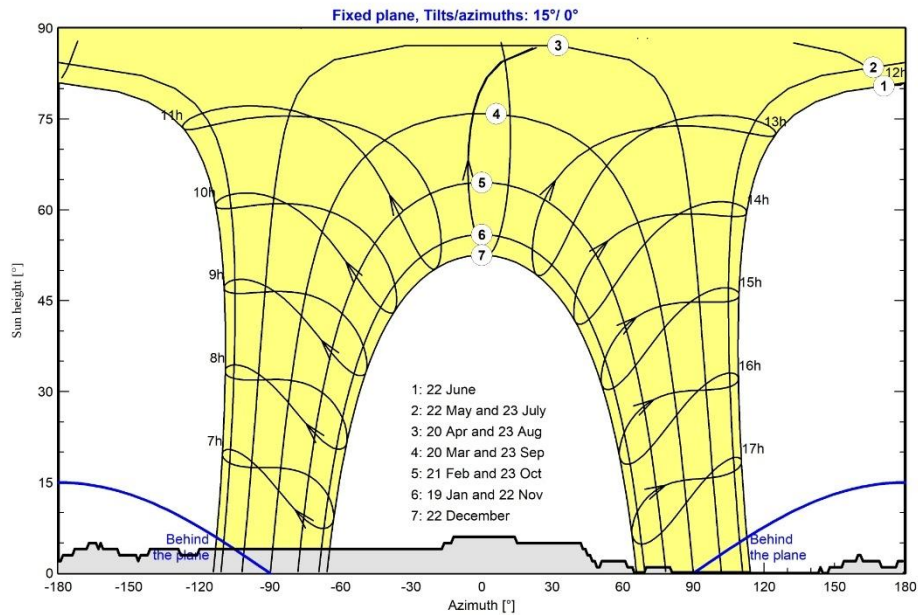
Horizon from Meteornorm web service, lat=14.0093, lon=-88.9419

Average Height	3.0 °	Albedo Factor	0.77
Diffuse Factor	0.99	Albedo Fraction	100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-179	-178	-174	-168	-167	-164	-163	-162	-155	-154	-147	-146	-145
Height [°]	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	4.0	5.0	4.0	3.0	3.0	2.0	3.0
Azimuth [°]	-141	-129	-128	-121	-120	-17	-16	-13	-12	14	15	42	43	44
Height [°]	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.0
Azimuth [°]	45	46	47	48	49	50	51	61	62	64	65	69	70	81
Height [°]	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Azimuth [°]	143	144	145	147	153	154	159	160	161	169	170	176	177	179
Height [°]	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0

Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

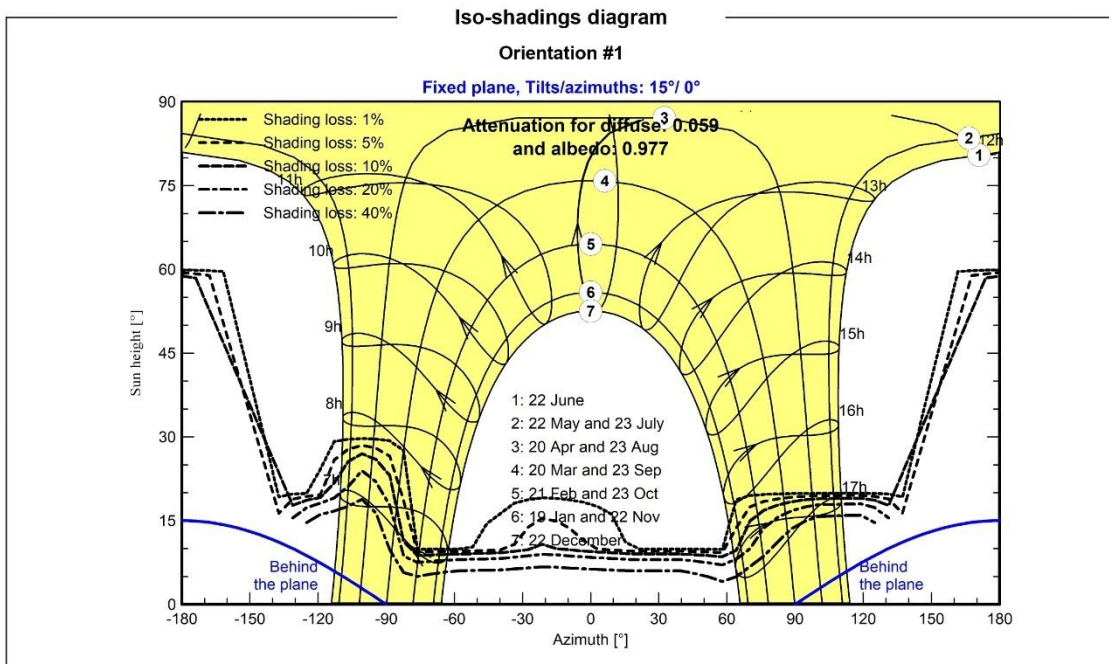
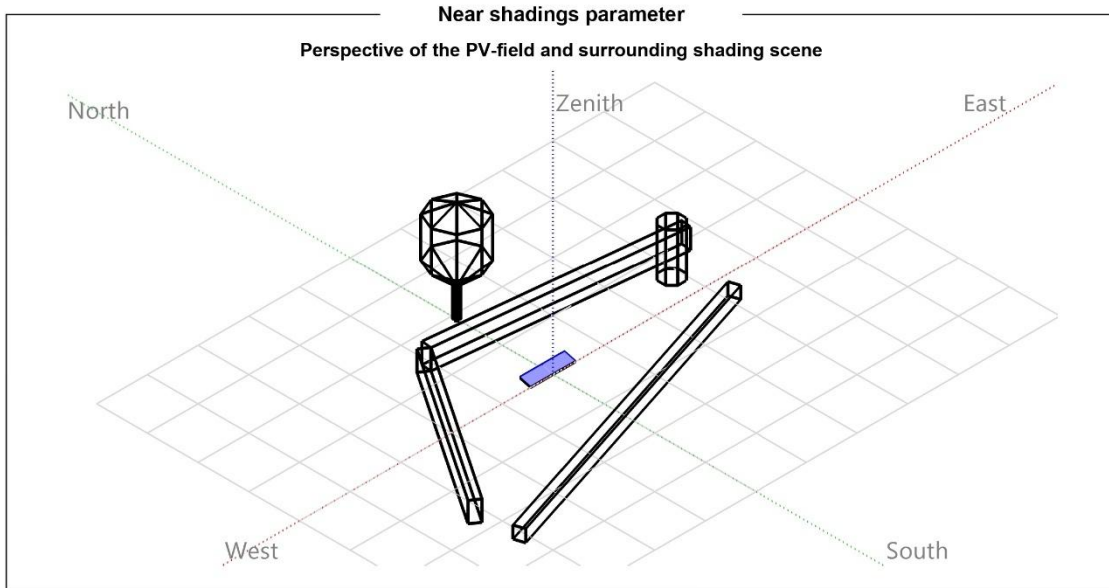




# Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

PVsyst V7.4.0  
VC0, Simulation date:  
22/12/25 19:43  
with v7.4.0





# Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

## PVsyst V7.4.0

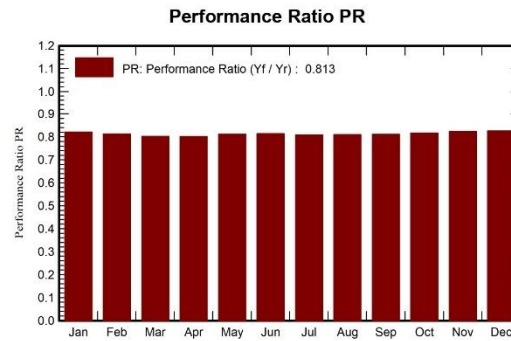
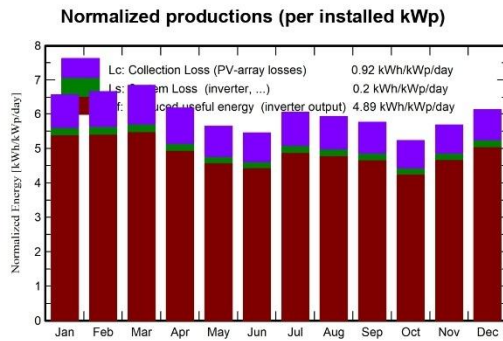
VC0, Simulation date:  
22/12/25 19:43  
with v7.4.0

