



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA  
SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL  
DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**

**Eddie Alberth Maldonado Rodas**

Asesorado por el Ing. César Antonio Maldonado Scoth

Guatemala, agosto de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA  
SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL  
DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDDIE ALBERTH MALDONADO RODAS**

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ANTONIO MALDONADO SCOTH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

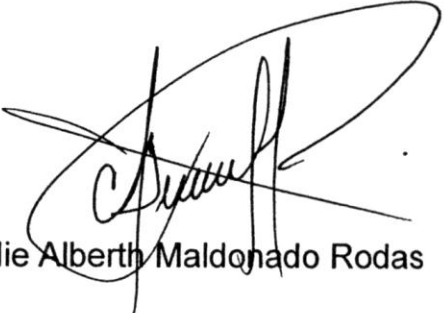
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Marco Vinicio Monzón Arriola
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Roberto Valle González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Mecánica Industrial, con fecha junio de 2009.



Eddie Alberth Maldonado Rodas

Guatemala, 9 de Abril de 2010

Ingeniero  
Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director de Escuela Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Urquizú

Por medio de la presente quiero informarle que el trabajo, estudios e investigaciones del trabajo de graduación PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ del estudiante Eddie Alberth Maldonado Rodas ha sido concluido satisfactoriamente.

Considero que el presente trabajo, reúne todos los requerimientos exigidos por esta facultad, por lo que me permito recomendarlo para continuar con los trámites de aprobación.

Atentamente,



Cesar Antonio Maldonado Scoth  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 6,714

Ing. Cesar Antonio Maldonado Scoth  
Asesor  
Colegiado Activo No. 6714

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PANALES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZA EN EL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Eddie Alberth Maldonado Rodas**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Victor Hugo Garcia Roque  
INGENIERO INDUSTRIAL  
Colegiado No. 5133

Ing. Victor Hugo Garcia Roque  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2010.

/mgp



REF.DIR.EMI.114.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Eddie Alberth Maldonado Rodas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2011.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

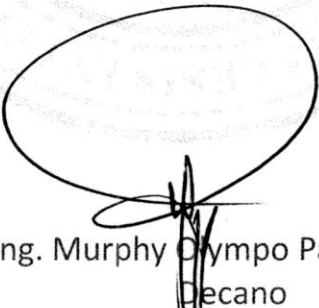


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 300.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PANELES SOLARES COMO FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SISTEMAS DE MINI RIEGO EN PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN EL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario **Eddie Alberth Maldonado Rodas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 22 de agosto de 2011.



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios Padre, Hijo  
y Espíritu Santo**

Por sus cuidados, misericordia y sabiduría para guiarme en el camino del conocimiento.

**Mis abuelos**

Hernán, Dora Luz, Juan de Dios y Amanda, por sus consejos y apoyo.

**Mis padres**

Eddie y Miriam, gracias por estar siempre a mi lado; por ser ejemplo en mi vida, y por permitir ser utilizados por Dios para traerme a esta tierra a cumplir su propósito eterno. Los amo mucho.

**Mi esposa**

Rebeca, gracias por amarme, cuidarme y apoyarme en todo momento. Te amo.

**Mis hijos**

Sofía y Josué (q.e.p.d.), por llenar de alegría mi vida y motivarme a ser cada día mejor. Los amo.

**Mis hermanos**

Luz de María, Pablo, Hernán, Rodolfo, Katherine, Jonathan, Tony, Diego, Keren y Ricardo, por su cariño y apoyo.

**Mis sobrinos**

Ricardo Antonio y Juan Daniel, con todo mi cariño.

**Mis suegros**

Daniel y Martha, por su apoyo espiritual y amor.

**Mis tíos**

Julio Eduardo, Cristina, Georgina, Aura Marina, Rebeca, Eduardo, Abel y Sandra, con especial cariño.

**Mis primos**

Jimmy, Raúl, Jovita, Andrés, Juan Ignacio y Nancy, Ana Vilma, Vanesa, Paola, Humberto, Amanda, Estefanía y Guadalupe, por su cariño.

**Mis amigos**

Gracias por su amistad y cariño.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Mi patria**

Guatemala por ser la tierra que me vio nacer y por nunca perder la fe en que nuestro país es un gran país, lleno de personas maravillosas.

### **La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser mi alma mater de conocimientos e imprimir en mí conciencia la responsabilidad social que cada sancarlista tiene con el pueblo de Guatemala.

### **La Facultad de Ingeniería**

Por haberme forjado como un profesional de la ingeniería y haberme permitido llenarme de tan vastos conocimientos.

### **Mi asesor**

Ing. César Antonio Maldonado Scoth, por sus consejos y apoyo.

### **Asociación de Agricultores Ecológicos (ASAECO)**

Por su incondicional apoyo durante el proceso de recolección de información.

### **Ingeniero Antonio Gerardo Boj García**

Por su colaboración.

### **Al departamento de Quiché**

Por haberme abierto sus puertas y realizar el estudio presente.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Descripción de la comunidad.....	1
1.2. Ubicación.....	5
1.3. Descripción de lugar de estudio.....	6
1.4. Acceso.....	7
1.5. Electricidad.....	7
1.6. Comercialización.....	8
1.7. Climáticos y geográficos generales.....	9
1.8. Recursos hidrológicos.....	10
1.9. Cultivos.....	10
1.10. Infraestructura.....	12
1.10.1. Carreteras.....	12
1.10.2. Electricidad.....	13
1.10.3. Sistemas de riego.....	13
1.10.4. Mercados.....	13
1.10.5. Problemáticas ambientales.....	14
1.11. Asistencia técnica y financiera.....	15
1.11.1. Cooperativas.....	16
1.11.2. Organizaciones no gubernamentales.....	17

2.	DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA SITUACIÓN	
	ACTUAL.....	29
2.1.	Energía solar .....	29
2.1.1.	El sol.....	29
2.1.2.	Irradiancia e insolación .....	31
2.1.2.1.	Sistemas fotovoltaicos .....	32
2.1.2.2.	La celda fotovoltaica .....	32
2.1.2.3.	El panel fotovoltaico.....	38
2.1.2.4.	Sistema eléctrico del sistema fotovoltaico ...	39
	2.1.2.4.1. Conceptos básicos de electricidad.....	39
	2.1.2.4.2. La celda solar de silicio cristalino.....	40
	2.1.2.4.3. Corriente a corto circuito, (I <sub>cc</sub> ) (I <sub>sc</sub> , por sus siglas en inglés)....	42
	2.1.2.4.4. Voltaje a circuito abierto (V <sub>ca</sub> ), V <sub>oc</sub> , por sus siglas en inglés) ...	42
	2.1.2.4.5. Máxima potencia generada (P <sub>m</sub> ) .....	42
	2.1.2.4.6. Módulo o panel fotovoltaico .....	43
	2.1.2.4.7. Arreglos fotovoltaicos.....	45
	2.1.2.4.8. Incrementando el voltaje .....	46
	2.1.2.4.9. Incrementando la corriente .....	46
3.	PROPUESTA DE MODELO A IMPLEMENTAR.....	47
3.1.	Inclinación de los paneles solares .....	47
3.2.	Peculiaridades de las instalaciones de bombeo fotovoltaico .....	48
3.2.1.	Controladores .....	53
3.2.2.	Elección de la bomba.....	53

3.3.	Mantenimiento sistema fotovoltaico .....	54
3.3.1.	Hidráulica de un sistema de bombeo .....	54
3.3.2.	Carga estática .....	55
3.3.3.	Carga dinámica .....	55
3.3.4.	Ecuaciones para el cálculo de pérdidas .....	56
3.3.4.1.	Pérdida en tuberías y accesorios .....	56
3.3.4.2.	Accesorios pérdida de carga media .....	57
3.3.4.3.	Pérdida de carga en cintas de riego .....	57
3.3.4.4.	Cálculos para dimensionar un sistema de bombeo solar .....	59
3.4.	Sistemas de riego (por goteo).....	61
4.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA SU IMPLEMENTACIÓN .....	63
4.1.	Componentes del sistema .....	63
4.2.	Tuberías principales y secundarias.....	64
4.2.1.	Terciarias .....	64
4.2.2.	Laterales .....	64
4.2.3.	Emisores .....	65
4.3.	Necesidades hídricas de los cultivos .....	65
4.3.1.	La evapotranspiración .....	65
4.3.2.	Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos .....	67
4.3.3.	Método de Blaney–Criddle .....	68
4.3.4.	Observaciones del método.....	72
4.3.5.	Coeficiente de cultivo .....	72
4.3.6.	Porcentaje de área humedecida .....	74
4.3.7.	Criterio de cosecha en hortalizas .....	75
4.4.	Gestión de los sistemas de riego .....	75
4.5.	Información general del municipio .....	78

4.6.	Cálculos para dimensionar un sistema de bombeo solar para sistemas de mini riego .....	78
4.7.	Análisis económico del sistema .....	78
4.8.	Mantenimiento del sistema .....	80
5.	MEJORA CONTINUA .....	83
5.1.	Riego por goteo .....	83
5.1.1.	Ventajas .....	83
5.1.2.	Desventajas .....	83
5.2.	Lámina de agua necesaria .....	84
5.3.	Temperaturas máximas y mínimas para el departamento por mes.....	85
5.4.	Datos de precipitación pluvial mensual e insolación diaria .....	86
5.4.1.	Estadísticas .....	86
5.5.	Cálculo de tiempo de riego .....	88
5.6.	Elevación del tanque de agua .....	90
5.7.	Caudal del sistema de bombeo .....	92
5.8.	Cálculo de la carga dinámica total.....	93
5.8.1.	Nivel estático (metros) .....	93
5.8.2.	Altura de descarga.....	93
5.8.3.	Pérdida de tubería .....	93
5.8.4.	Pérdidas por accesorios .....	94
5.9.	Selección de la bomba .....	94
5.10.	Factor de conversión .....	95
5.11.	Cálculo de la corriente .....	96
5.12.	Elección del módulo fotovoltaico .....	96
5.13.	Módulos en paralelo .....	97
5.14.	Módulos en serie .....	97
5.15.	Módulos del arreglo fotovoltaico .....	98

5.16. Tamaño del arreglo fotovoltaico.....	98
5.17. Caudal sistema de bombeo teórico.....	99
5.18. Régimen de bombeo por hora .....	100
5.19. Cálculo de sistema solar.....	100
5.19.1. Programa Win .....	100
CONCLUSIONES .....	103
RECOMENDACIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	111





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. La estructura de la vivienda según Censo Habitacional 2002 INE.....	12
2. Viviendas con servicio de agua entubada y drenajes según Censo Habitacional 2002 INE.....	12
3. Viviendas con servicio de electricidad según Censo Habitacional 2002 INE.....	13
4. Producción del departamento de Quiché.....	16
5. Cooperativa del departamento de Quiché.....	16
6. Listado de ONG's de apoyo a la MIPYME ubicadas en Quiché.....	17
7. Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.....	32
8. Tipos de semiconductores n y p.....	34
9. Funcionamiento de la célula fotovoltaica.....	35
10. Esquema constructivo de una célula fotovoltaica.....	36
11. Componentes de un panel fotovoltaico.....	39
12. Curvas I vs. V y p vs. V para un módulo fotovoltaico típico.....	44
13. Conexión de paneles solares fotovoltaicos.....	45
14. Inclinación del panel solar.....	48
15. Sistema SQFlex solar.....	49
16. Diagrama de flujo de decisiones para bombeo considerando dos tecnologías de generación de energía.....	51
17. Tecnología más apropiada de acuerdo con el volumen diario y la carga dinámica total.....	52

18. Componentes del sistema de riego por goteo.....	63
19. Predicción de la ETo a partir del factor f de Bradley-Criddle para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos.....	70
20. Costos de accesorios de sistema de riego.....	79
21. Componentes necesarios para bombeo de agua eficaz.....	80

## TABLAS

I. Accesorio pérdida de carga media.....	57
II. Factor F para cálculo de pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples.....	59
III. Cálculo de las cargas de bomba de agua.....	60
IV. Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico.....	61
V. Horas de luz por día expresadas como porcentajes del total anual (p) Latitud.....	69
VI. Duración máxima diaria media de las horas de fuente de insolación N en diferentes meses y latitudes.....	71
VII. Duración aproximada de las etapas del ciclo vegetativo de cultivos anuales en días.....	73
VIII. Coeficiente de cultivo Kc de cultivos anuales.....	74
IX. Temperaturas máximas y mínimas para el departamento de El Quiché, por mes.....	85
X. Datos de precipitación pluvial mensual de insolación diaria en el departamento de Quiché.....	86

## GLOSARIO

<b>Abatimiento</b>	Falta o pérdida de fuerza o energía. Inclinación o giro de algo que estaba vertical.
<b>Agrología</b>	Parte de la agronomía que estudia la relación del suelo y la vegetación.
<b>Amorfo</b>	Adj. Sin forma regular o bien determinada. Que carece de personalidad y carácter propio. Geol. (Mineral) no cristalizado.
<b>Arbóreas</b>	Adj. Del Árbol o relativo a él.
<b>Arbustivas</b>	Adj. Con características parecidas a un arbusto.
<b>Biodiversidad</b>	También llamada diversidad biológica, es el término por el que se hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman.
<b>Celda fotovoltaicas</b>	Una celda fotovoltaica tiene como función primordial convertir la energía captada por el sol en electricidad a un nivel atómico.

<b>Centrífugas</b>	Una celda fotovoltaica tiene como función primordial convertir la energía captada por el sol en electricidad a un nivel atómico.
<b>Cinemática</b>	Parte de la mecánica que estudia el movimiento, prescindiendo de las fuerzas que lo producen.
<b>Coeficiente</b>	Adj. Que causa junto con otra cosa un efecto. M. Factor o número que multiplica. Mat. Elemento constante en una multiplicación. Expresión o grado de intensidad de una propiedad o característica.
<b>Difusión</b>	Propagación de algo, principalmente de un conocimiento o una noticia. Extensión, dilatación aumento del espacio que ocupa algo.
<b>Dinámica</b>	Parte de la mecánica que trata de las leyes del movimiento en relación con las fuerzas que lo producen.
<b>Ecosistemas</b>	Comunidad integrada por un conjunto de seres vivos interrelacionados y por el medio que habitan.
<b>Electromagnético</b>	Fis. (Fenómeno) en el que los campos eléctricos y los magnéticos se interrelacionan.
<b>Emisores</b>	Adj y S. Que emite. M. Aparato productor de las ondas hertzianas en la estación de origen.

<b>Enlace covalente</b>	Química, las reacciones entre dos átomos no metales. Este tipo de enlace se produce cuando existe electronegatividad polar y se forma cuando la diferencia de electronegatividad no es suficientemente grande como para que se efectúe transferencia de electrones. De esta forma, los dos átomos comparten uno o más pares electrónicos en un nuevo tipo de orbital, denominado orbital molecular.
<b>Enlace químico</b>	Es el proceso físico responsable de las interacciones atractivas entre átomos y moléculas, y que confiere estabilidad a los compuestos químicos diatómicos y poliatómicos.
<b>Eólico</b>	Adj. Del viento o producido por él.
<b>Estática</b>	Ciencia mecánica o relativa a ella. Conjunto de las leyes que rigen el equilibrio de los cuerpos.
<b>Evaporación</b>	Transformación de un líquido en vapor o gas.
<b>Evapotranspiración</b>	La evapotranspiración es una medida de la cantidad de vapor de agua devuelto al aire en un área dada. Éste combina la cantidad de vapor de agua devuelta a través de evaporación (de la vegetación húmeda y los estomas de las hojas) con la cantidad de vapor de agua devuelto por transpiración (exhalación de la humedad a través de la superficie de la planta) para llegar al total.

<b>Extrínseco</b>	Adj. Externo no esencial.
<b>Fertilización</b>	Preparación de la tierra agregando las sustancias apropiadas para que sea más fértil.
<b>Fotovoltaico</b>	Adj. Fis. (Material o dispositivo) que convierte la energía luminosa en electricidad.
<b>Fricción</b>	Roce de dos cuerpos en contacto.
<b>Hidráulica</b>	Parte de la mecánica que estudia las propiedades mecánicas de los líquidos. Rama de la ingeniería que estudia la manera de conducir y aprovechar las aguas.
<b>Hidroeléctrica</b>	Adj. De la energía eléctrica obtenida por fuerza hidráulica o relativo a ella.
<b>Homogeneidad</b>	Igualdad o semejanza en la naturaleza o el género de varios elementos. Uniformidad en la composición y la estructura de una sustancia o mezcla.
<b>Humedad</b>	Presencia de agua u otro líquido en el ambiente. Agua de que está impregnada un cuerpo o que, vaporizada se mezcla con el aire.
<b>Insolación</b>	Es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).
<b>Ionizante</b>	Adj. Que ioniza. Convertir el ion de un átomo o una molécula.

<b>Irradiancia</b>	Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.
<b>Latitud</b>	Distancia desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador, contada por los grados de su meridiano.
<b>Meteorología</b>	Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos, las propiedades de la atmósfera, y en especial su relación con el tiempo atmosférico y la superficie de la tierra y mares.
<b>Pluvial</b>	Fluvial en la que la mayor parte del caudal procede de las aguas de la lluvia.
<b>Semiconductor</b>	Es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de la temperatura del ambiente en el que se encuentre.
<b>Valencia Química</b>	En química, la valencia, también conocida como número de valencia, es una medida de la cantidad de enlaces químicos formados por los átomos de un elemento químico.
<b>Viscosidad</b>	Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad, todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.





## RESUMEN

El siguiente trabajo presenta cómo aprovechar la energía del sol a través de paneles solares, para ser utilizada en sistemas de bombeo de agua que posteriormente será utilizada en sistemas de riego para la producción de hortalizas en el departamento de Quiché.

Primero se presenta la información teórica necesaria que se debe dominar para poder entender cómo se calculan estos sistemas. Es importante conocer los principios de electricidad, de mecánica de fluidos y principios de cálculo de requerimiento de agua de los cultivos. La base en las que se fundamenta el presente trabajo es el principio fotovoltaico, que explica cómo se transforma la energía del sol en energía eléctrica, de ahí el punto de partida de las distintas aplicaciones de este tipo de energía. Por otra parte, se muestran sus ventajas y desventajas, y según la experiencia de otros países, en qué circunstancias debe ser considerado este tipo de energía. Se propuso como objetivo general de la investigación, crear paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en el departamento de Quiché.

Para elegir a la comunidad de estudio, se escogió una región que es eminentemente agrícola y que tiene posibilidades de implementar tecnologías nuevas como referencia para otras comunidades, que también puedan utilizarlas en el futuro.

Para realizar el estudio de la comunidad se consultaron trabajos realizados con anterioridad y documentos acerca del tema. Asimismo visitas a las distintas comunidades del departamento para recopilar los datos necesarios por medio de hojas de levantamiento de datos. Los cuestionamientos se hicieron a agricultores interesados en proyectos de riego.

# OBJETIVOS

## General

Crear paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en el departamento de Quiché.

## Específicos

1. Mostrar cómo aprovechar la energía del sol a través de paneles solares
2. Determinar cuáles son los requerimientos para la implementación de sistemas de bombeo fotovoltaico para riego de hortalizas.
3. Establecer si existen las condiciones para la implementación de sistemas de bombeo fotovoltaico en el departamento de Quiché.
4. Indicar cómo se debe diseñar un sistema de bombeo solar para mini riego en la producción de hortalizas.
5. Demostrar la viabilidad de sistemas que sirven para suministrar agua de un lugar a otro de manera ordenada.
6. Servir como una guía para la implementación de sistemas de bombeo con energía solar para riego de hortalizas en el departamento de Quiché.
7. Contribuir a la mejora del medio ambiente.



## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo presenta cómo aprovechar la energía del sol a través de paneles solares, para ser utilizada en sistemas de bombeo de agua que posteriormente será usada en sistemas de riego para la producción de hortalizas en el departamento de Quiché.

Inicialmente, se presenta la información teórica necesaria que se debe dominar para entender cómo se calculan estos sistemas. Es importante conocer los principios de electricidad, de mecánica de fluidos y principios de cálculo de requerimiento de agua de los cultivos. La base en las que se fundamenta este trabajo es el principio fotovoltaico, que explica cómo se transforma la energía del sol en energía eléctrica, de ahí el punto de partida de las distintas aplicaciones de este tipo de energía. Por otra parte, se muestran sus ventajas y desventajas, y según la experiencia de otros países, en qué circunstancias debe ser considerado este tipo de energía.

Además se debe tener presente información pertinente del departamento de Quiché, para identificar las posibilidades que se tienen de lograr la implementación de proyectos de esta índole y saber si existen medios para comercializar la producción, que genere una tasa de retorno sobre la inversión admisible. Los datos climáticos son importantes para una investigación de este tipo, debido a que sirven para dimensionar el sistema solar, de ello dependerá el número de paneles solares necesarios para accionar la bomba.

Por último, el trabajo brinda la información necesaria, acerca de bombeo solar aplicado a sistemas de mini riego, para que las personas interesadas, con la ayuda de un profesional, puedan implementarlo dentro de su terreno de cultivo. Se presenta paso a paso cuáles deben ser los cálculos a realizar, considerando que todos los proyectos son distintos. Por ello, se muestra información relevante que considera las variaciones de cultivos, tamaño del terreno que se desea cultivar, diferencia de altura de la fuente acuífera respecto del terreno, volumen de agua necesario al día, tipo de sistemas de riego, tiempo de riego al día, tipo de bomba y tipo de paneles solares. Para facilitar la comprensión del diseño de un sistema de este tipo, se muestran los cálculos necesarios de un proyecto en una de las comunidades del municipio. Por lo anterior, se logra la flexibilidad tan necesaria en el diseño de este tipo de proyectos.

# 1. ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1. Descripción de la comunidad

Según Fray Francisco Ximénez, la palabra quiche se compone de las voces qui = muchos; ché = árboles, o del quiche, quechelau, que significa bosque. El territorio fue habitado por el gran Reino Quiché, cuya capital y principal ciudad, Gumarcaj (Utatlán), estaba ubicada cerca de la actual cabecera departamental.

Las crónicas indígenas indican que cuando la población creció, hubo necesidad de asentar nuevas poblaciones en el lugar denominado Chi-Quix-Ché.

Durante el período colonial formaba parte de las provincias de Totonicapán o Huehuetenango y de Sololá o Atitlán. En el artículo 2do. del decreto 63 de la Asamblea Constituyente del Estado de Guatemala y promulgado el 27 de octubre de 1825 concedió el título y denominación de villa a la cabecera, y por Acuerdo Gubernativo del 26 de noviembre de 1924 se elevó a la categoría de ciudad a dicha población.

Se debe destacar que es el párroco de Santo Tomás Chichicastenango, el Padre Francisco Ximénez, cuando llegó a ese lugar en 1688, recogió y transcribió, a principios del siglo XVIII, el máximo texto de la literatura indígena que es el Popol Vuh, el libro sagrado de los quiches; conocido también como Manuscrito de Chichicastenango.



La violencia que azotó a Guatemala de 1960 a 1996, afectó especialmente a los poblados del triángulo Ixil, Ixcán y Playa Grande, así como toda la región de Quiché.

Tipos de suelo que sobresalen en el departamento de Quiché:

- JKfs: Jurásico-Cretácico, formación Todos Santos, jurásico superior-neocomiano (capas rojas). Incluye formación San Ricardo.
- Qa: Aluviones cuaternarios.
- Tsp: Terciario Superior Oligoceno-Plioceno, predominantemente continental: incluye formaciones Cayo, Armas, Caribe, Hereria, Bacalar y White Maris.
- Pe: Paleoceno-Eoceno, sedimentos marinos.
- PC: Pérmico, formación chochal (carbonatos).
- Kts: Cretácico-Terciario, formación Sepur, Campaniano-Eoceno. Predominantemente sedimentos clásticos marinos. Incluye formaciones Toledo, Reforma y Cambio y Grupo Verapaz.
- Ksd: Cretácico, Carbonatos Neocaomiano-Campanianos, incluye formaciones Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojaa.
- Qp: Cuaternario, rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso.

- Tv: Terciario, rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Piloceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahático y sedimentos volcánicos.
- I: Rocas plutónicas sin dividir, incluye granitos de dioritas de edad pre-pérmico. Cretácico y terciario.
- TT: Rocas ultrabásicas de edad desconocida, predominantemente serpentinitas. En parte pre-maestrichtiano.
- Pzm: paleozoico, rocas metamórficas sin dividir. filitos, esquistos cloríficos y granitos y dioritas de edad Pre-Pérmico, Cretácico y Terciario.

### **Uso actual de la tierra**

En el departamento de Quiché, por su clima, tipos de suelo y la topografía del terreno, sus habitantes siembran gran diversidad de cultivos anuales, permanentes o semipermanentes, encontrándose, entre estos: los cereales, hortalizas, árboles frutales, café, caña de azúcar, etc. Además, por las cualidades con que cuenta el departamento, algunos de sus habitantes se dedican a la crianza de varias clases de ganado. La existencia de bosques, ya sean estos naturales, de manejo integrado, mixtos, etc., compuestos de variadas especies arbóreas, arbustivas o rastreras dan al departamento un toque especial en su ecosistema y ambiente, convirtiéndolo con esa gracia natural en uno de los lugares típicos para ser habitados por visitantes no solo nacionales, sino también extranjeros. Es de esta forma cómo en este departamento el uso de la tierra es aprovechado en ocasiones de manera intensiva y en otras de manera pasiva.

## **Capacidad productiva de la tierra**

Para evidenciar con qué capacidad productiva de terreno se cuenta en este departamento, de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los EE.UU., en Guatemala existen ocho clases de clasificación de capacidad productiva de la tierra, en función de los efectos combinados del clima y las características permanentes del suelo. De estas ocho clases agrológicas la I, II, III y IV son adecuadas para cultivos agrícolas con prácticas culturales específicas de uso y manejo; las clases V, VI, y VII pueden dedicarse a cultivos perennes, específicamente bosques naturales o plantados; en tanto que la clase VIII se considera apta sólo para parques nacionales, recreación y para la protección del suelo y la vida silvestre.

En Quiché están representadas cinco de las ocho clases agrológicas indicadas, y predominan las clases IV, VI y VII.

## **Costumbres y tradiciones**

Las ceremonias religiosas de los habitantes de Quiché son presididas generalmente por los sacerdotes mayas, quienes son personas especializadas y contratadas por los vecinos para que sirvan como intermediarios ante los seres del más allá (Dios, Jesucristo, Santos, Dios Mundo, espíritus de los antepasados, etc.) mediante un pago simbólico. Estas ceremonias se efectúan tanto dentro como fuera de la iglesia, y aun en los montes en lugares especiales que llaman quemaderos. En estas ceremonias llevan ofrendas como inciensos, copal, pom, aguardiente, candelas y otras cosas.

## **Idioma**

Quiché es uno de los departamentos antiguamente más poblados de Guatemala. Por lo tanto, es el territorio que, junto con Huehuetenango posee más idiomas. El uspanteco se habla en el municipio de Uspantán; el ixil en Nebaj, Chajul y San Juan Cotzal; el sacapulteco en Sacapulas; el q'eqchi en la parte norte del país y el quiche en el sur.

### **1.2. Ubicación**

El departamento de Quiché se encuentra situado en la región VII o región sur-occidente, su cabecera departamental es Santa Cruz del Quiché, limita al norte con México; al sur con los departamentos de Chimaltenango y Sololá; al este con los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz; y al oeste con los departamentos de Totonicapán y Huehuetenango. Se ubica en la latitud 15° 02' 12" y longitud 91° 07' 00", y su extensión territorial es de 8,378 kilómetros cuadrados.

Por su configuración geográfica que es bastante variada, sus alturas oscilan entre los 2,310 y 1,196 metros sobre el nivel del mar, por consiguiente sus climas son muy variables predominando el frío y el templado, aunque hay algunas zonas de clima cálido. Sin embargo, hay alturas hasta de 3,000 metros sobre el nivel del mar en la cordillera que atraviesa el departamento de este a oeste.

### **1.3. Descripción de lugar de estudio**

El departamento de Quiché se encuentra integrado por 21 municipios, que son:

- Santa Cruz del Quiché
- Canillá
- Chajul
- Chicamán
- Chiché
- Chichicastenango
- Chinique
- Cunén
- Ixcán
- Joyabaj
- Nebaj
- Pachalum
- Patzité
- Sacapulas
- San Andrés Sajcabajá
- San Antonio Ilotenango
- San Bartolomé Jocotenango
- San Juan Cotzal
- San Pedro Jocopilas
- Uspantán
- Zacualpas

#### **1.4. Acceso**

El departamento de Quiché está intercomunicado, a través de la ruta Nacional No. 15, que en la aldea Los Encuentros, municipio de Sololá, entronca con la Carretera Interamericana CA-1; la ruta No. 15 que parte de Los Encuentros, atraviesa Chichicastenango, Santa Cruz del Quiché, San Pedro Jocopilas, Sacapulas y Cunén, y llega hasta Chajul. Así como la carretera 7W, que se origina en el departamento de Alta Verapaz, cruza Quiché aproximadamente de este a oeste y termina en el departamento de Huehuetenango.

Cuenta también con varias carreteras departamentales y municipales que unen a sus municipios entre sí.

#### **1.5. Electricidad**

La energía eléctrica es suministrada en el casco urbano por la empresa DEOCSA. Dicho servicio tiene cobertura a nivel domiciliar y público con 100% en el área urbana. A nivel rural el panorama es diferente. Existe malestar en las comunidades por el cobro de las tarifas excesivas o de servicios no prestados. Por ejemplo alumbrado público, que no existe en gran parte de las comunidades. Aproximadamente el 20% de las viviendas no cuenta con este servicio, debido a falta de recursos económicos o por no querer acceder al mismo.

## **1.6. Comercialización**

La agricultura ha sido siempre uno de los principales renglones en la vida de sus habitantes, ya que la variedad de clima y la cantidad de ríos que corren por su territorio, contribuyen a que su producción sea variada y abundante.

En casi todos los municipios existe crianza de ganado vacuno, caballar, porcino, lana y caprino, especialmente en los municipios de Santa Cruz del Quiché, Nebaj, San Juan Cotzal, Chajul y Uspantán. El ganado lanar se encuentra principalmente en las zonas de clima más frío.

Se sabe que su subsuelo es rico en minerales, ya que se conocen minas de hierro, plata, mármoles, plomo, etc. Pero sin explotación comercial. Algo muy importante que es necesario resaltar es la producción de sal gema o de piedra, que los indígenas de Sacapulas extraen de las minas. De esta producción de sal ya hablaba el Alcalde Mayor de Verapaz, capitán don Martín Alfonso Tovilla en 1631, quien describe el proceso que seguían para su extracción.

En lo que se refiere a su producción artesanal, el departamento de Quiché, es de los más importantes del altiplano occidental, al sobresalir la gran variedad de trajes típicos que identifican a cada municipio, pues en todos ellos se teje el algodón y en algunos, especialmente en San Pedro Jocopilas, el algodón y la lana. Aunque todos los trajes del departamento son muy vistosos, hay algunos que son más conocidos dentro y fuera del país, como las de Chichicastenango, Nebaj, Chajul, Sacapulas, Joyabaj, etc.

Otra artesanía muy importante es la elaboración de productos de palma en la cabecera departamental, cuya materia prima la llevan de la costa o del oriente del país. La palma que llega de oriente es la más fina y grande, lo que permite que los sombreros sean de muy buena calidad. También llevan palma de Uspantán y otros municipios vecinos, pero es de mala calidad y pequeña, al extremo que cuando se moja se pone negra. Para limpiar la palma fina le echan agua con limón y luego la ponen al sol.

La trenza la venden por rollos de 12 a 13 brazadas y al cuidarla se tratan de hacer sombreros corrientes, pero para elaborar sombreros finos utilizan rollos hasta de 20 a 25 brazadas. En total, un sombrero fino requiere 45 brazadas en trenza: 25 para la copa por ser más fina y 20 para el ala pues es más ancho. Son las mujeres quienes durante todo el año y en cualquier momento libre incluso cuando transitan por los caminos, van tejiendo la palma que servirá para la elaboración de sombreros. La hechura de los sombreros, está a cargo de los hombres, quienes los arman cosiéndolos en máquinas de coser corrientes y al mismo tiempo se encargan de la venta. Estos sombreros han adquirido mucha fama dentro y fuera del territorio nacional.

Por otra parte, siendo el departamento uno de los más tradicionales, la pirotecnia desempeña un papel muy importante, especialmente en las ceremonias religiosas y otras actividades sociales de toda índole, por lo que su producción se lleva a cabo en 10 municipios.

### **1.7. Climáticos y geográficos generales**

Este departamento está atravesado por tres sistemas orográficos diferentes: La Sierra de Chamá al norte, la de Los Cuchumatanes al centro y la de Chuacús al sureste, que determinan los diferentes climas, que se manifiestan desde los fríos templados hasta los más cálidos.



Tiene también otras montañas importantes que son: las de Joyabaj en el municipio del mismo nombre; y la de La Cumbre de Chuxán en San Bartolomé Jocotenango. Además, entre los cerros están el de Poquijil en Chichicastenango; el Pocbalam en San Bartolomé Jocotenango; el Pachum en Joyabaj y los Achiotes en San Andrés Sajcabajá.

Altitud: 1,500 a 2,500 metros sobre el nivel del mar.

Precipitación pluvial anual: 1,000 a 2,000 milímetros.

Temperatura media anual: 12 a 18 grados centígrados.

## **1.8. Recursos hidrológicos**

El departamento de Quiché está bañado por muchos ríos, entre los principales sobresalen el Chixoy o Negro, que recorre los municipios de Sacapulas, Cunén, San Andrés Sajcabajá, Uspantán y Canilla; Blanco y Pajarito en Sacapulas; Azul y Los Encuentros en Uspantán; el Sibacá y el Cacabaj en Chinique; y el Grande o Motagua en Chiché. Además, están las lagunas de Lemoa y la de La Estancia en Santa Cruz del Quiché; y la laguna de San Antonio en San Antonio Ilostenango.

## **1.9. Cultivos**

La agricultura es uno de los principales renglones en la vida de sus habitantes, pues la variedad de climas, aunado a la gran cantidad de ríos que corren por su territorio, contribuyen a que su producción sea variada y abundante, siendo sus principales artículos: maíz, trigo, frijol, patatas, habas, arvejas y en menor escala café, caña de azúcar, arroz y tabaco. También existen grandes bosques donde abundan maderas preciosas.

## **Producción pecuaria**

En casi todos los municipios existe crianza de ganado vacuno, caballar, lanar y caprino.

## **Producción industrial**

Información que es necesario resaltar es la producción de sal gema o de piedra, que los indígenas de Sacapulas extraen de las minas. Se sabe que su subsuelo es rico en minerales, ya que son conocidas minas de hierro, plata, mármoles, plomo etc.

## **Producción artesanal**

Quiché es uno de los departamentos más importantes en cuanto a su producción artesanal. Sobresale la elaboración de telas tradicionales de algodón y de lana. Las de algodón, tejidas por las mujeres en telares de cintura; y las de lana, por los hombres en telares de pie, aunque las piezas pequeñas como morrales, bolsas y gorras, son tejidas a mano, con aguja.

Otra artesanía importante es la elaboración de sombreros de palma de alta calidad. Las mujeres hacen las trenzas en cualquier momento, en casa o en los caminos cuando van al mercado. Estas trenzas las entregan a los talleres donde cosen los sombreros. También elaboran instrumentos musicales, cestería, cerámica tradicional, artículos de cuero, cestería, jarcia, muebles de madera y tallado de máscaras.

## 1.10. Infraestructura

De acuerdo con el Censo de habitación 2002, efectuado por el INE, la estructura de la vivienda (denominada “tipo de local”) se conforma de la siguiente manera:

Figura 1. Estructura de la vivienda

TOTAL VIVIENDAS	TIPO DE LOCAL					
	CASA FORMAL	APARTAMENTO	PALOMAR	RANCHO	IMPROVISADA	OTRO TIPO
2,578,265	2,265,854	52,803	37,114	136,968	72,970	12,556
140,046	125,474	174	273	12,380	1,416	329

Fuente: INE. Censo de habitación 2002 p. 67.

De todas las viviendas, el siguiente cuadro muestra quiénes cuentan con servicio de agua entubada y drenaje.

Figura 2. Servicio de Agua entubada y drenaje

AGUA	DRENAJE
1,552,209	784,169
76,346	15,384

Fuente: INE. Censo de habitación 2002 p. 67.

### 1.10.1. Carreteras

Su principal vía de comunicación es por la ruta nacional 15, que la une con Chichicastenango a 18 kilómetros al sureste, y de aquí, rumbo sur-suroeste unos 16 kilómetros a los Encuentros, municipio de Sololá, en el entronque con la carretera Interamericana CA-1. También cuenta con caminos y veredas que lo comunican con sus poblados y municipios vecinos.

### 1.10.2. Electricidad

Del total de hogares, el cuadro muestra cuántos de ellos poseen servicio de electricidad.

Figura 3. **Servicio de Electricidad**

ELÉCTRICA	TOTAL HOGARES
1,768,854	2,200,608
69,983	111,801

Fuente: INE. Censo de habitación 2002 p. 67.

### 1.10.3. Sistemas de riego

No hay sistemas de riego tecnificados en ninguna de las comunidades. Existen sistemas de riegos a nivel familiar en algunas comunidades del área de la micro región No. 6, Agua Escondida, Agua Escondida 106, área de Chupol, Chuguexa II A, Semejá II y III y Sacbichol.

### 1.10.4. Mercados

El concepto turístico de Santa Cruz del Quiché responde a un segmento de mercado con potencial. Sin embargo, la crisis financiera internacional y la inseguridad en este país son factores de amenaza para que el turismo no continúe creciendo. En cuanto a su producción artesanal, se destacan los tejidos de algodón y lana. Los primeros elaborados por las mujeres en telares de cintura y los segundos por los hombres en telares de pie. Junto a este rubro económico también se encuentran la orfebrería, manifestada en cadenas, pulseras y esclavas de oro y plata.

### **1.10.5. Problemáticas ambientales**

#### **Deforestación**

Se calcula que en el departamento, el 75% de las especies de flora se ha perdido debido a la tala inmoderada de árboles. Las causas de la pérdida de estos recursos naturales son:

- Tala inmoderada de árboles para el consumo de leña en los hogares e industrial. El 80% de la población del área rural utiliza leña como único medio de combustión. Culturalmente, cada persona recibe en herencia una porción de tierra para cultivo (especialmente los hombres) y otra como recurso de combustión. De tal forma, que por el crecimiento poblacional, y el mal uso de los recursos, se calcula que en menos de 10 años, los bosques en muchos cantones habrán desaparecido.
- Avance de la frontera agrícola y la sub utilización de la tierra por los productores.
- Incendios forestales.
- Incremento de población.
- Ausencia de programas de protección ambiental o no cumplimiento con las normativas de protección de los recursos naturales.

#### **Pérdida de biodiversidad**

Al igual que la flora, la fauna se ha ido depredando por la cacería incontrolada y progresivamente al dar como resultado el exterminio de animales como: conejos, ardillas, armadillos, y aves silvestres.

## **Deterioro de los suelos**

Se calcula que el 50% de los suelos del departamento se han deteriorado debido a las siguientes causas:

- La tala inmoderada ha provocado un incremento de la erosión por falta de conocimiento sobre técnicas de conservación de suelos.
- Falta de recursos económicos y de asistencia técnica para aplicar tecnología adecuada.
- Uso excesivo de productos químicos e insecticidas, fungicidas, herbicidas y plaguicidas.

Se ha tomado en cuenta áreas verdes, así como pequeñas extensiones de bosques que se han conservado para la protección de la conservación del agua, ya que es vital para la salud humana.