### Main results

#### System Production

Produced Energy 1783.56 kWh/year  
Used Energy 497.63 kWh/year

Specific production 1784 kWh/kWp/year  
Perf. Ratio PR 81.33 %  
Solar Fraction SF 45.01 %



### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_User kWh	E_Solar kWh	E_Grid kWh	EFrGrid kWh
January	174.2	43.66	24.60	203.8	198.5	174.1	41.47	17.44	149.9	24.03
February	168.6	51.33	25.57	186.7	181.5	158.0	41.47	17.93	133.9	23.54
March	203.1	60.51	26.32	212.1	204.7	177.1	41.47	18.83	151.4	22.64
April	188.5	70.56	26.36	185.3	176.6	154.5	41.47	19.12	129.4	22.35
May	186.0	85.12	26.00	175.0	166.3	147.9	41.47	19.59	122.6	21.88
June	178.6	72.23	25.01	163.6	155.1	138.7	41.47	19.39	113.9	22.08
July	203.7	66.69	25.79	187.6	178.3	157.8	41.47	19.39	132.3	22.08
August	190.4	77.37	25.46	183.7	174.5	154.7	41.47	19.11	129.6	22.36
September	169.9	63.86	24.47	172.8	165.6	146.0	41.47	18.85	121.4	22.62
October	151.8	65.83	24.65	162.0	155.0	137.7	41.47	18.58	113.7	22.89
November	150.4	59.50	24.22	170.5	164.1	146.1	41.47	18.24	122.2	23.22
December	160.8	48.96	24.68	189.8	184.4	163.0	41.47	17.50	139.3	23.97
Year	2126.2	765.63	25.26	2193.1	2104.5	1855.6	497.63	223.98	1559.6	273.65

#### Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

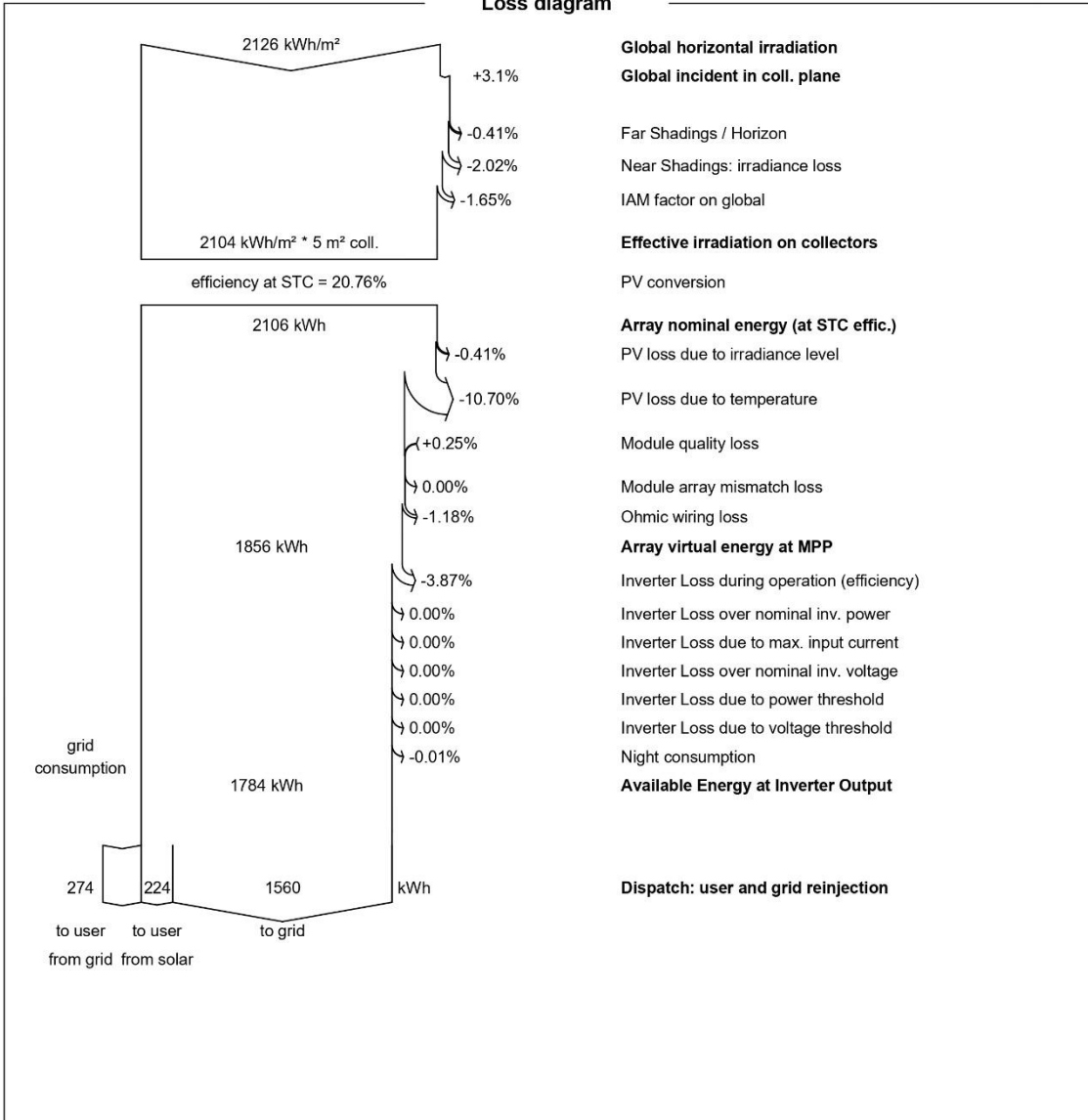


Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

**PVsyst V7.4.0**  
 VC0, Simulation date:  
 22/12/25 19:43  
 with v7.4.0

**Loss diagram**





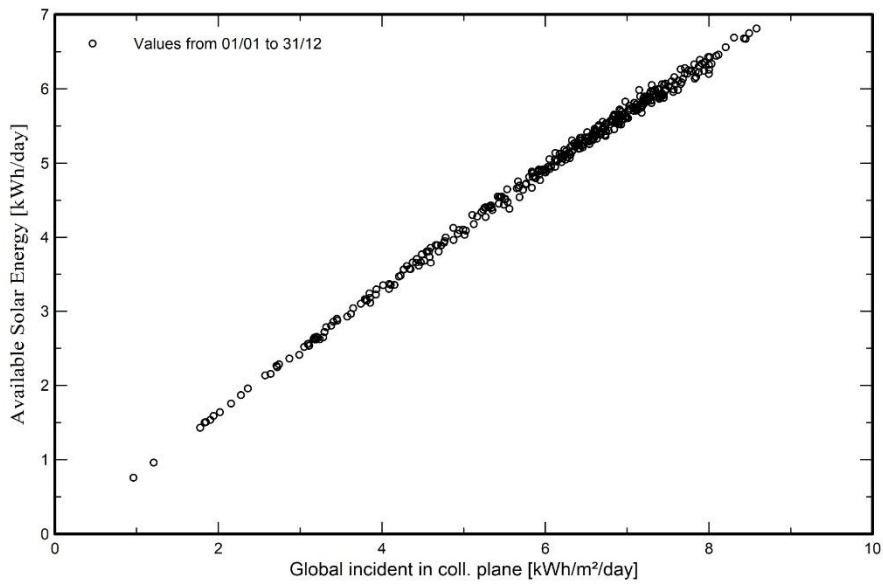
# Project: PANELES TERRAZA 5

Variant: escenario 1

**PVsyst V7.4.0**  
VC0, Simulation date:  
22/12/25 19:43  
with v7.4.0

## Predef. graphs

### Daily Input/Output diagram



### System Output Power Distribution