### **1.11. Asistencia técnica y financiera**

La asistencia técnica financiera es suministrada generalmente por ONG, como Asociación de Desarrollo Comunitario (ASDECO), Coordinadora de Asociaciones y Organizaciones de Desarrollo Integral (CASODI), Fundación para el Desarrollo Educativo Social y Económico (FUNDADESE), Asociación de Cooperación Técnica (ACT) y bancos como Banrural, que acompaña financieramente y provee asesoría técnica a grupos organizados especialmente en el volumen, el valor y el destino de la producción.

**Figura 4. Producción del departamento de Quiché**

Culivos	Cuerdas Sembradas por Familia	Producción por cuerda qq	Costo Producción Q/qq	Precio Promedio de Venta qq	Consumo qq	Venta qq	Total Ingreso por venta	Meses de producción	No Compradores	
									Locales	Externos
Frijol	1,00	0,75 libras	50,00	240,00	1,00	0,00	0,00	Dic-En	-	-
Maiz	1,00	3,00	98,00	110,00	3,00	0,00	0,00	Dic-En	-	-
Haba									-	-
Manzana	0,50	1,25	12,00	60,00	0,62	0,62	10,00	Septiembre	25,00	5,00
Aguacate	0,20	0,45	8,00	15,00	0,20	0,25	8,00	Indefinido	13,00	5,00
Durazno	0,10	0,30	9,00	18,00	0,05	0,05	7,00	Agosto	30,00	5,00
Ciruela*	1,00	2,00	25,00	40,00	1,00	1,00	15,00	Marzo	15,00	6,00
Pera*	1,00	1,00	10,00	25,00	0,50	0,50	7,00	Agosto	13,00	8,00
Hortalizas*	2,00	4,00	30,00	70,00	1,00	3,00	80,00	Permanente	10,00	4,00

\*Los productos sólo se dan en algunos poblados.

Fuente: Cocodes 2008 p. 26.

### 1.11.1. Cooperativas

En el departamento existen 11 cooperativas: 45.4% son agrícolas, 18.1% de consumo, 18.1% de vivienda, 9.5% de ahorro y crédito. 36% están ubicadas en la cabecera municipal y 64% en el área rural. En su totalidad incluye aproximadamente 702 socios.

**Figura 5. Cooperativas existentes en el departamento**

Nombre	Tipo	Lugar
La Chichicasteca R.L.	Ahorro y Crédito	Cabecera Municipal
Siguan Tinamit	Agrícola	Cabecera Municipal
Santo Tomás Chichi R.L.	Servicios Varios	Cabecera Municipal
Diez de Julio R.L.	Vivienda	Cabecera Municipal
La Buena Esperanza R.L.	Agrícola	Chuminá
Chuguilá R.L.	Agrícola	Chupol
San Miguelito R.L.	Consumo	Chuguxá II
El Mash R.L.	Agrícola	Panimaché I
Agua Escondida R.L.	Agrícola	Agua Escondida
La Moderna R.L.	Consumo	Chicuá I
Popol Vuh R.L.	Vivienda	Chujupén

Fuente: Cocodes 2008 p. 28.

### 1.11.2. Organizaciones no gubernamentales

Figura 6. Lista de ONGs de apoyo a la MIPYME ubicadas en Quiché

<b>Nombre ONG</b>	<b>Alianza para el Desarrollo Juvenil Comunitario</b>
Siglas	ADEJUC
Cómo se define la organización	Asociación Civil Guatemalteca no lucrativa que promueve el mejoramiento de la calidad de vida en lo económico, social, político, cultural y ambiental con equidad étnica, de género y cultura.
Población meta	Líderes comunitarios
Áreas en las que se desenvuelve	Fortalecimiento de la sociedad civil-sostenibilidad- Movimiento Social a favor de la Niñez y Mujeres
Municipios donde trabaja	San Andrés Sajcabajá - Santa Cruz del Quiché - San Juan Cotzal - Ixcán
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Ayúdense y Nosotros les Ayudaremos</b>
Siglas	AYNLA
Cómo se define la organización	Es una entidad jurídica sin fines de lucro, cuya finalidad es promover el conocimiento económico social, que promueve el desarrollo de la micro y pequeña empresa.
Áreas en las que se desenvuelve	Asesoría pre y post crédito-capacitación técnica en oficios- Capacitación Administrativa
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché - Chichicastenango - San Antonio Ilotenango - San Pedro Jocopilas – Chiché



<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Civil de Desarrollo Integral Comunitario</b>
Siglas	ACIDICO
Cómo se define la organización	Como una organización de servicio de la comunidad
Áreas en las que se desenvuelve	Promover el desarrollo económico y social--
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Civil del Etnodesarrollo Sostenible y Replicable</b>
Siglas	ACESOR
Cómo se define la organización	Como ONG civil no lucrativa, no religiosa, no política, con fines de promover y fomentar el desarrollo desde un cosmos de visión integral.
Población meta	Población áreas periurbanas y población de alto riesgo
Áreas en las que se desenvuelve	Incidencia-salud comunitaria-educación
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Cooperación para el Desarrollo Integral</b>
Siglas	ACDI
Cómo se define la organización	
Áreas en las que se desenvuelve	--
Municipios donde trabaja	San Andrés Sajcabajá
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Cultural de Desarrollo Comunitario Mayalán</b>
Siglas	MAYALAN
Cómo se define la organización	Es una organización sin fin de lucro.
Áreas en las que se desenvuelve	Organización y participación ciudadana-proyectos Productivos-identidad y derechos mayas
Municipios donde trabaja	Joyabaj

<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Cooperación Técnica</b>
Siglas	ACT
Cómo se define la organización	Institución líder de servicios financieros y no financieros para pequeños agricultores, micro y pequeño empresarios
Población meta	Agricultores empresarios
Áreas en las que se desenvuelve	Microcréditos-capacitación y asistencia técnica- Comercialización de hortalizas
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Desarrollo Comunitario</b>
Siglas	ADC
Cómo se define la organización	Asociación de Desarrollo Comunitario que surge de las comunidades para lograr el desarrollo comunal y la recuperación.
Áreas en las que se desenvuelve	Género-medio ambiente-seguridad alimentaria
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Desarrollo Integral Cuenca del Lago de Atitlán</b>
Siglas	ADICLA
Cómo se define la organización	Se cataloga como una ONG, especializada en microfinanzas que apoya los pequeños y mayores productores asociados
Áreas en las que se desenvuelve	--
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Educadores Populares Reasentados del Quiché</b>
Siglas	AEPREQ
Cómo se define la organización	Una organización de servicio educativo no lucrativa y apolítica
Áreas en las que se desenvuelve	Educación popular-derechos humanos-medio ambiente
Municipios donde trabaja	Santa María Nebaj - San Miguel Uspantán - Santa Cruz del Quiché - San Gaspar Chajul

<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Mujeres para el Desarrollo Sostenible "Solidaridad"</b>
Siglas	AJQ'UCH
Cómo se define la organización	Asociación de mujeres que busca la participación directa e integral de la mujer en el desarrollo de su comunidad y país.
Áreas en las que se desenvuelve	Capacitación-capacitación técnica de la mujer-
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché - Zacualpa
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Promotores Agropecuarios del Triángulo Ixil</b>
Siglas	APAPTIX
Cómo se define la organización	Autónoma
Áreas en las que se desenvuelve	Agropecuario-medio ambiente-plantas medicinales
Municipios donde trabaja	San Gaspar Chajul
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación de Servicios Comunitarios de Salud</b>
Siglas	ASECSA
Cómo se define la organización	Red de programas comunitarios, con 23 años de experiencia y liderazgo en la formación de recursos humanos, servicios y autogestión en atención primaria en salud, con incidencia en políticas públicas e impacto efectivo en el país.
Áreas en las que se desenvuelve	Formación y capacitación en salud-asesoría a programas de salud-Mejoramiento de infraestructura en salud
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché

<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Desarrollo Para Todos</b>
Siglas	ASODESPT
Cómo se define la organización	Como una entidad creadora de opciones para el desarrollo sostenible y autogestional.
Población meta	Población involucrada en actividades económicas, con un determinado nivel de potencial productivo
Áreas en las que se desenvuelve	Ecoturismo-agroindustria-desarrollo forestal
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché - San Gaspar Chajul - Chicamán - Zacualpa - Sacapulas - San Juan Cotzal - San Miguel Uspantán
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Intervida de Guatemala</b>
Siglas	INTERVIDA
Cómo se define la organización	Organización no gubernamental, apartidista, laica e independiente para la ayuda y cooperación al desarrollo.
Áreas en las que se desenvuelve	Desarrollo a largo plazo-educación, salud y nutrición, producción agropecuaria-capacitación e infraestructura, género y saneamiento ambiental
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Maya de Estudiantes Universitarios</b>
Siglas	AMEU
Página Web	<a href="http://www.ameu.org.gt">www.ameu.org.gt</a>
Cómo se define la organización	No lucrativa y va dirigida al pueblo maya
Población meta	Comunidades
Áreas en las que se desenvuelve	Proporcionar becas a personas de escasos recursos- Investigaciones referente a universidades-
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché

<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Nuevos Horizontes</b>
Siglas	HORIZONTES
Cómo se define la organización	Apolítica, antirreligiosa y autónoma, ONG
Áreas en las que se desenvuelve	Género-auto-estima-violencia doméstica
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación para el Desarrollo Comunitario</b>
Siglas	SIEMBRA
Cómo se define la organización	Entidad privada, no lucrativa, de asistencia comunitaria, técnica, educativa, económica y social a comunidades del área rural.
Población meta	Población desarraigada.
Áreas en las que se desenvuelve	Desarrollo económico productivo-organización comunitaria y poder local-fortalecimiento interno
Municipios donde trabaja	Ixcán
<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación para el Desarrollo Raíz</b>
Siglas	RAIZ
Cómo se define la organización	ONG no lucrativa con objetivo de atender financiamiento a pequeños productores del suroccidente de Guatemala
Población meta	Pequeños campesinos, microempresarios, pequeños productores en general.
Áreas en las que se desenvuelve	La ayuda en todas sus ramas, especialmente financiamiento--
Municipios donde trabaja	Joyabaj - Zacualpa

<b>Nombre ONG</b>	<b>Asociación Pro Agua del Pueblo</b>
Siglas	ADP
Cómo se define la organización	Entidad que trabaja en el sector agua y saneamiento rural, y sean medios que posibiliten la unidad de esfuerzos materiales e intelectuales comunitarios para ejecutar procesos sostenibles que mejoren la calidad de vida y su entorno.
Población meta	Población pobre, marginada, más alejada
Áreas en las que se desenvuelve	Organización comunitaria-formación de recursos humanos-gestión comunitaria
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Centro de Estudio para el Desarrollo y la Cooperación</b>
Siglas	CEDEC
Cómo se define la organización	Cooperación y desarrollo
Áreas en las que se desenvuelve	Desarrollo comunitario-incidencia paz y desarrollo-Económica social
Municipios donde trabaja	Zacualpa - Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Coordinadora de Asociaciones y Organizaciones de Desarrollo Integral</b>
Siglas	CASODI
Cómo se define la organización	Conjunto de asociaciones de base comunitaria que están unidas para impulsar el desarrollo de las comunidades.
Áreas en las que se desenvuelve	Género-educación-organización
Municipios donde trabaja	Chichicastenango

<b>Nombre ONG</b>	<b>Coordinadora Kaqchikel de Desarrollo Integral</b>
Siglas	COKADI
Cómo se define la organización	Organización promotora de procesos de producción y comercialización en comunidades rurales de la región kaqchikel.
Áreas en las que se desenvuelve	Producción y comercialización-educación/capacitación-créditos
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación Centro de Servicios Cristianos</b>
Siglas	FUNCEDESCRI
Cómo se define la organización	Organización de desarrollo sin fines de lucro, apolítica ecuménica, al servicio de las comunidades pobres de Guatemala.
Población meta	Pobreza extrema
Áreas en las que se desenvuelve	Tecnología apropiada-medicina natural-agricultura orgánica
Municipios donde trabaja	Santa Maria Nebaj - San Andrés Sajcabajá - Cunén - San Miguel Uspantán - Joyabaj - Santa Cruz del Quiché - Chiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación de Asesoría Financiera a Instituciones de Desarrollo y Servicio Social</b>
Siglas	FAFIDES
Cómo se define la organización	Como una ONG
Población meta	Microempresarias del altiplano occidental de Guatemala
Áreas en las que se desenvuelve	--
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché

<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación del Centavo</b>
Siglas	FUNDACEN
Cómo se define la organización	Una institución privada sin fines de lucro, dedicada a impulsar el desarrollo integral de la familia rural guatemalteca, por medio del apoyo financiero y técnico a proyectos surgidos en la misma comunidad.
Población meta	Agricultores (as) y artesano(a)s de escasos recursos, que no son sujeto de crédito en el sistema formal.
Áreas en las que se desenvuelve	Crédito-asesoría técnica-
Municipios donde trabaja	Chichicastenango - Sacapulas - Canillá
<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación para el Desarrollo Educativo Social y Económico</b>
Siglas	FUNDADESE
Cómo se define la organización	
Áreas en las que se desenvuelve	Salud-educación-producción
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación para el Desarrollo Rural</b>
Siglas	FUNRURAL
Página Web	<a href="http://www.funrural.org">www.funrural.org</a>
Cómo se define la organización	Organización privada, no lucrativa, con personalidad jurídica, patrimonio propio, sin finalidad política. La forma institucionalizada de la caficultura para participar en el desarrollo socioeconómico de Guatemala
Áreas en las que se desenvuelve	Educación-salud-capacitación técnica
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché



<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación para la Educación y Desarrollo Comunitario</b>
Siglas	FUNDACEDCO
Cómo se define la organización	Una entidad de carácter social, autónoma, apolítica partidista, no lucrativa y de tiempo indefinido.
Áreas en las que se desenvuelve	Formación social-mujer joven y niña-ecología y medio ambiente
Municipios donde trabaja	Chichicastenango
<b>Nombre ONG</b>	<b>Fundación Rigoberta Menchú Tum</b>
Siglas	FRMT
Página Web	<a href="http://www.rigobertamenchu.org">www.rigobertamenchu.org</a>
Cómo se define la organización	Intitución de servicios para la búsqueda de la creación de un código de ética para la paz mundial.
Áreas en las que se desenvuelve	Cultura de paz-justicia y lucha contra la impunidad-democracia y participación
Municipios donde trabaja	Chinique - San Juan Cotzal - Chiché - Chichicastenango - Cunén - Joyabaj - San Pedro Jocopilas - San Miguel Uspantán - Santa María Nebaj - Santa Cruz del Quiché - San Bartolomé Jocotenango - Ixcán - San Gaspar Chajul - Pachalum - San Antonio Ilotenango - San Andrés Sajcabajá - Canillá - Sacapulas - Patzité - Zacualpa - Chicamán
<b>Nombre ONG</b>	<b>Instituto de Investigación y Desarrollo</b>
Siglas	IIDEMAYA
Cómo se define la organización	Es un espacio de expresión de las comunidades mayas para la gestión de sus iniciativas de desarrollo.
Áreas en las que se desenvuelve	Recursos naturales renovables-democratización crédito rural-desarrollo rural
Municipios donde trabaja	San Miguel Uspantán

<b>Nombre ONG</b>	<b>Proyecto de Desarrollo de la Mujer y la Infancia</b>
Siglas	PRODEMI
Cómo se define la organización	Proyecto de desarrollo comunitario para la mujer
Áreas en las que se desenvuelve	Investigación-género-salud
Municipios donde trabaja	Santa Cruz del Quiché
<b>Nombre ONG</b>	<b>Proyecto de Desarrollo Santiago</b>
Siglas	PRODESSA
Cómo se define la organización	Como organización maya.
Áreas en las que se desenvuelve	Educación-organización-producción
Municipios donde trabaja	San Pedro Jocopilas
<b>Nombre ONG</b>	<b>Proyectos para el Desarrollo Comunitario</b>
Siglas	PRODECO
Cómo se define la organización	Institución de apoyo y cooperación para la gestión, negociación y ejecución de proyectos de beneficios social y productivo, específicos con población retornada.
Población meta	Instituciones cooperativas rurales
Áreas en las que se desenvuelve	Desarrollo e implementación de planes de producción y comercialización-Gestión y ejecución de proyectos de infraestructura social-Capacitación para el fortalecimiento Municipal
Municipios donde trabaja	Ixcán
<b>Nombre ONG</b>	<b>Tecnología Alternativa</b>
Siglas	ALTERTEC
Cómo se define la organización	Como una ONG que presta sus servicios de capacitación y asistencia técnica en las áreas productivas.
Áreas en las que se desenvuelve	Agricultura sostenible-salud y nutrición natural-festión comunitaria
Municipios donde trabaja	Chicamán - Cunén

<b>Nombre ONG</b>	<b>Tecnología Para la Salud</b>
Siglas	TPS
Dirección Oficina Central	Aldea San Miguel Morazán, kilómetro 49.5/El Tejar
Cómo se define la organización	Asociación de desarrollo, economía que brinda servicios a grupos comunitarios e instituciones.
Áreas en las que se desenvuelve	Tecnología apropiada-medio ambiente-agricultura orgánica
Municipios donde trabaja	Chichicastenango

Fuente: Foro de coordinaciones de ONG de Guatemala, Guatemala 2008 p. 89.

## **2. DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Energía solar**

#### **2.1.1. El sol**

Según Metzger (1982), en su libro “Energía: crisis continua”, menciona que la energía solar puede ser aprovechada de varias formas, como es el empleo de las caídas de agua; Por ejemplo, en las presas hidroeléctricas. Este es un uso indirecto de la energía solar, ya que la evaporación producida por el calor del sol fue una parte importante para producir el aumento del caudal del agua.

Otra forma es la fotosíntesis generada por la energía solar, de ahí se han desplegado varios artificios de bio-conversión para emplear esta captura natural de la energía solar por las plantas para otros medios. Otra forma de energía solar es el viento (un producto de la diferencia de temperaturas en la atmósfera), y los molinos de viento que son una idea encantadora para el empleo limpio de los rayos del sol para proveer energía.

Brown (1978), en “Energía solar o energía nuclear”, indica que la energía solar es una alternativa que no contamina, porque no eleva los contenidos de dióxido de carbono en la atmósfera, como lo hacen los combustibles fósiles. Además, menciona que antes de la era de los combustibles fósiles, el sol proporcionaba directamente de una forma u otra, toda la energía que la gente empleaba.

Aun hoy, en el pináculo de la era de los combustibles fósiles, la fuerza de energías renovables derivadas de sistemas naturales y de ciclos impulsados por el sol, representan alrededor de la quinta parte de la energía que consume el mundo. Menciona también que uno de los métodos que pueden utilizarse para el aprovechamiento de la energía solar, son las celdas fotovoltaicas que convierten la luz solar en electricidad.

Tonda (1982), en “El oro solar y otras fuentes de energía”, describe las características del sol. Es la estrella más cercana a la tierra, que se encuentra a unos 149,450,000 Km de distancia; esta estrella tiene un diámetro de 1,391,000 km, y una masa de  $2E30$  K. El núcleo del sol posee una temperatura en el centro de  $15E6$  °C y en la superficie una temperatura promedio de 5770 °C. En el interior del sol se efectúan reacciones de fusión nuclear. En este tipo de reacciones se unen los núcleos de átomos ligeros, como los del hidrogeno y el helio, para formar átomos más pesados y en el proceso se liberan grandes cantidades de energía.

Durante las reacciones nucleares, parte de la energía de las partículas que intervienen se convierten en energía la cual se puede calcular al emplear la fórmula de Einstein,  $E=mc^2$ , donde E= energía, m= masa, y c= la velocidad de la luz( $c=300000$  km/s). La radiación que emite el sol en todas direcciones, producto de las reacciones nucleares, corresponde a una parte llamada, espectro electromagnético. La radiación electromagnética es el tipo de partículas o de onda que nos llega del sol.

Los rayos del sol están compuestos por diminutas partículas, llamadas fotones, que viajan a la velocidad de la luz. La energía contenida en los rayos del sol se calcula a partir de la fórmula de Plank,  $E=hv$  donde, E= energía, h= constante de Plank ( $6.625E-34$ ), y v= la frecuencia a que oscilan los fotones.

### **2.1.2. Irradiancia e insolación**

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories (2001), a lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiancia recibida en un captador varía a cada instante, al presentar valores mínimos en el amanecer y atardecer, y adquieren valores máximos al mediodía; es decir, se espera que a las 10:00 a.m. el valor de la irradiancia sea diferente y menor al que se obtiene a las 1:00 p.m. Lo anterior se explica debido al movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje) que hace que la distancia que recorre la luz solar hacia el captador, dentro de la masa de aire, sea mínima al medio día solar (rayos de luz cayendo perpendicularmente sobre el captador) respecto de otras horas del día.

La insolación corresponde al valor acumulado de la irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado (W-h/m<sup>2</sup>).

Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1,000 W/m<sup>2</sup>. La energía que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. Una unidad común de insolación es el kWh/m<sup>2</sup>.

Figura 7. Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado



Fuente: Sandia National Laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 7.

#### 2.1.2.1. Sistemas fotovoltaicos

Es la generación de una fuerza electromotriz por la absorción de cualquier tipo de radiación ionizante en un material semiconductor.

#### 2.1.2.2. La celda fotovoltaica

Los materiales semiconductores son el soporte de la conversión fotovoltaica. La semi-conductividad, cuando no es intrínseca o propia del material debido a su peculiar estructura electrónica, puede provocarse al impurificar (dopando) un cristal de determinados elementos químicos puros con algún otro elemento químico que tenga electrones de valencia en cantidad inferior o superior al que forma el cristal. Así se forman los semiconductores extrínsecos. Otros semiconductores extrínsecos son los formados por óxidos o sales que no presentan una homogeneidad en la Valencia química de los elementos que se combinan, es lo que ocurre con el óxido cuproso ( $Cu_2O$ ), donde el cobre funciona como  $Cu^+$ , cuando en estructura tiene intercalados átomos de  $Cu^{++}$ .

El silicio dopado es el semiconductor más usado y comercializado en la actualidad, en el campo de la energía solar fotovoltaica. El silicio tiene 4 electrones de valencia preparados para formar enlaces covalentes con otros tantos átomos de silicio o con otro elemento químico al compartir sus electrones. Si se sumerge un cristal de silicio en una atmósfera de fósforo, a determinadas condiciones de presión y temperatura, el fósforo se difunde por el cristal al ocupar posiciones en la red cristalina y establecer enlaces con los átomos de silicio de su alrededor.

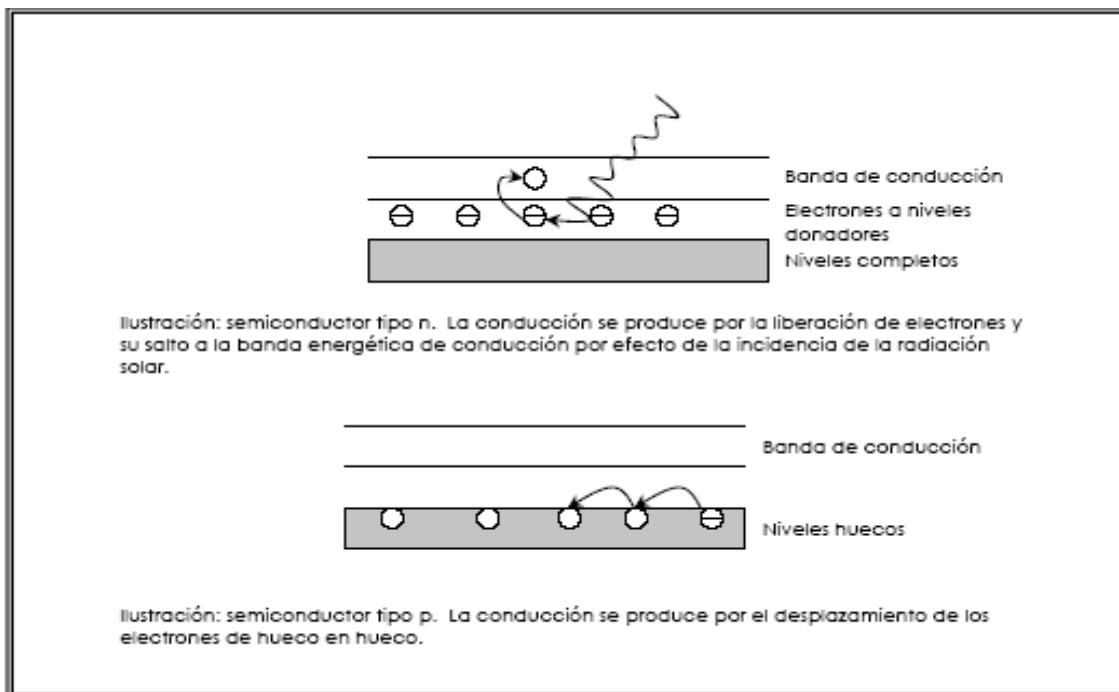
Sin embargo, el silicio tiene 5 electrones preparados para formar enlaces con los átomos del entorno, pero sólo encuentran próximos a 4, de manera que cuando ocupan un lugar en la red cristalina del silicio, el quinto electrón queda poco ligado -se dice que está en exceso-, esto quiere decir que se sitúa en niveles energéticos altos son los niveles donadores. La incidencia de la radiación solar aporta la energía suficiente para desligar completamente a este electrón y colocarlo en un nivel energético superior donde puede moverse libremente por el material –salta a la banda de conducción- si se expone a un campo eléctrico, lo que implica que el silicio se hace conductor en estas condiciones. Se ha descrito la formación del semiconductor tipo n o negativo, es decir, con electrones con niveles energéticos donadores.

Cuando la atmósfera a la que se expone el cristal de silicio es de un elemento químico como el boro, que tiene sólo tres electrones de valencia preparados para formar enlace químico. En los lugares donde se ubica el átomo de boro aparece una carencia del cuarto electrón necesario para compartir con los cuatro átomos de silicio de su alrededor, se dice que hay un hueco. Este hueco está situado en los niveles de energía llamados aceptadores, por que aceptan ser ocupados por electrones.



Se ha descrito la formación de un semiconductor tipo p o positivo, es decir, con huecos aceptadores de electrones. Cuando en semiconductor tipo p se conecta a un circuito eléctrico y se le aplica un campo eléctrico, aparece una conductividad debida al desplazamiento de los electrones de hueco en un hueco en la dirección del polo positivo, o lo que viene a ser igual, como si los huecos se desplazaran en la dirección del polo negativo.

Figura 8. Tipos de semiconductores n y p

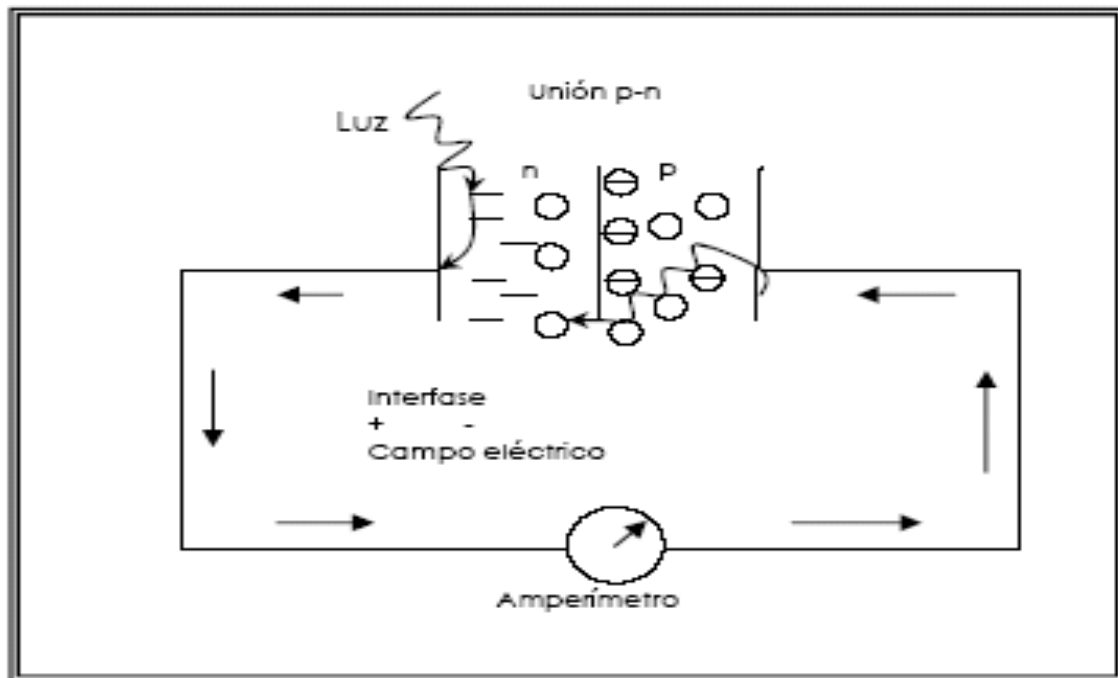


Fuente: Mario Ortega Rodríguez, Energías renovables p. 79.

La célula fotovoltaica está formada por la unión de dos materiales semiconductores. Uno tipo n, con electrones en niveles de energía superiores poco ligados a los enlaces químicos entre átomos, y otro tipo p, con huecos o carencias de electrones en estos niveles.

En la interfaz del semiconductor tipo p y el semiconductor tipo n –unión p-n, o unión diodo-, aparecen un polo positivo y un polo negativo. Se ha formado de este modo un campo eléctrico debido a la difusión de electrones desde la zona n, donde están los electrones más libres, hasta la zona p donde existen huecos. Lo anterior no quiere decir que la materia de un semiconductor tenga carga positiva o negativa según se está en la zona p o en la n. La materia es neutra pues las cargas negativas de los electrones se compensan siempre con las positivas de los protones de los núcleos atómicos, lo que sí aparece es una polaridad localizada en la interfaz de la unión tipo p-n.

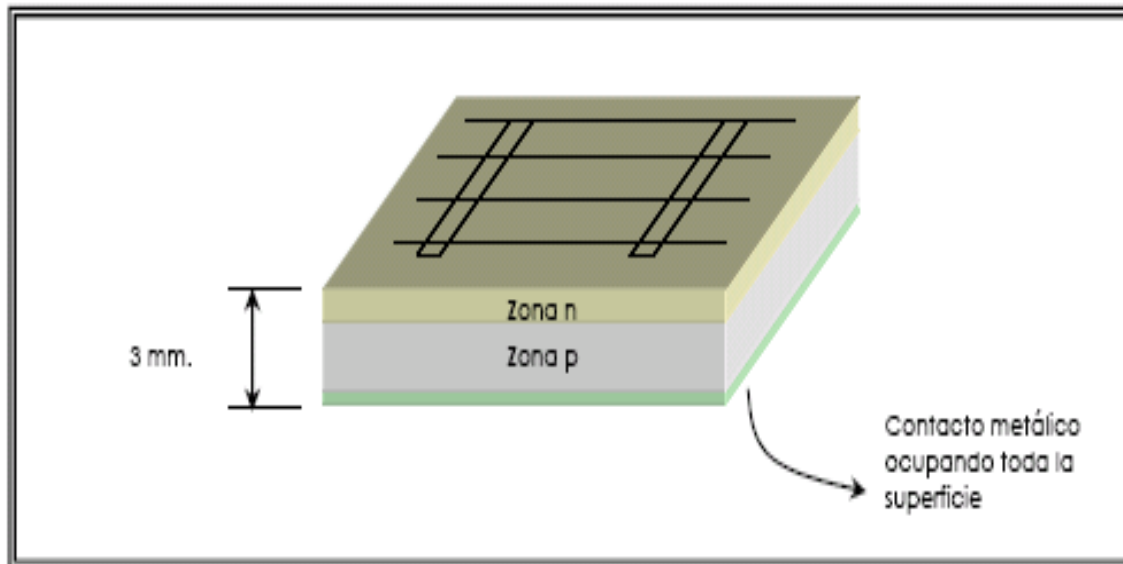
Figura 9. **Funcionamiento de la célula fotovoltaica.**



Fuente: Mario Ortega Rodríguez, Energías renovables p. 79.

Recorrido de los electrones, si se cierra exteriormente el circuito eléctrico, al incidir la luz en la cara n.

Figura 10. **Esquema constructivo de una célula fotovoltaica.**



Fuente: Mario Ortega Rodríguez, Energías renovables p. 101.

Una célula fotovoltaica transforma la energía de la radiación solar directamente en corriente eléctrica, a este fenómeno físico se le llama efecto fotovoltaico. Ortega, (2002).

La corriente eléctrica generada por una célula fotovoltaica es corriente continua (C.C.). La tensión de trabajo (voltaje) depende de las características físico-químicas propias del material de construcción. El aumento de la temperatura produce el efecto negativo de disminuir la tensión de trabajo. A nivel comercial es el silicio el material base de las células, pero existen otros elementos y compuestos con capacidad de ejercer de semiconductores en células fotovoltaicas que producen tensiones de trabajo distintas al del silicio. La tensión de trabajo de una célula fotovoltaica de silicio es del orden de 0.5 voltios. La intensidad de corriente generada es, esencialmente, proporcional a la superficie expuesta al sol y la intensidad de la radiación incidente sobre ella.

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories (2001), el efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos o gaseosos; pero es en sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa a eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores con los que se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación.

- Silicio monocristalino: las celdas están hechas de un sólo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 17%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado, al proporcionar con esto confiabilidad en el dispositivo, de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.
- Silicio policristalino: su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada para disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco inferiores a las monocristalinas, pero pueden obtenerse hasta del orden del 15%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.
- Silicio amorfo: la palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica. Los átomos de silicio que forman al sólido no tiene el patrón ordenado característico de los cristales, como es el caso del silicio cristalino. La tecnología de los módulos de silicio amorfo ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango de 5 a 10% y promete incrementarse. La garantía del producto puede ser hasta por 10 años dependiendo del fabricante.

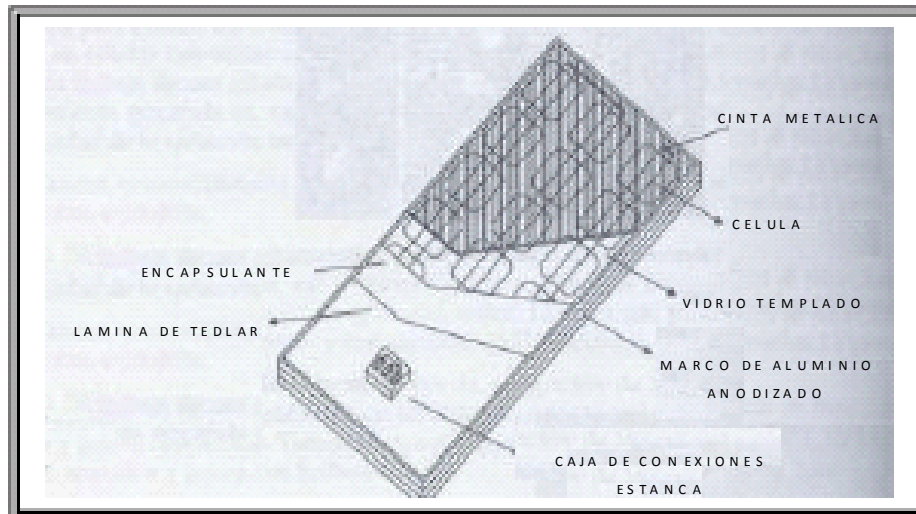
### 2.1.2.3. El panel fotovoltaico

Ortega (2002) define al módulo fotovoltaico como un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas. Estas se encapsulan y enmarcan mediante el sellado por la cara posterior con un encapsulante polimérico de EVA (etilenvinilacetato) y un recubrimiento, también plástico, de TEDLAR, y por lo anterior con un vidrio templado, muy resistente al impacto, de superficie interior antirreflexiva y con bajo contenido de hierro para limitar su absorbancia. La superficie exterior del vidrio debe ser lisa para evitar la acumulación de suciedad y para facilitar la limpieza por efecto de lluvia.

El marco que le da rigidez al conjunto es de aluminio anodizado. La hermeticidad del módulo es esencial para impedir la penetración de los agentes atmosféricos que favorecerían la corrosión y el deterioro de los contactos metálicos. Las celdas están ensambladas entre un estrato superior de cristal y un estrato inferior de material plástico (Tedlar). El producto preparado de esta manera se coloca en un horno de alta temperatura, con vacío de alto grado. El resultado es un bloque único laminado en el que las celdas están “ahogadas” en el material plástico fundido.

Luego se añaden los marcos, normalmente de aluminio; de esta manera se confiere una resistencia mecánica adecuada y se garantizan muchos años de funcionamiento. En la parte trasera del módulo se añade una caja de unión en la que se ponen los diodos de *by-pass* y los contactos eléctricos. Más módulos fotovoltaicos ensamblados mecánicamente forman el panel, mientras que un conjunto de módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, forman la rama. Más ramas conectadas en paralelo, para obtener la potencia deseada, constituyen el generador fotovoltaico. Así, el sistema eléctrico puede proporcionar las características de tensión y de potencia necesarias para las diferentes aplicaciones.

Figura 11. **Componentes de un panel fotovoltaico**



Fuente: Mario Ortega Rodríguez, Energías renovables p. 121.

#### **2.1.2.4. Sistema eléctrico del sistema fotovoltaico**

La guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia Nacional Laboratorios (2001), presenta conceptos básicos de electricidad y las características eléctricas de la celda solar de silicio y de los arreglos fotovoltaicos, los cuales se presentan a continuación.

##### **2.1.2.4.1. Conceptos básicos de electricidad**

Corriente (I), voltaje (V), potencia (P) y energía eléctrica (E) son algunos de los conceptos eléctricos fundamentales que se deben tener en mente cuando se trata con sistemas fotovoltaicos.

La corriente eléctrica que circula en el material se define como el número de electrones que fluye a través de él en un segundo. La corriente I se mide en amperes.

El voltaje eléctrico  $V$  es el esfuerzo que debe realizar una fuerza externa sobre los electrones dentro del material, para producir la corriente y se mide en Volts.

La potencia eléctrica es aquella que se genera o se consume en un instante dado, se especifica por el voltaje que obliga a los electrones a producir la corriente eléctrica continua y se expresa como:

$$P = V \times I$$

La unidad de potencia eléctrica es el Watt ( $1 \text{ Watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ Amper}$ ). Respecto de la energía eléctrica,  $E$ , es la potencia generada o consumida en un periodo  $t$  y se define como:

$$E = P \times t$$

Si el tiempo de consumo está dado en horas, entonces las unidades para la energía producida serán:

Watt-hora, otra unidad utilizada es el Joule

$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Watt por segundo}$ ,  $1 \text{ kW-h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

#### **2.1.2.4.2. La celda solar de silicio cristalino**

Las celdas solares comerciales se fabrican con lingotes de silicio de alta pureza (El silicio es un elemento muy abundante en la arena, pero para fabricar las celdas solares se requiere de silicio metalúrgico). El lingote es rebanado en forma de placas delgadas llamadas obleas.

El espesor típico usado es del orden de 400 nm (0.4  $\mu\text{m}$ ). Una fracción muy pequeña de tal espesor (del orden de 0.5 nm) es impregnado con átomos de fósforo. A esta capa se le conoce como tipo-n. El resto de la oblea es impregnada con átomos de boro y se forma la capa conocida como tipo-p. Estas capas unidas forman el campo eléctrico (voltaje interno construido) que se necesita para la separación de los portadores que se fotogenerarán. Dada la diferencia de espesores de las capas, el campo eléctrico dentro de la oblea aparece cerca de la superficie que recibe la luz del sol. La celda cuenta con dos terminales que se conectan a un circuito externo para extraer la corriente eléctrica producida.

La cara de la oblea expuesta a la luz, posee un enrejado metálico muy fino (titanio/ paladio/ plata), que cubre del 5 al 10% de área de la oblea y cuya función es coleccionar los electrones foto-generados. Esta capa corresponde a la terminal negativa. Sobre este enrejado está conectado uno de los conductores del circuito exterior. La otra cara es recubierta totalmente con una capa metálica, usualmente de aluminio. Ésta corresponde a la terminal positiva, ya que en ella se acumulan las cargas positivas. Sobre dicha capa está conectado el otro conductor del circuito exterior.

Para disminuir las pérdidas por reflexión, la cara de la celda expuesta a la luz se recubre con una capa anti-reflejante, usualmente óxido de talio, la que también sirve como una capa anticorrosiva. El tipo de compuesto usado como capa anti-reflejante y el tratamiento superficial sobre la capa n son los que contribuyen a definir el color característico de las celdas solares.

La celda solar presenta ciertas características eléctricas que son de gran importancia conocer. El voltaje a circuito abierto, la corriente a corto circuito y la potencia máxima generada, la que permite evaluar la eficiencia de conversión de luz a electricidad, se especificaran a continuación.



#### **2.1.2.4.3. Corriente a corto circuito, ( $I_{cc}$ ) ( $I_{sc}$ , por sus siglas en inglés)**

Es la máxima corriente generada por la celda solar y se mide cuando se conecta un circuito exterior a la celda con resistencia nula. Su valor depende del área superficial y de la radiación luminosa. Normalmente se especifica en unidades de densidad de corriente: corriente entre área ( $Amp/cm^2$ ).

El valor típico para la densidad de corriente a corto circuito en celdas solares de silicio cristalino comerciales bajo condiciones estándares de medición (irradiancia de  $1000W/m^2$  a una temperatura de celda de  $25^{\circ}C$ ), es del orden de  $40 mA/cm^2$ , es decir, una celda solar de  $100 cm^2$  de área producirá una  $I_{sc}$  de 4.0 A.

#### **2.1.2.4.4. Voltaje a circuito abierto ( $V_{ca}$ ), ( $V_{oc}$ , por sus siglas en inglés)**

Es el voltaje máximo que genera la celda solar y se mide cuando no existe un circuito externo conectado a la celda. Bajo condiciones estándares de medición, el valor típico del voltaje a circuito abierto que se ha obtenido en una celda solar de silicio cristalino es de 0.600 V.

#### **2.1.2.4.5. Máxima potencia generada ( $P_m$ )**

Su valor queda especificado por una pareja de valores  $I_m$  y  $V_m$  cuyo producto es máximo. La eficiencia de conversión de la celda  $\eta$ , se define como el cociente entre el valor de la máxima potencia generada,  $P_m$ , y la potencia de la radiación luminosa o irradiancia,  $P_I$ . Para una celda solar de silicio cristalino comercial con eficiencia de 17%, la potencia máxima generada en  $100 cm^2$  de captación cuando sobre la celda incide  $1000 W/m^2$ , es de 1.7 W ( $V_m= 0.485 V$ ;  $I_m=3.52 A$ ).

#### **2.1.2.4.6. Módulo o panel fotovoltaico**

El bajo voltaje producido por la celda solar no es suficiente para todas las aplicaciones en donde se pueda usar. Para que se pueda generar una potencia útil, las celdas se agrupan en el módulo solar o fotovoltaico. Las celdas deben estar convenientemente conectadas, de tal forma que reúnan las condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y los equipos estándares existentes en el mercado. Las celdas se pueden conectar en serie o en paralelo.

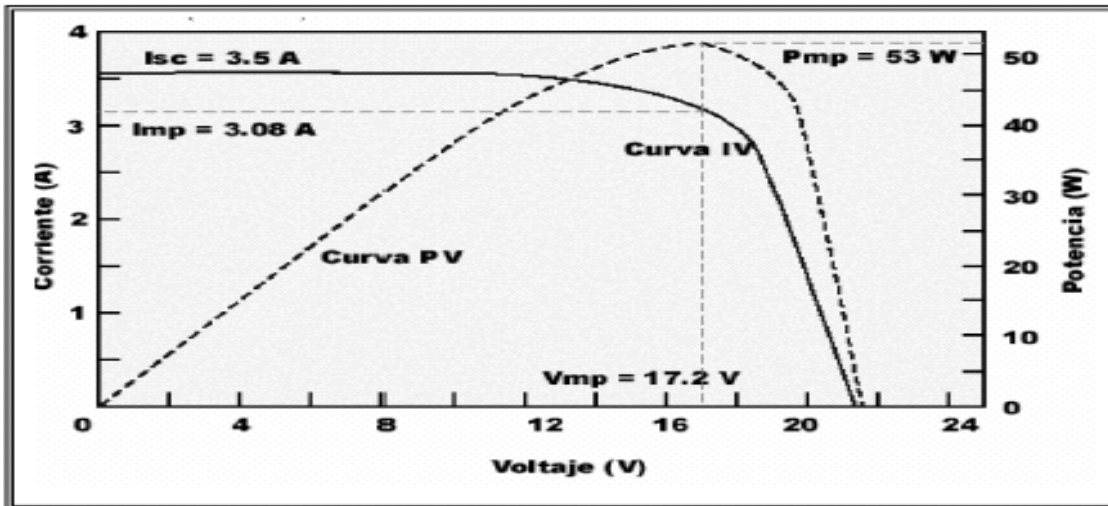
Comercialmente, las celdas solares se conectan en serie, se agrupan, se enlaminan y se empaquetan entre hojas de plástico y vidrio, formando la unidad del módulo solar. El módulo tiene un marco (usualmente de aluminio) que le da rigidez y facilidad en el manejo y transportación.

Además, en éste se encuentran las cajas de conexiones eléctricas para conectar el cableado exterior.

El número de celdas que contienen los módulos depende de la aplicación para la que se necesite.

El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (curva  $I$  vs  $V$ ) o potencia contra voltaje (curva  $P$  vs.  $V$ ) que los caracteriza. La curva de potencia se genera al multiplicar la corriente y el voltaje en cada punto de la curva  $I$  vs.  $V$ .

Figura 12. La siguiente figura muestra curvas I vs. V y P vs. V para un módulo fotovoltaico típico



Fuente: Sandia National laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 27.

Bajo condiciones estándares de prueba, cada modelo de módulo tiene una curva I vs. V característica (o P vs. V).

En la curva de potencia contra voltaje, existe un valor de voltaje, el  $V_p$ , para el que la potencia es máxima. La potencia máxima del módulo se le simboliza por  $P_p$  y representa la capacidad nominal de generación o potencia pico del módulo, y con su valor se evalúa la eficiencia de conversión del módulo. La potencia pico queda definida por una pareja de valores de corriente y voltaje,  $I_p$  y  $V_p$ , los que definen una resistencia de carga  $R_L$ . Cuando una carga eléctrica con resistencia  $R_L$  se conecta al módulo, la transferencia de energía del módulo a la carga es máxima, y se dice que  $I_p$  y  $V_p$  corresponden a la corriente y voltaje de operación de la carga eléctrica. Sin embargo, en aplicaciones reales no siempre sucede que la resistencia de la carga eléctrica es  $R_L$ .

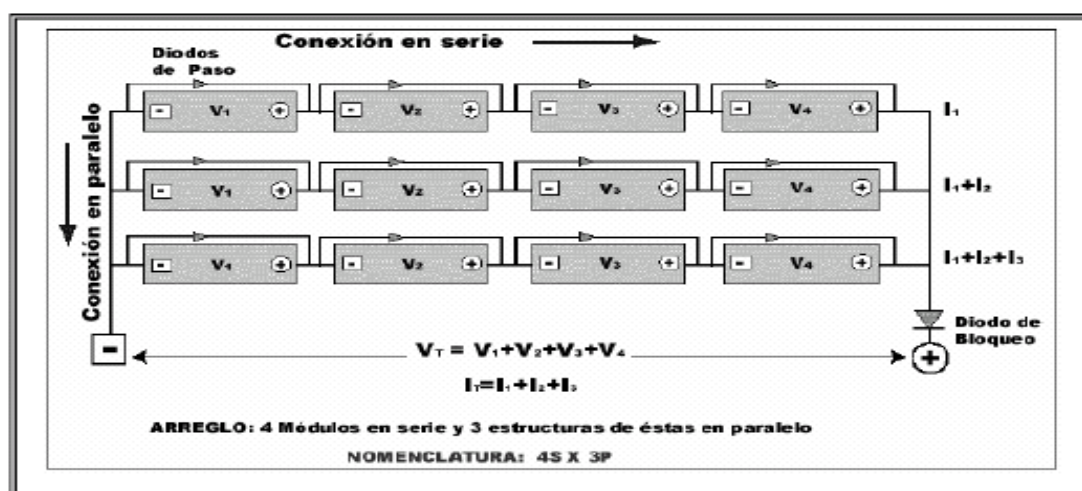
En este caso se tiene desacoplamiento en la curva de potencia y la transferencia no es máxima, el módulo opera lejos del punto de máxima potencia, y la potencia entregada se reduce significativamente; en consecuencia habrá pérdidas de energía.

Otros parámetros de importancia son: la corriente de corto circuito, ( $I_{cc}$ ): ( $I_{sc}$ ), que es la corriente máxima generada por el módulo para cero potencia; y el voltaje de circuito abierto ( $V_{ca}$ ), máximo voltaje producido por el módulo. Cada módulo tiene en su parte posterior una placa del fabricante, con el modelo y las especificaciones eléctricas.

#### 2.1.2.4.7. Arreglos fotovoltaicos

Un arreglo FV es un conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie y/o paralelo. Las características eléctricas del arreglo son análogas a la de módulos individuales, con la potencia, la corriente y el voltaje modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo.

Figura 13. **Conexión de paneles solares fotovoltaicos**



Fuente: Sandia National laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 31.

#### **2.1.2.4.8. Incrementando el voltaje**

Los módulos solares se conectan en serie para obtener voltajes de salida más grandes. El voltaje de salida,  $V_s$ , de módulos conectados en serie está dado por la suma de los voltajes generados por cada módulo.

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

#### **2.1.2.4.9. Incrementando la corriente**

Los módulos solares o paneles se conectan en paralelo para obtener corrientes generadas más grandes. El voltaje del conjunto es el mismo que el de un módulo (o un panel); pero la corriente de salida,  $I_s$ , es la suma de cada unidad conectada en paralelo.

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

### **3. PROPUESTA DE MODELO A IMPLEMENTAR**

#### **3.1. Inclinación de los paneles solares**

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories (2001), la máxima energía se obtiene cuando los rayos solares llegan perpendiculares a la superficie del captador. En el caso de arreglos fotovoltaicos, la perpendicularidad entre las superficies de los módulos y los rayos solares sólo se pueden conseguir, si las estructuras de montaje del arreglo se mueven al seguir al Sol.

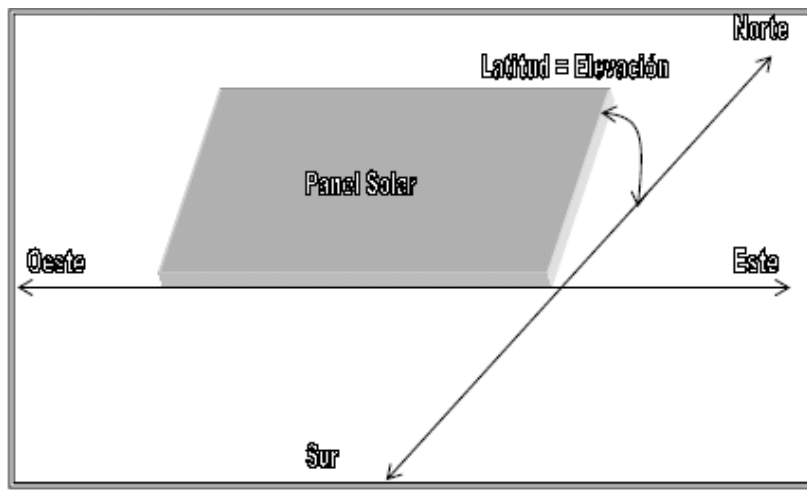
Existen estructuras de soporte del arreglo que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación. Estas estructuras de montaje se llaman “seguidores”. Generalmente el ángulo de elevación del arreglo es fijo. En algunos casos se usan seguidores azimutales.

Dependiendo de la latitud del lugar, los seguidores azimutales pueden incrementar la insolación promedio anual hasta en 25%. En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija. Este montaje tiene la ventaja de ser muy sencillo.

Debido a que el ángulo de elevación del Sol cambia durante el año, se debe tener un criterio de selección del ángulo óptimo del arreglo, que garantice la máxima producción de energía eléctrica. En el hemisferio norte el Sol se declina hacia el sur, por lo que se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el sur.

Si se desea bombear la máxima cantidad de agua al año, la inclinación del arreglo deberá ser igual al valor de la latitud del lugar.

Figura 14. **Inclinación del panel solar**



Fuente: *Sandia National laboratories*, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 47.

### 3.2. Peculiaridades de las instalaciones de bombeo fotovoltaico

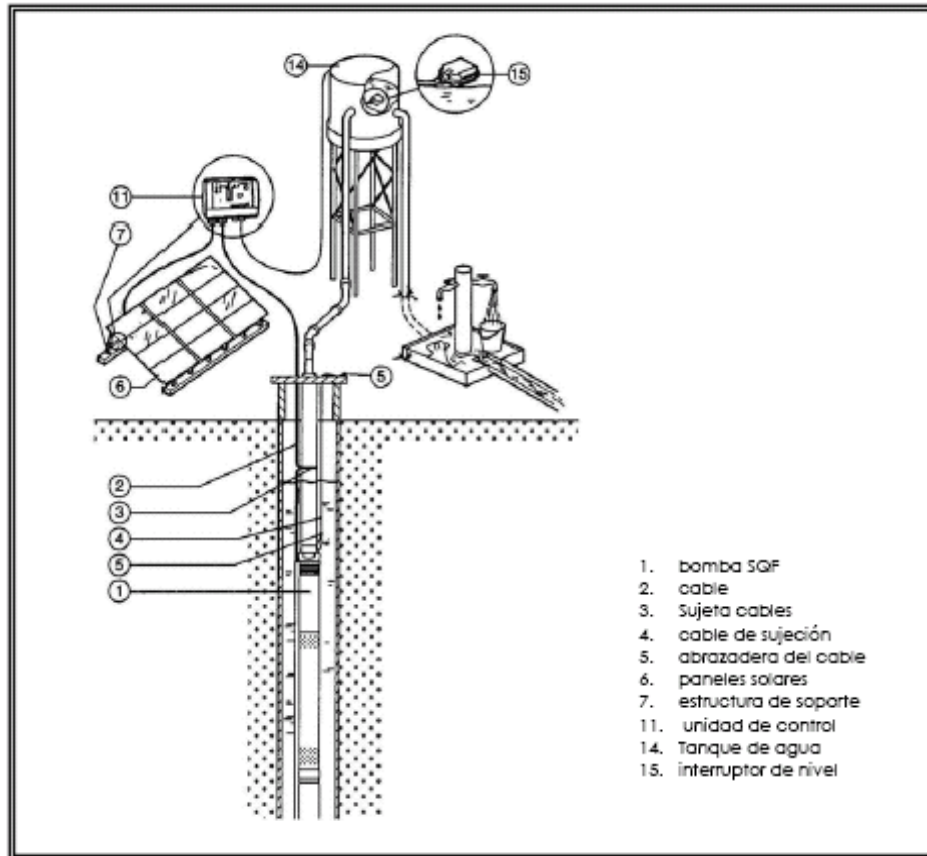
Ortega, en “Energías renovables (2002)”, dice que las instalaciones de bombeo de agua, normalmente, no requieren baterías y tiene la siguiente configuración:

- Un conjunto de módulos fotovoltaicos.
- Un equipo electrónico de acondicionamiento de potencia que puede llevar implicada la conversión de corriente continua en corriente alterna.
- Interruptores de nivel mecánico automático o controles de nivel electrónicos por conductividad, cuando sean necesarios para arrancar, o parar la bomba por falta de agua en el pozo, o por llenado del depósito.

- Un conjunto motor-bomba cuyas características dependen de la aplicación.
- Un sistema de acumulación, que en este caso será un depósito o balsa de agua.

A continuación se presenta un modelo típico de bombeo solar, con los componentes básicos.

Figura 15. Sistema SQFlex solar



Fuente: Catálogos Grundfos. SQFlex, sistemas de suministro de agua basados en energías renovables, 50/60 Hz p. 247.



La guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories describe que el bombeo de agua en pequeña escala es una aplicación de mucha trascendencia en el mundo; tiene especial impacto en comunidades rurales donde no hay suministro de energía eléctrica convencional. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento, lo cual se traduce en un menor costo a largo plazo, si se le compara con otras alternativas.

Además, no requiere del empleo de un operador y tienen un bajo impacto ambiental (no contaminan el aire o el agua y no producen ruido). Otra ventaja es que los sistemas son modulares, de manera que pueden adecuarse para satisfacer las necesidades específicas del usuario en cualquier momento. Las ventajas y desventajas se presentan a continuación:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No consumen combustible</li> <li>• Larga vida útil (de 15 a 20 años)</li> <li>• Impacto ambiental mínimo</li> <li>• Bajo costo de operación</li> <li>• Bajo mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión inicial relativamente alta</li> <li>• Acceso a servicio técnico limitado</li> <li>• Producción de agua variable al depender de condiciones meteorológicas</li> </ul>

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories, se deben considerar tres aspectos fundamentales para la toma de decisión de la implementación del sistema de bombeo fotovoltaico. Estas consideraciones son:

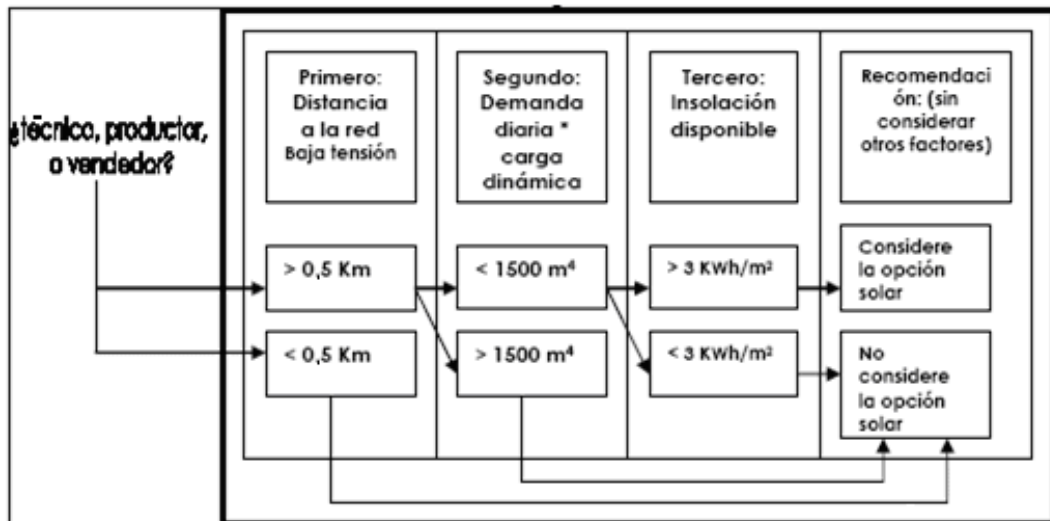
- Primero: la distancia de la red, baja tensión que debe ser de, por lo menos, 0.5 km, para ser considerado en la implementación.

- Segundo: el ciclo hidráulico (se define como el producto del volumen de agua al día en  $m^3$  por la carga dinámica total en m, dándonos un factor de  $m^4$ ) debe ser menor a  $1500 m^4$ .
- Tercero: la insolación disponible del lugar debe ser de, por lo menos,  $3 kWh/m^2$ .

Esto se puede observar en el siguiente diagrama de flujo de decisiones.

**Nota:** es importante mencionar que cada caso será distinto, por lo que siempre debe ser evaluada la posibilidad razonablemente. Dichas condiciones no son absolutas, sólo dan un punto de partida para tomar la decisión, con base en experiencias de otros países, como México.

Figura 16. Diagrama de flujo de decisiones para bombeo al considerar dos tecnologías de generación de energía



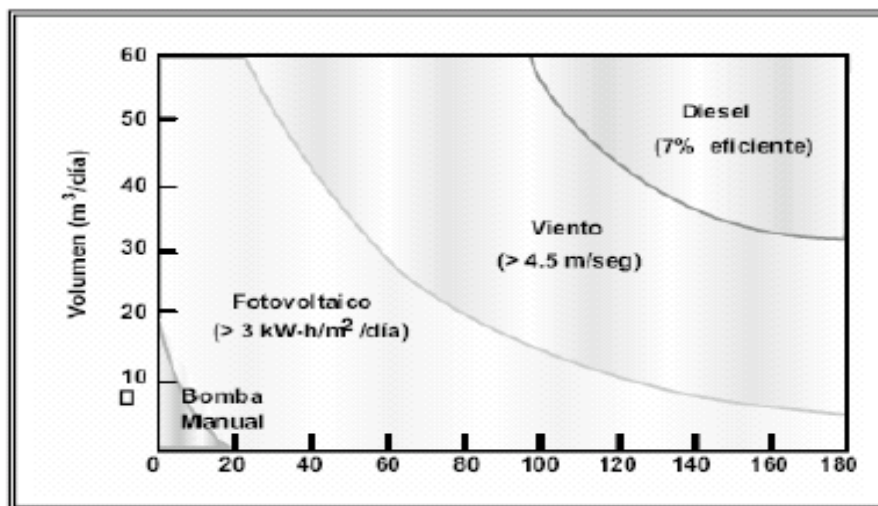
Fuente: Sandia National laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 27.

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica, de Sandia National Laboratories, cuando se considera que la demanda es muy grande para el bombeo solar, la experiencia muestra que un proyecto es económicamente viable cuando el ciclo hidráulico no sobrepasa los 1,500 m<sup>4</sup>. Los sistemas de bombeo de agua con sistemas de combustión interna o eólicos son más competitivos cuando se tiene un ciclo hidráulico mayor o igual a 1500 m<sup>4</sup>.

Para obtener mayores beneficios, el agua debe utilizarse en productos de alto valor para el propietario.

Debe observarse que el agua no sea más cara que el producto. El ciclo hidráulico de un proyecto permite determinar la tecnología más apropiada. Como se mencionó, en general 1,500 m<sup>4</sup> es una convincente cifra para decidir si se implementa un bombeo solar o no.

Figura 17. **Indica la tecnología más apropiada de acuerdo con el volumen diario y la carga dinámica total**



Fuente: Sandia National laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 61.

### **3.2.1. Controladores**

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica, de Sandia National Laboratories, los controles electrónicos pueden mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar, bien diseñado, de 10 a 15%. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen de 4 a 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas de manera eficiente. Generalmente, se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico).

### **3.2.2. Elección de la bomba**

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica, de Sandia National Laboratories, las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas al pensar en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el Sol cambia su posición durante el día, la potencia generada por los módulos varía y en consecuencia, cambia también la potencia entregada a la bomba.

Por esta razón se han diseñado algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las que se dividen, desde el punto de vista mecánico, en centrífugas y volumétricas.

### 3.3. Mantenimiento del sistema fotovoltaico

El sitio de Internet <http://www.solarco.cl/fotovoltaica2.htm>, especializado en sistemas fotovoltaicos, provee una lista de características y requerimientos de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, que se presentan a continuación:

- El fotovoltaico es un sistema estático, esto es, sin partes mecánicas en movimiento.
- El generador fotovoltaico generalmente no requiere mantenimiento, excepto una limpieza periódica con un paño mojado en la superficie anterior de los módulos.
- Esta limpieza sirve para devolver la transparencia original al cristal que puede haberse reducido por capas de polvo.
- El regulador de carga no requiere ningún mantenimiento.
- Debe controlarse periódicamente los cables de conexión dentro del generador fotovoltaico.

#### 3.3.1. Hidráulica de un sistema de bombeo

Según la guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica, de Sandia National Laboratorios (2001), antes de determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la carga dinámica total (*CDT*) y el volumen de agua diario necesario. Este producto se conoce como “ciclo hidráulico”. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (*CE*) y la carga dinámica (*CD*):

$$CDT = CE + CD = [\text{Nivel estático} + \text{altura de la descarga}] + [\text{abatimiento} + \text{fricción}]$$

### **3.3.2. Carga estática**

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza, desde el nivel del espejo del agua antes del abatimiento del pozo, hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga.

### **3.3.3. Carga dinámica**

La carga dinámica es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo del agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes, como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos, mayor resistencia producida.

Para calcular la carga dinámica es necesario encontrar la distancia que recorre el agua, desde el punto en que el agua entra a la bomba, hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras. El abatimiento sólo se debe considerar si la fuente de agua es un pozo, y es la diferencia entre la altura de agua normal del pozo y la altura de agua cuando ya fue consumida.

### 3.3.4. Ecuaciones para el cálculo de pérdidas

#### 3.3.4.1. Pérdida en tuberías y accesorios

Según el libro de mecánica de fluidos e hidráulica, de Giles, Evett y Lui (1994), la fórmula de Darcy-Weisbach, es la fórmula básica para las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. La ecuación es la siguiente:

$$H_f = f \cdot (L/d) \cdot (V^2 / 2 \cdot g)$$

Donde:

$H_f$  = pérdida de carga (m)

$f$  = coeficientes de fricción.

$L$  = longitud en metros

$d$  = diámetro en metros.

$V$  = velocidad en metros por segundo

$g$  = gravedad del lugar (9,81 m/s<sup>2</sup>)

El coeficiente  $f$  puede deducirse matemáticamente en el caso del régimen laminar, pero en el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas. Para fines de esta investigación se utilizará el diagrama de fricción, que se presenta en los anexos de esta investigación. Se debe considerar que la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) del agua puede variar con la temperatura del agua. Dicha viscosidad también se presenta en el anexo 1, a diferentes temperaturas.

Para calcular otras pérdidas de carga que se producen como resultado de una variación significativa de la configuración del flujo, las ecuaciones que se utilizan son las siguientes:

### 3.3.4.2. Accesorios Pérdida de carga media

Tabla I. Pérdida de carga media

Accesorios	Pérdida de carga media
Codos, accesorios	$(KV^2) / (2 \cdot g)$
Algunos valores corrientes de K son:	Donde V = velocidad (m/s) y g = gravedad (9.81m/s <sup>2</sup> )
45° codo.....0.35 - 0.45	
90° codo.....0.50 - 0.75	
Tes .....1.50 - 2.00	

Fuente: *Sandia National laboratories*, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 88.

### 3.3.4.3. Pérdida de carga en cintas de riego

Según Sandoval (1989), en “Principios de riego y drenaje”, el criterio para diseñar la tubería lateral es el siguiente: “La diferencia máxima de presión entre el primero y el último aspersor en la lateral es de 20% de la presión de operación de los aspersores (ho)”.

Esto significa un máximo de 10% de variación entre el caudal del primero y el último aspersor. Esta diferencia permisible en presión será la suma de la pérdida por fricción en la tubería y la diferencia de altura entre el primero y el último aspersor del lateral.

Para conocer la diferencia de altura entre el primero y el último aspersor, se busca por medio del plano de curvas a nivel, la posición crítica del lateral, es decir, el lugar donde la diferencia de nivel sea máxima hacia arriba, luego se leen las alturas por medio de las curvas a nivel.



Aplicando el principio de Bernully se puede deducir:

$$hf_{1-2} = 0.2 h_o + (Z_1 - Z_2)$$

Donde:

$hf_{1-2}$  = pérdida permisible en el lateral (m)

$h_o$  = presión de operación del aspersor (m)

$Z_1$  = Altura en el primer aspersor del lateral (m)

$Z_2$  = Altura en el último aspersor del lateral (m)

La pérdida en la cinta de riego se obtiene como si fuera una tubería normal al inicio, con la ecuación  $HF = f \cdot (L/d) \cdot (V^2 / 2 \cdot g)$ , pero se debe multiplicar por el factor de reducción de salidas  $F$ , de la tabla 1 de esta sección.

$$HF_{cinta} = H_f \cdot F$$

Esta pérdida debe cumplir con la condición siguiente:  $HF_{cinta} < hf_{1-2}$ , esto es, para cumplir con una variación de caudal aceptable, entre el primer gotero y el último gotero. Donde:

$$hf_{1-2} = 0.2 h_o + (Z_1 - Z_2)$$

Donde

$hf_{1-2}$  = pérdida permisible en el lateral

$h_o$  = presión de operación del aspersor

$Z_1$  = Altura en el primer aspersor del lateral

$Z_2$  = Altura en el último aspersor del lateral

De no cumplir esta condición, se debe usar un diámetro de cinta más grande hasta que se cumpla.

**Tabla II. Factor F para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples**

No de Salidas	Valor F	No de Salidas	Valor F
1	1,000	19	0,372
2	0,634	20	0,370
3	0,528	21	0,369
4	0,480	22	0,368
5	0,451	23	0,367
6	0,433	24	0,366
7	0,419	25	0,365
8	0,410	26	0,364
9	0,402	27	0,364
10	0,396	28	0,363
11	0,393	29	0,363
12	0,388	30	0,362
13	0,384	35	0,359
14	0,382	40	0,357
15	0,379	50	0,355
16	0,377		
17	0,375	93	0,3436
18	0,373		

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 19.

#### **3.3.4.4. Cálculos para dimensionar un sistema de bombeo solar**

La guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica de Sandia National Laboratories, proporciona una tabla con la que se pueden realizar los cálculos necesarios para dimensionar el sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica. Cada una de las variables y constantes que intervienen en dicho cálculo se indica en dicha guía, a continuación se presentan sólo las tablas para los cálculos:

Tabla III. Cálculo de las carga de bombeo de agua

Proyecto \_\_\_\_\_ Contacto \_\_\_\_\_  
 Persona a cargo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

HOJA DE CALCULOS 1 BOMBEO DE AGUA		CALCULO DE LA CARGA DEL BOMBEO DE AGUA																	
		1	Volumen de agua necesaria por día (l/día)		2	Insolación del sitio (h-pico/día)		3	Régimen de bombeo (l/h)										
				(l)			=												
4	Nivel estático (m)	5	Abastecimiento (m)	6	Altura de descarga (m)	7	Carga estática (m)	8	Recorrido adicional de tubería (m)	9	Recorrido total de tubería (m)	10	Factor de fricción (decimal)	11	Carga por fricción (m)	12	Carga estática (m)	13	Carga dinámica total (m)
		+		+		+		+		=		x		=		+		=	
<b>INFORMACION DE LA BOMBA Y MOTOR</b>																			
Marca																			
Modelo																			
Tipo de bomba																			
Tipo de motor																			
Voltaje de operación (c.a./c.c.)																			
Eficiencia de la bomba																			
14	Volumen de agua necesario por día (l/día)	15	Carga dinámica total (m)	16	Factor conversión	17	Energía Hidráulica (Wh/día)	18	Eficiencia de la bomba (decimal)	19	Energía del arreglo FV (Wh/día)	20	Voltaje nominal del sistema (v)	21	Carga eléctrica (Ah/día)				
1		x		(l)	367	=		(l)		=		(l)		=					
22	Carga eléctrica (Ah/día)	23	Factor de rendimiento del conductor (decimal)	24	Carga eléctrica corregida (Ah/día)	25	Insolación del sitio (h-pico/día)	26	Corriente del proyecto (A)										
21		(l)	0.95	=		(l)		=											

Fuente: Sandia National Laboratories, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 133.

Tabla IV. Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

<b>HOJA DE CALCULOS 2 BOMBEO DE AGUA</b>		<b>DIMENSIONAMIENTO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO</b>					<table border="1"> <tr><th colspan="2">INFORMACION DEL MODULO FOTOVOLTAICO</th></tr> <tr><td colspan="2">Marca y Modelo</td></tr> <tr><td colspan="2">Tipo</td></tr> <tr><td>Vmp</td><td>Voc</td></tr> <tr><td>Imp</td><td>Isc</td></tr> </table>		INFORMACION DEL MODULO FOTOVOLTAICO		Marca y Modelo		Tipo		Vmp	Voc	Imp	Isc
INFORMACION DEL MODULO FOTOVOLTAICO																		
Marca y Modelo																		
Tipo																		
Vmp	Voc																	
Imp	Isc																	
27	Corriente del Proyecto (A)	28	Factor de reducción del módulo (decimal)	29	Corriente ajustada del proyecto (A)	30	Corriente Imp del módulo (A)	31	Módulos en paralelo (núm. Entero)									
26	(/)	0.95	=	(/)	=	(/)	=	(/)										
32	Voltaje nominal del sistema (V)	33	Voltaje Vmp del módulo (V)	34	Modulos en serie	35	Módulos en paralelo	36	Total de Módulos	37	Corriente Imp del módulo (A)	38	Voltaje Vmp del módulo (v)	39	Tamaño del arreglo fotovoltaico (W)			
20	(/)	(/)	=	X	(/)	X	(/)	X	(/)	X	(/)	=						

<b>HOJA DE CALCULOS 3 BOMBEO DE AGUA</b>		<b>AGUA BOMBEO Y REGIMEN DE BOMBEO</b>															
40	Módulos en paralelo	41	Corriente Imp del módulo (A)	42	Voltaje Nominal del sistema (V)	43	Factor de rendimiento del sistema (decimal)	44	Factor de conversión (m)	45	Insolación del sitio (h-pico/día)	46	Factor de reducción del módulo (decimal)	47	Carga dinámica total (m)	48	Agua Bombeada (l/día)
31	X	30	X	20	X	18	X	16	X	2	X	28	X	13	(/)	=	
49	Agua Bombeada (l/día)	50	Insolación del sitio (h-pico/día)	51	Régimen de bombeo (l/h)												
48	(/)	2	(/)	=													

Fuente: Sandía National Laboratorios, Guía para el bombeo de agua con energía fotovoltaica p. 137.

### 3.4. Sistemas de riego (por goteo)

Según el folleto del curso Diseño de sistemas de riego (1988), impartido por CIDINT en Guatemala, el mayor desafío de la sociedad es incrementar la producción de alimentos y conservar el recurso del agua, para adecuarlos a las necesidades del mañana.

Además, definen el riego por goteo como la aplicación lenta de agua en forma de gotas, pequeños caudales o micro aspersores, a través de dispositivos localizados a lo largo de tuberías. También menciona que a pesar de todas las potenciales ventajas de utilizar el sistema de riego por goteo, como un medio para aumentar la producción y ahorrar agua, existen muchos problemas inherentes. Un primer problema es la economía de un sistema de riego por goteo, ya que al estar compuesto por una red de tuberías y equipos hidráulicos, el costo de la inversión inicial es elevado y está directamente relacionado con el diseño.

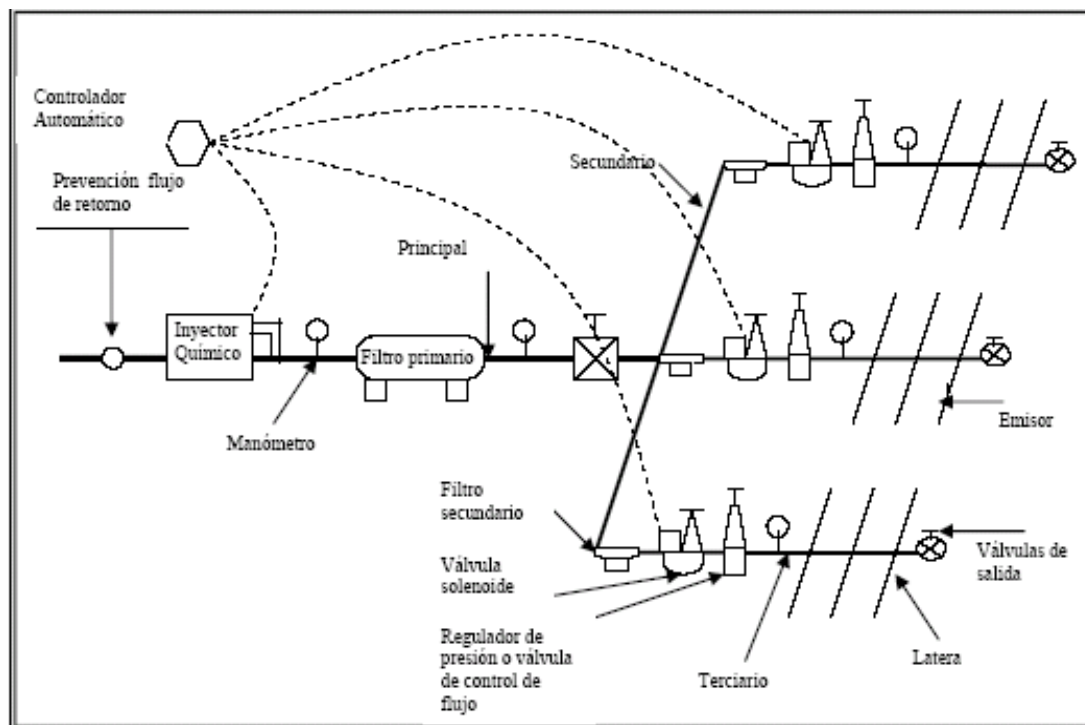
Sin embargo, el hecho de buscar sistemas de menor mano de obra y la gran inversión inicial involucrada, permite que se considere una mayor atención en la optimización del diseño para minimizar las inversiones.

## 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA SU IMPLEMENTACIÓN

### 4.1. Componentes del sistema

En el diseño de componentes y partes del sistema de riego por goteo han ocurrido muchos avances significativos. Los componentes básicos de un sistema de goteo incluyen bomba, filtros, líneas de distribución, emisores y otros controles, y equipos de monitoreo, cómo se muestra esquemáticamente en la siguiente gráfica:

Figura 18. Componentes del sistema de riego por goteo



Fuente: Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Diseño de métodos de riego en Guatemala p. 11.

## **4.2. Tuberías principales y secundarias**

Están constituidas por conductos que transportan el agua desde la fuente hasta las unidades o sub-unidades. Se ha generalizado el uso de materiales plásticos, que preferiblemente deben ir enterados para evitar daños, fracturas o descomposición por los rayos solares. Las longitudes estarán condicionadas por el trazado, el tamaño y el número de unidades de riego, el dimensionamiento del diámetro tendrá que estar basado en criterios económicos.

### **4.2.1. Terciarias**

La tubería terciaria, dentro de las unidades de riego, son las que llevan el agua a las tuberías laterales.

El material utilizado es cloruro de polivinilo, PVC o polietileno de alta densidad, PEHD o media densidad, PE; la primera tendrá que ir subterránea, mientras que la de polietileno tiene la alternativa de colocarse sobre la superficie.

### **4.2.2. Laterales**

Son líneas que están conectadas al emisor, generalmente son de PVC, PEMD o PEHD en diámetros entre dos y veinte milímetros. En el mercado existen ciertas tuberías perforadas que se aplican directamente en el agua, sin necesidad de emisores especiales.

### **4.2.3. Emisores**

Los emisores o goteros son los últimos puntos del sistema por donde se aplica agua al suelo de una forma controlada, de su buena selección dependerá lo adecuado del diseño.

Un emisor eficiente es aquel que cumple las siguientes características:

- Descarga baja, uniforme y constante.
- Debe tener una sección hidráulica adecuada para evitar obstrucción, por lo que su fabricación debe ser precisa.
- Debe ser económico y compacto.
- Resistente a la contaminación química y ambiental.
- Reducida pérdida de carga en los sistemas de conexión.

### **4.3. Necesidades hídricas de los cultivos**

Fuentes (1998) presenta cuáles deben ser las consideraciones en el momento del cálculo de las necesidades hídricas para los cultivos. Además, presenta los métodos más efectivos utilizados, así como las tablas y gráficas necesarias para calcular las necesidades hídricas de un cultivo específico. Dicha información se presenta a continuación.

#### **4.3.1. La evapotranspiración**

Recibe el nombre de evapotranspiración (o uso consultivo de agua) a la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo.



Existen dos formas de evapotranspiración:

- **Potencial máxima:** es la cantidad de agua consumida, durante un determinado período, en el suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con adecuado suministro de agua.
- **Real:** es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo durante un período considerado.

El rendimiento del cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima y ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las condiciones adecuadas. Ocurre entonces que la evapotranspiración real coincide con la evapotranspiración máxima. Tanto en la vaporación como en la transpiración, el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso, cambio que se vuelve favorecido cuando el aire está caliente, seco o muy movido (viento). Por otra parte, la cantidad de agua perdida por evapotranspiración depende de la disponibilidad de agua en el suelo y de la capacidad de las plantas de absorber y para transpirar esa agua contenida en el suelo. En suma, los factores que condicionan la evapotranspiración se agrupan de la siguiente forma:

- **Factores concurrentes en el suelo:** tales como capacidad de retención del agua, capacidad de calentamiento, exposición a los rayos solares, etc.
- **Naturaleza de vegetación:** especialmente en los órganos encargados de la absorción y de la transpiración del agua.
- **La fase vegetativa en que se encuentra el cultivo:** la evapotranspiración varía a lo largo del ciclo vegetativo. La mayor parte del agua consumida en una planta recién nacida tiene lugar por evaporación en el suelo, pero a medida que el cultivo se desarrolla, aumenta la transpiración que se hace máxima al alcanzar la planta el máximo desarrollo foliar.
- **Condiciones meteorológicas:** favorecen o atenúan la evaporación, tales como: intensidad de radiación solar, vientos, humedad atmosférica, etc.

Una parte del agua absorbida por la planta se consume en la evapotranspiración, ya que sólo una mínima parte (del 0,1 al 1%) se incorpora a los regidos de la planta (agua de constitución). Por tanto, desde el punto de vista práctico, las necesidades hídricas del cultivo son iguales a las necesidades de evapotranspiración.

#### **4.3.2. Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos**

La determinación de necesidades de agua para un cultivo puede hacerse por diversos métodos. Un método directo es el del lisímetro, que es muy costoso y difícil, por lo que se realiza en trabajos de investigación.

Otros métodos empíricos evalúan la evapotranspiración a partir de datos climáticos y de otra clase. Entre ellos destacan los cuatro métodos estudiados por Doorembos y Pruitt en la publicación de FAO, las necesidades de agua de los cultivos son: métodos de Blaney–Criddle, de la radiación, de Penman y de la cubeta evaporimétrica.

Según estos métodos, para calcular la evapotranspiración de un cultivo cualquiera, se valora antes la evapotranspiración de un cultivo de referencia, relacionándose ambos mediante un coeficiente obtenido experimentalmente.

$$ET (\text{cultivo}) = E_{To} * K_c$$

ET (cultivo) = Evapotranspiración de un cultivo determinado expresado en mm por día.

$E_{To}$  = Evapotranspiración de cultivo de referencia, expresado en mm por día.

$K_c$  = Coeficiente de cultivo, variable con el propio cultivo y con su periodo vegetativo.

ETo se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, de 8 a 125 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea totalmente el suelo y no está escaso de agua.

La Et (cultivo) es la evapotranspiración de un cultivo determinado en un suelo fértil, sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción.

El cálculo de ETo se hace en la misma zona de riego (método de la cubeta evaporimétrica) o mediante fórmulas que relacionan ciertos datos climáticos (métodos de Blaney y Criddle de la radiación y de Penman).

Los métodos de Blaney y Criddle, de la radiación y de Penman se utilizan generalmente como métodos de predicción, mientras que el método de la cubeta evaporimétrica mide la evaporación real ocurrida en dicha cubeta (que se relaciona con la evapotranspiración real), aunque también se puede utilizar como método de predicción.

#### **4.3.3. Método de Blaney–Criddle**

Este método se aplica para períodos de un mes. Se parte de la fórmula:

$$f = p * (0,46 t + 8,13)$$

f = factor de Blaney–Criddle, expresado en mm de agua diarios. Tiene el mismo valor para todos los días del mes considerado.

t = temperatura media mensual, expresada en grados centígrados.

$$t = \frac{(T \text{ máxima media} + T \text{ mínima media})}{2}$$

p = Porcentaje diario de horas de luz por mes respecto al total anual

Tabla V. **Horas de luz por día expresadas como porcentaje del total anual (p)**

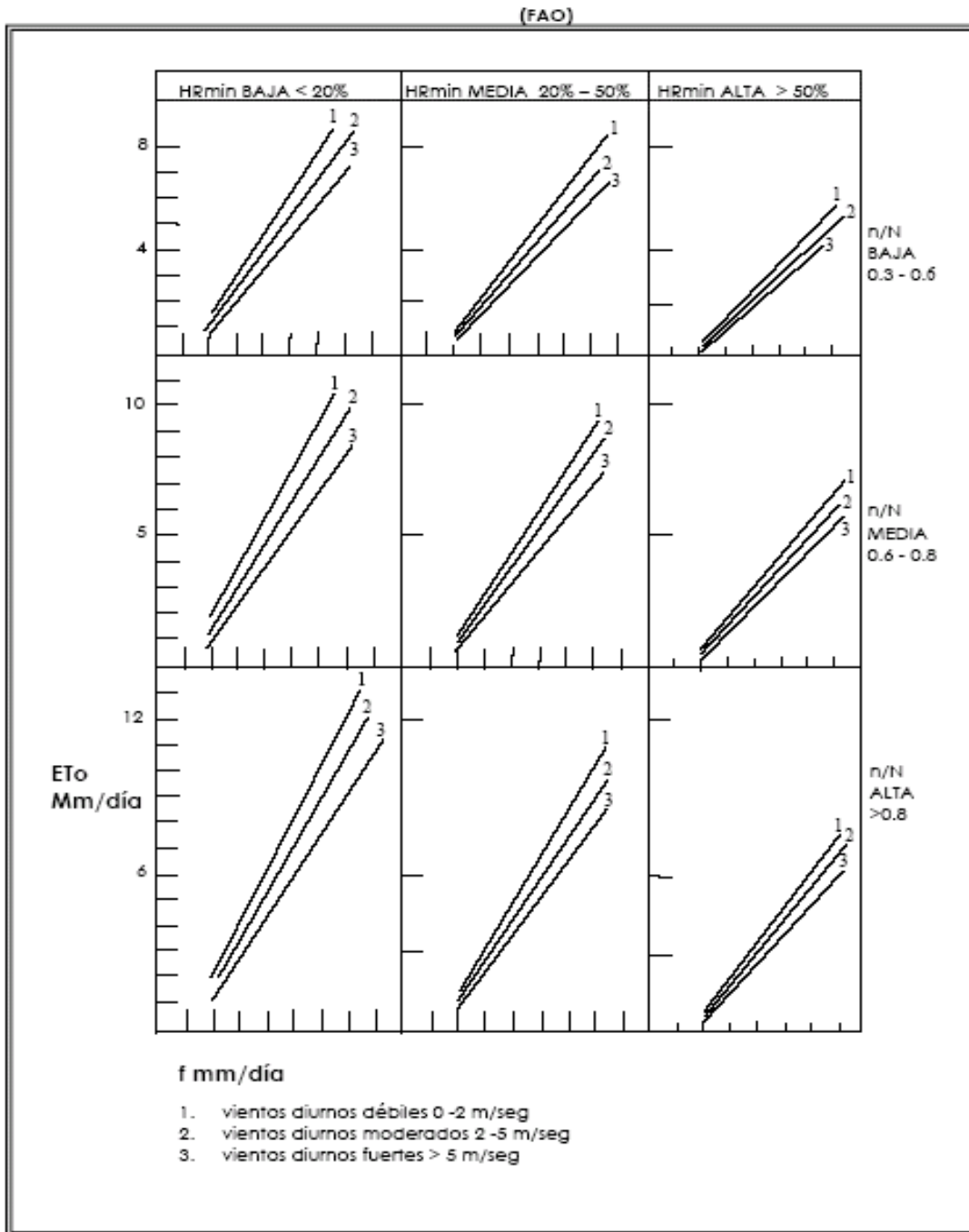
**Latitud**

latitud norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Latitud sur	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30	0,29	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,29	0,27	0,26	0,26

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 33.

Los efectos del clima sobre los cultivos no quedan definidos únicamente por la temperatura y la duración del día, que son las dos únicas variables relacionadas con el factor  $f$ . Las necesidades de agua de un cultivo varían considerablemente, en climas que tienen la misma temperatura y latitud, pero con variación de otros datos tales como: la humedad, la insolación y el viento. Las relaciones entre factores  $f$  y la evapotranspiración del cultivo de referencia  $E_{To}$  se indican gráficamente en la siguiente ilustración, en donde se han considerado los niveles de humedad, insolación y viento.

Figura 19. Predicción de la ETo (eje de las ordenadas) a partir del factor f de Bradley-Criddle (eje de las abscisas) para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos



Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 53.

Hay que tener en cuenta que:

- En lo relativo de humedad, se considera relativa mínima (HR mínima) durante las horas diurnas que suelen darse entre el las dos y las cuatro de la tarde
- En lo relativo a la insolación, se considera la relación  $n/N$  entre las horas reales ( $n$ ) y las horas máximas posibles ( $N$ ) de insolación fuerte. En la siguiente tabla se indican los valores de  $N$ , correspondiente a los distintos meses y latitudes. Los valores de  $n$  se obtienen mediante los datos de insolación en la zona de estudio.

Tabla VI. **Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación  $N$  en diferentes meses y latitudes**

latitud norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
latitud sur	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
20°	11,00	11,50	12,00	12,60	13,10	13,30	13,20	12,60	12,30	11,70	11,20	10,90
15°	11,30	11,60	12,00	12,50	12,80	12,00	12,90	12,60	12,20	11,70	11,40	11,20
10°	11,60	11,80	12,00	12,30	12,60	12,70	12,60	12,40	12,10	11,70	11,60	11,50

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 55.

- En lo relativo al viento, se consideran los vientos diurnos a la altura del suelo de dos metros.

Dado que  $f$  se expresa en mm diarios, la  $ETo$  viene expresada en mm diarios.  $ETo$  representa el valor medio diario para el período de un mes.

#### **4.3.4. Observaciones del método**

- El método Blaney y Criddle se aplica solamente cuando los únicos datos concretos que se disponen son los de temperaturas. Los datos de humedad, insolación y vientos son datos estimados.
- Se aplican normalmente a periodos de un mes natural.
- No se debe emplear en regiones ecuatoriales, en zonas de gran altitud en islas pequeñas, ni en aquellos climas donde hay gran variación de horas de insolación durante los meses de transición (primavera y otoño).

#### **4.3.5. Coeficiente de cultivo**

El valor del coeficiente de cultivo depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad de extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo.

Esta variación es más evidente en cultivos anuales que cubren todos sus ciclos en un período reducido. Con estos cultivos hay que distinguir cuatro etapas en su período vegetativo:

- Primera etapa: etapa inicial o de establecimiento del cultivo. Abarca desde la siembra o plantación hasta que el cultivo queda plenamente establecido: cubre o sombrea 10% la superficie del suelo, al suponer que los rayos del sol incidan perpendicularmente.
- Segunda etapa: etapa de desarrollo del cultivo o de rápido desarrollo de cultivo. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre o sombrea de forma efectiva la superficie del suelo (no menos de 70 - 80% de ésta).

- Tercera etapa: etapa de mediados de período o de máxima evapotranspiración. Abarca desde el final de la etapa anterior hasta la iniciación de la maduración del cultivo, que se manifiesta por el envejecimiento del follaje.
- Cuarta etapa: etapa final o de maduración y cosecha. Abarca desde el final de la etapa anterior (que se manifiesta por una marcada disminución en el consumo de agua) hasta la maduración del cultivo o su cosecha.

Tabla VII. **Duración aproximada de las etapas en el ciclo vegetativo de cultivos anuales en días**

Cultivo	Total de días del ciclo	Etapas			
		Primera	segunda	tercera	cuarta
Berenjena	180-185	30-30	50-50	55-65	45-50
cebolla verde	70-95	25-25	30-40	50-65	30-40
cebolla cerca	150-210	15-20	25-35	70-110	40-45
Col	120-140	20-25	25-30	60-65	15-20
Espinaca	60-100	20-20	20-30	15-40	5--10
Lechuga	75-140	20-35	30-50	15-40	10--10
Papa	105-145	25-30	30-25	30-50	20-30
Pepino	105-130	20-25	30-25	40-50	15-20
Pimiento	120-210	25-30	35-40	40-110	40-40
Rabano	35-40	5---10	10--10	15-15	5---5
remolacha azucarera	160-230	25-45	35-65	60-80	40-40
Tomate	135-180	30-35	40-45	40-70	25-30
Zanahoria	100-150	20-25	30-35	30-70	20-20

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 71.



**Tabla VIII. Coeficientes de cultivo Kc de cultivos anuales**

Cultivo	Etapas			
	primera	segunda	tercera	Cuarta
berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
cebolla verde	0,50	0,70	1,00	1,00
cebolla cerca	0,50	0,75	1,05	0,85
col	0,45	0,75	1,05	0,90
espinaca	0,45	0,60	1,00	0,90
lechuga	0,45	0,69	1,00	0,90
papa	0,45	0,75	1,15	0,85
pepino	0,45	0,70	0,90	0,75
pimiento	0,35	0,70	1,05	0,90
rabano	0,45	0,60	0,90	0,90
remolacha azucarera	0,45	0,80	1,15	0,80
tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 71.

#### **4.3.6. Porcentaje de área humedecida**

Una de las ventajas de riego por goteo es que solamente se humedece una porción de la superficie sembrada, dejando seca una parte del terreno donde no llega la zona radicular. Se recomienda que el porcentaje de área humedecida para los cultivos permanentes con una amplia separación sea entre 33 y 50 %. En cultivos tipo hortícola de poco espaciamiento, los valores son más altos y llegan hasta 80%.

En Guatemala, como no se tiene mucha experiencia de riego por goteo, se usan valores altos de porcentaje de área humedecida (en tomate se han usado valores hasta de 75%).

#### **4.3.7. Criterio de cosecha en hortalizas**

Obtener utilidades en la producción y comercialización de hortalizas depende de óptima producción, cosecha, manejo y mercadeo. Generalmente, el horticultor es responsable de la apariencia de su producto cuando este llega al mercado. Si el cultivo es el que el mercado prefiere y fue protegido contra insecto y enfermedades, y la cosecha es seleccionada y transportada adecuadamente, obtendrá un retorno satisfactorio.

Debe tenerse siempre presente que las hortalizas son organismos vivos, por lo que en ellos ocurre una serie de procesos vitales como: respiración, transpiración y cambios químicos que contribuyen a su deterioro. Estos procesos están influidos por la temperatura, la humedad atmosférica, y otros factores.

#### **4.4. Gestión de los sistemas de riego**

Omstrom (1993) indica que aun cuando la inversión masiva en obras de riego ha generado aumentos en el rendimiento agrícola, muchos proyectos de riego a gran escala no han sido económicamente sostenibles; esto es, después de que el proyecto ha finalizado, los costos netos exceden los beneficios netos. Los fracasos tienen lugar cuando los costos son mayores que los beneficios. Una de las formas en que el Banco Mundial y otras organizaciones donantes determinan su aportes económicos es evaluando si el rendimiento económico es por lo menos igual o mayor que el costo de oportunidad del capital.

La falta de una infraestructura para obras de riego sostenibles en muchos países en desarrollo ha sido atribuida a diferentes causas. Uno de los problemas ha sido una tendencia falsamente optimista en el análisis inicial de costo-beneficio. Tras ese optimismo existen varios prejuicios sistemáticos que frecuentemente se presentan en la planificación inicial de proyectos de riego de gran tamaño.

Otro problema sistemático que conduce a estimar beneficios extraordinariamente optimistas es la sobrevaloración del rendimiento agrícola que se obtendrá. La realmente obtenida después de la realización de un proyecto a veces ha sido menor o más inestable de lo previsto.

Una de las principales razones por las que los proyectos de riego han carecido de apoyo es la baja inversión en costos ordinarios relacionados con la operación y mantenimiento de los sistemas.

Un estudio del Banco Mundial de 48 proyectos de riego construidos recientemente, muestra que los gastos de operación y mantenimiento estaban en el nivel acordado con los gobiernos anfitriones en sólo la mitad de los proyectos. Muchos de éstos estaban claramente en vías de construirse, otros proyectos en rehabilitación.

En 1983 la Oficina General de Contabilidad de los Estados Unidos (GAO) realizó una encuesta sobre los proyectos de riego financiados por la USAID en Indonesia, Sri Lanka y Tailandia, y encontró a muchos de ellos en malas condiciones debido a que no se habían realizado las actividades de operación y mantenimiento. El mismo informe señala que en cada uno de estos países se retrasaban las rutinas de mantenimiento hasta que los sistemas estaban en una condición de deterioro suficiente como para requerir obras de rehabilitación financiadas en gran medida por organizaciones donantes.

Los ingenieros de obras tienen que afrontar fuertes presiones para concentrarse en el diseño de las estructuras físicas, mientras se ignora la infraestructura social, para concentrarse en proyectos grandes antes que en proyectos pequeños. Los campesinos que trabajan en proyectos a gran escala tienen que enfrentar a estímulos adversos relacionados con su falta de control sobre la disponibilidad de agua y la tentación de dejar de colaborar con recursos para su mantenimiento.

Los planes iniciales de muchos proyectos importantes de riego en países en desarrollo, se han concentrado casi exclusivamente en los diseños de ingeniería para los sistemas físicos. La distribución del agua a los campesinos y el mantenimiento subsecuentes son aspectos que con frecuencia no han sido atendidos.

Unos de los prejuicios que ha caracterizado a gran parte de la planificación de los proyectos de riego en países en desarrollo ha sido suponer que los proyectos grandes producen mayores beneficios. Sin embargo, existe considerable evidencia que indica que los proyectos más pequeños -obra de riego menor- ofrecen mejores resultados que los proyectos más grandes. Hace una década se evaluó el progreso de la Revolución Verde en el norte de la India e identificó a los pequeños sistemas de riego como el factor más importante que condujo a los aumentos más notables de productividad.

Después de un análisis que recoge las experiencias con obras de riego en África, se concluye que son posibles rendimientos más altos en proyectos a pequeña escala.

Por lo anterior, existe la necesidad de organizar a los campesinos. Los persistentes problemas con el diseño, construcción, operación administración y uso de los proyectos de riego han, llevado a los organismos donantes y a los gobiernos nacionales a revisar el énfasis otorgado a aspectos de ingeniería en la planificación de obras de riego y a subrayar la importancia de organizar a los campesinos para que hagan el uso más eficaz de la inversión del capital.

#### **4.5. Información general del municipio**

La agricultura es una de las actividades más importantes en la región y se ha convertido en una de las principales fuentes de ingresos para sus habitantes, pues la variedad de climas y la gran cantidad de ríos que corren por el territorio contribuyen a que su producción sea variada y abundante. A continuación se detallan algunas características del territorio que ayudarán para el análisis del sistema ideal a utilizar:

Altitud: 1,500 a 2,500 metros sobre el nivel del mar.

Precipitación pluvial anual: 1,000 a 2000 milímetros.

Temperatura media anual: 12 a 18 grados centígrados.

#### **4.6. Cálculos para dimensionar un sistema de bombeo solar para sistemas de mini riego**

En el siguiente capítulo se muestran los pasos para dimensionar el sistema de bombeo solar aplicado a sistemas de riego. Las ecuaciones explican cada una de los pasos que se deben realizar para la aplicación de sistemas de mini riego en el departamento de Quiché, para lo que se tienen que considerar variables, como las del cálculo del caudal necesario y el calendario de riego.

#### **4.7. Análisis económico del sistema**

##### **Sistema de riego**

El sistema de riego considera desde el tanque, la estructura de elevación del tanque, la tubería de conducción, las cintas de riego y sus accesorios.

Figura 20. Sistema de riego

No	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
1	Cinta de riego Hydrolite 1 pulgada	2404 m	Q 1.54	Q 3,702.16
2	Conector inicial de manguera con empaque	124 u	Q 5.01	Q 620.62
3	Tubería PVC 160 psi para conducción 2 pulgada 31 metros de tubo	6 u	Q 128.44	Q 770.64
4	Tubería PVC 160 psi para conducción 1 pulgada 31 metros de tubo	11 u	Q 46.51	Q 511.61
5	tubería PVC 160 psi para conducción 1.5 pulgadas 200 metros de tubo	33 u	Q 82.43	Q 2,720.19
6	codos de 45 de 1.5 pulgadas	4 u	Q 13.21	Q 52.84
7	codos de 90 de 1 pulgada	1 u	Q 6.54	Q 6.54
8	tapones PVC 1, 1 pulgada por unidad	2 u	Q 7.31	Q 14.62
9	Tee PVC 2 pulgadas	2 u	Q 16.37	Q 32.74
10	Reductor 2-1 pulgadas	3 u	Q 10.63	Q 31.89
11	Tanque de almacenamiento 2000 litros	1 u	Q 2,000.00	Q 2,000.00
12	llaves de paso de 2 pulgadas	3 u	Q 60.00	Q 180.00
13	filtro para riego	1 u	Q 200.00	Q 200.00
14	Estructura 6.7 m de alrura (3 postes de madera, bases de concreto, mas escalera, sobre plataforma de madera, mas mano de obra)	1 u	Q 2,760.00	Q 2,760.00
15	Costos de instalación de sistemas de riego y tubería (se consideran 5 operarios durante 5 días, un supervisor y transporte del sistema)	1 u	Q 4,002.50	Q 4,002.50
16	Contingencia 10% del total de sistema de riego	1 u	Q 1,760.00	Q 1,760.00
<b>total</b>				Q 19,366.35

Fuente: Ferretería novex.

## Sistema de bombeo

Son todos los componentes necesarios para bombear agua de manera eficaz.

Figura 21. Sistema de bombeo

	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Precio Total</i>
1	<i>bomba Grundfos 11-SQF 2</i>	<i>1 u</i>	<i>Q 15,851.99</i>	<i>Q 15,851.99</i>
2	<i>Control de carga CU 200</i>	<i>1 u</i>	<i>Q 3,193.96</i>	<i>Q 3,193.96</i>
3	<i>Paneles solares Kyocera KC 65T</i>	<i>5 u</i>	<i>Q 4,288.90</i>	<i>Q 21,444.50</i>
4	<i>Cable interconexión de paneles y hacia la bomba T5J 2*8</i>	<i>20 m</i>	<i>Q 15.40</i>	<i>Q 308.00</i>
5	<i>Estructura para los paneles mas fundición</i>	<i>5 u</i>	<i>Q 200.00</i>	<i>Q 1,000.00</i>
6	<i>Supresor de rayos</i>	<i>1 u</i>	<i>Q 308.00</i>	<i>Q 308.00</i>
7	<i>Interruptor de nivel de mercurio mas cable paralelo #10 de tanque a control de bomba por metro</i>	<i>1 u</i>	<i>Q 754.00</i>	<i>Q 754.00</i>
8	<i>Instalación que considera 2 instaladores durante dos días más supervisor</i>	<i>1</i>	<i>Q 2,304.00</i>	<i>Q 2,304.00</i>
<b>total</b>				<b>Q 45,164.45</b>

Fuente: Ferretería novex.

### 4.8. Mantenimiento del sistema

En cuanto al mantenimiento del sistema, se debe considerar la limpieza de los paneles fotovoltaicos, limpieza del tanque de captación, el cambio de los filtros del sistema de riego según las especificaciones del fabricante, la revisión periódica de las cintas de riego.

## **Sistema solar**

Paneles solares: limpieza cada mes con un trapo para quitarles el polvo.

Verificación del control de la bomba: de ser posible cada semana, ver las luces indicadoras del control para verificar si la bomba está trabajando adecuadamente. Normalmente los controles tienen luces que nos indican las fallas.

Bomba: se le da mantenimiento correctivo cuando deja de funcionar, se debe cambiar aproximadamente cada diez años.

## **Sistema de riego**

Cinta de riego: revisión cada mes y cambio cada 5 años.

Conectores: cada mes, revisar si no existen fugas.

Tubería de conducción: cada mes revisar que no tenga fugas, se debe cambiar cuando se deteriore por el sol. Lo mejor es enterrar la tubería para que esto no suceda.





## **5. MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Riego por goteo**

#### **5.1.1. Ventajas riego por goteo**

Se sabe que los requerimientos de agua para riego pueden ser menores con goteo, que con los otros métodos tradicionales. Los ahorros dependen del cultivo, suelo, condiciones ambientales y de la eficiencia del riego. La razón principal dada para este ahorro de agua es la pequeña porción del volumen de suelo a mojar, la disminución de la superficie evaporante, la mínima escorrentía de agua en el campo y la controlada profundidad de percolación debajo de la zona radicular. Existen evidencias experimentales que demuestran que las aguas de alta salinidad pueden ser usadas con riego por goteo, sin reducir grandemente los rendimientos del cultivo.

El riego por goteo ofrece considerablemente flexibilidad en la fertilización, además la propagación de las malas yerbas pueden reducirse por goteo debido a que sólo se humedece una fracción de la superficie del suelo. El riego por goteo tiene unos costos de bombeo reducidos debido a que las presiones de operación son considerablemente menores, comparados con otro tipo de sistemas presurizados.

#### **5.1.2. Desventajas del riego por goteo**

Se han encontrado algunos problemas en los mecanismos de aplicación de agua con equipos de goteo para suelos diferentes, calidad de agua y condiciones ambientales.

Entre las más importantes desventajas de este método de riego, comparado con otros métodos, se pueden citar:

- Obstrucción de los emisores
- Daños por roedores u otros animales
- Acumulación de sales cerca de las plantas
- Limitaciones técnicas económicas (alto costo inicial)

## **5.2. Lámina de agua necesaria**

Para el departamento de Quiché, el requerimiento máximo de agua se da durante la época de verano debido a que es cuando menos llueve. En el departamento, los primeros cultivos de hortalizas se realizan a mediados del mes de mayo, y se obtiene la cosecha aproximadamente a mediados del mes de noviembre, cuando empieza nuevamente el ciclo vegetativo. Por lo anterior, se realizarán los cálculos de requerimientos hídricos al asumir que se sembrará en el mes de diciembre, para lograr una cosecha antes del mes de mayo.

Lo anterior se justifica porque la época de desarrollo de la planta coincide con los meses de menos precipitación pluvial en la que se requiere más agua. El mes crítico para dimensionar el sistema de bombeo solar dependerá del tipo de cultivo, el clima del lugar y de la época del desarrollo en la que se encuentre la planta, por lo que a continuación se presentan los cálculos al utilizar el método de Blaney-Cridley.

A continuación se presentan la información y las ecuaciones relevantes para dicho cálculo:

### 5.3. Temperaturas máximas y mínimas para el departamento, por mes

Tabla IX. **Temperaturas máximas y mínimas para el departamento de Quiché, por mes**

<i>Temperaturas promedio del año 1190-1994</i>					
<i>Mes</i>	<i>Max.</i>	<i>min.</i>	<i>t media del mes</i>	<i>HR media</i>	<i>Velocidad del viento (m/s)</i>
<i>Enero</i>	21,70	6,50	14,10	35%	1,27
<i>Febrero</i>	28,00	6,40	14,70	28%	1,04
<i>Marzo</i>	25,20	8,60	16,90	28%	0,94
<i>Abril</i>	25,50	10,80	18,15	30%	0,97
<i>Mayo</i>	23,00	11,40	17,20	34%	0,92
<i>Junio</i>	22,70	12,20	14,45	42%	0,78
<i>Julio</i>	21,80	11,30	16,55	43%	0,79
<i>Agosto</i>	22,10	10,80	16,45	34%	0,93
<i>Septiembre</i>	22,10	11,40	16,75	47%	0,71
<i>Octubre</i>	22,00	10,80	16,40	49%	0,75
<i>Noviembre</i>	21,00	9,70	15,35	48%	0,71
<i>Diciembre</i>	21,40	8,10	14,75	53%	0,70

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Boletín p. 2.

## 5.4. Precipitación pluvial mensual e insolación diaria

### 5.4.1. Estadísticas

Tabla X. Datos de precipitación pluvial mensual e insolación diaria en el departamento de Quiché

Mes/parametro	Precipitación pluvial promedio por mes en mm. (1990-1997)	Insolación (Brillo solar) horas diarias (1978 -1989)
Enero (31 días)	4,50	6,55
Febrero (28 días)	3,40	7,64
Marzo (31 días)	8,70	8,38
Abril (31 días)	41,00	7,53
Mayo (31 días)	187,70	6,45
Junio (30 días)	229,90	4,20
Julio (31 días)	213,80	5,89
Agosto (31 días)	216,90	5,99
Septiembre (30 días)	276,40	4,90
Octubre (31 días)	113,00	5,53
Noviembre (30 días)	42,10	6,04
Diciembre (31 días)	18,80	6,48

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. Boletín p. 2.

$$t = (T \text{ máxima media} + T \text{ mínima media})/2$$

#### Ecuación 1

<i>t</i> [expresada en grados centígrados]	Temperatura media mensual
<i>T</i> máxima media [grados Centígrados]	Es la suma de las temperaturas máximas diarias de un mes determinado, dividido dentro del número de días del mes, tabla 9
<i>T</i> mínima media [grados centígrados]	Es la sumatoria de las temperaturas mínimas diarias de un mes determinado, dividido dentro del número de días de mes, tabla 9

$$f = p * (0.46t + 8.13)$$

### Ecuación 2

<i>f (mm) factor de Blaney - Criddle</i>	<i>Expresado en mm. de agua diarios. Tiene el máximo valor para todos los días del mes considerado</i>
<i>p (porcentaje) horas de luz por día expresadas como el porcentaje del total anual</i>	<i>Tanto por uno de horas diurnas del mes respecto de las totales. Tabla 4. horas de luz por día expresadas como porcentaje del total anual</i>
<i>T (grados centígrados) temperatura media mensual</i>	<i>Temperatura media mensual. Ecuación 1</i>

La relación entre los factores *f* y la evapotranspiración del cultivo de referencia *ET<sub>o</sub>*, se indican gráficamente en la figura 19, de la sección 4.3.3, en el que se considera la humedad relativa mínima del lugar, la velocidad del viento, y se considera la relación *n/N* entre las horas reales (*n*) y las horas máximas posibles (*N*) de insolación fuerte. Para ello se cuenta con la tabla VI, de la sección 4.3.3, y los datos del lugar de estudio, que pueden ser obtenidos en el INSIVUMEH.

Se debe identificar cuál de las gráficas que se presentan es la que concuerda con el lugar de estudio e interceptar la línea que se ajuste a la velocidad del viento del lugar de estudio, para encontrar el *ET<sub>o</sub>* a partir de la *f* (factor de Blaney-Criddle). Para el departamento de Quiché ya se realizaron estos cálculos en la sección 4.3 de los resultados, sin embargo es importante que queden expresadas las ecuaciones para calcular en otros municipios.

El paso siguiente es identificar la duración del periodo de desarrollo del cultivo, dividiéndolo en sus etapas correspondientes e identificar el coeficiente de cultivo de cada etapa. Estos datos pueden ser encontrados en la sección 4.3.5 en la tabla VII. Duración aproximada de las etapas en el ciclo vegetativo de cultivos anuales en días y Tabla VIII. Coeficientes de cultivo *K<sub>c</sub>* de cultivos anuales.

Posteriormente, se debe calcular la evapotranspiración de un cultivo determinado expresado en mm por día, con la ecuación siguiente:

$$ET (\text{cultivo}) = ETo * Kc$$

### Ecuación 3

<i>Ef (mm) evapotranspiración de un cultivo determinado</i>	<i>Se calcula al multiplicar la evapotranspiración del cultivo de referencia en el mes calculado por el coeficiente de cultivo según la etapa de su desarrollo en la que se encuentre</i>
<i>Eto (mm) Evapotranspiración del cultivo referencia</i>	<i>Dato encontrado a partir de la figura 19. predicción de la Eto a partir del factor f de Blaney Criddle</i>
<i>KC (porcentaje) Coeficiente de cultivo, variable con el propio cultivo y con su periodo vegetativo</i>	<i>Datos de la tabla VIII. Coeficiente de cultivo KC de cultivos anuales</i>

Para la evapotranspiración de un cultivo determinado (Et), debe encontrarse un promedio mensual de aplicación (Et del mes correspondiente), por lo que se debe sumar el Et de cada uno de los días del mes y dividirlo dentro de los días totales del mes. Este dato será el que se aplique mensualmente y será el que servirá para identificar el mes crítico (requerimiento hídrico máximo), para el cual se diseñe el sistema completo.

#### 5.5. Cálculo de tiempo de riego

Primero se debe identificar el tipo de cultivo y la separación que existe entre plantas y entre surcos. La cinta de riego tiene una separación variable entre goteros, para hortalizas debe ser de no más de 0,30 m y la separación entre plantas depende del tipo de cultivo, para esta investigación se consideró 1 m. Según las especificaciones de los fabricantes de cintas, se puede considerar que para una presión de 6 metros columna de agua, se obtendrán 1,89 litros/hora.

Si se saben las dimensiones del terreno se puede calcular cuánta cinta de riego se deben poner. La cantidad de cinta en metros se multiplica por el caudal por metro y se obtiene el caudal total de las cintas sobre el terreno. Posteriormente, para el cálculo del tiempo de riego, se debe calcular cuál será el área real de riego al considerar eficiencias y el porcentaje de área húmeda.

$$\text{Área real de riego [ARR(m}^2\text{)]} = \frac{\text{ÁR(m}^2\text{)} * (\% \text{ de área humedecida})}{\text{Eficiencia de riego (\%)}}$$

#### Ecuación 4

Área real de riego [ARR(m <sup>2</sup> )]	Área efectiva que se regara
AR (m <sup>2</sup> ) área de riego	Multiplicación del ancho por el largo del terreno o dato proporcionado por una topografía
% de área humedecida	Normalmente para hortalizas se utiliza el 75%
Eficiencia de riego	Para los sistemas de riego por goteo se puede asumir 90%

El tiempo de riego debe ser calculado con la ecuación siguiente:

$$\text{Tiempo de riego [TR(hora/día)]} = \frac{\text{ARR (m}^2\text{)} * (\text{Et del mes correspondiente}/1000)}{(\text{1000 (metros de cinta)} * (\text{Litros/hora} * \text{metro}))}$$

#### Ecuación 5

Tiempo de riego [TR(hora)]	Tiempo de riego en horas por día
ARR (m <sup>2</sup> ) área real de riego	Ecuación 5. área real de riego
Ef del mes correspondiente mm./día de agua	mm. de agua diaria del mes determinado encontrado en el inciso 5.3 lámina de agua necesaria
Metros de cinta	Cantidad de cinta que se colocará sobre el terreno dejando una separación de 1 m. entre surcos
Litros/Hora por metro	Dato brindado por las especificaciones del fabricante



## 5.6. Elevación del tanque de agua

El sistema de riego que se debe utilizar es el sistema de goteo por medio de cintas, esto es debido a que es un sistema económico y trabaja con bajas presiones, lo cual es importante para la implementación de este tipo de proyectos. El diseño del sistema de riego muchas veces es proporcionado por las empresas que venden estos productos, los datos que se le deben proporcionar para el diseño son:

<i>Plano del área que se desea irrigar</i>	<i>No se debe ser muy específico básicamente es mostrar el área que se desea regar y si es que tiene algún tipo de inclinación</i>
<i>tipo de cultivo</i>	<i>Es importante porque así se definirá cual será la separación de la cinta de riego y la separación de los goteros</i>

Sin embargo, la elevación necesaria del tanque de agua no es proporcionada por las empresas, por lo que es preciso hacer un cálculo aproximado. El fabricante brinda la presión de trabajo de la cinta de riego y el caudal que brinda el gotero con esta presión, sin embargo se deben considerar las pérdidas por fricción para la elevación del tanque.

La elevación del tanque debe considerar la presión de trabajo de la cinta de riego, más las pérdidas de que se dan en las tuberías de conducción, más las pérdidas que se dan en cada uno de los accesorios, más las pérdidas generadas en la cinta de riego.

Las pérdidas de carga totales se pueden calcular con las siguientes ecuaciones:

CDT tanque = Pérdida tubería + Pérdida accesorios + pérdidas cinta + presión de trabajo de las cintas

### Ecuación 6

CDT tanque en metros	Es la altura necesaria a la que se debe elevar el tanque para que genere la presión de trabajo del sistema de riego
Pérdida de tubería Hf <sub>tubería</sub> (m)	$Hf_{tubería} = f \cdot (L/d) \cdot (v^2/2+g)$ <p>Donde:</p> <p>Hf = pérdida de carga</p> <p>f = coeficiente de fricción. Ver anexo 1</p> <p>L = longitud del tramo de tubería en metros</p> <p>d = diámetro en metros</p> <p>v = velocidad m/s. es el caudal (m<sup>3</sup>/s) en cada tramo de tubería dividido el área del tubo (m<sup>2</sup>)</p> <p>g = gravedad del lugar (9.81 m/s<sup>2</sup>)</p>

Pérdidas por accesorios accesorios (m)	Hf	$Hf_{accesorios} = (KV^2) / (2 \cdot g)$ <p>Donde</p> <p>K = Constante de pérdidas. Ver anexo 2</p> <p>V = velocidad (m/s)</p> <p>g = gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)</p>
Pérdida en la cinta de riego o lateral hf (m)		<p>Tubería normal al inicio, con la ecuación <math>Hf = f \cdot (L/d) \cdot (v^2/2+g)</math>, pero se debe multiplicar por el factor de reducción de salida F, de la tabla 1.  <math>Hf_{cinta} = Hf \cdot F</math></p> <p>Esta pérdida debe cumplir con la condición siguiente <math>Hf_{cinta} &lt; nf_{1-2}</math>, esto es, para cumplir con una variación de caudal aceptable, entre el primer gotero y el último gotero.</p> <p>Donde:</p> $nf_{1-2} = 0.2 \cdot no + (Z1 - Z2)$ <p>Donde:</p> <p>nf 1-2 = pérdida permisible en el lateral</p> <p>no = presión de operación del aspersor</p> <p>Z1 = altura en el primer aspersor del lateral</p> <p>Z2 = altura en el último aspersor del lateral.</p> <p>De no cumplir esta condición, se debe usar un diámetro de cinta más grande hasta que se cumpla</p>

## 5.7. Caudal del sistema de bombeo

Caudal sistema de bombeo por día

CSBD (Litros/día) = TR (horas/día) \* metros de cinta (m) \* caudal gotero (l/h \*m)

### Ecuación 7

CSBD (Litros/día) Volumen de agua requerido por día	Volumen Volumen de agua requerido por sistema por día
TR (horas/día) tiempo de riego	Ecuación 5
Metros de cinta (m)	Se puede calcular al considerar el espacio entre surcos y la cantidad de cinta para abarcar uniformemente todo el terreno
Caudal gotero (litros/hora*gotero)	Brindado por el fabricante a la presión de trabajo especificada

Caudal sistema de bombeo [CSB (Litros/hora)] =  $\frac{\text{CSBD (litros/día)}}{\text{Insolación (hora-pico/día)}}$

### Ecuación 8

Caudal sistema de bombeo (CSB) litros/hora	Caudal que debe subir la bomba para cumplir con los requerimientos diarios de agua del cultivo
CSDB (litros/día) volumen de agua requerido por día	Ecuación 7
Insolación (hora-pico) para el mes crítico	Identificando el mes crítico en el inciso 5.3 Lámina de agua necesaria, el dato de insolación en la tabla X. datos de precipitación pluvial mensual e insolación diaria
Caudal gotero (litros/hora*gotero)	Brindado por el fabricante a la presión de trabajo especificada

## 5.8. Cálculo de la carga dinámica total

CDT bombeo = nivel estático + altura de descarga + pérdida por tubería + pérdida por accesorios

### Ecuación 9

#### 5.8.1. Nivel estático (metros)

Es la altura que existe del espejo de agua hasta el nivel del suelo, que puede obtenerse por medio de mediciones directas.

#### 5.8.2. Altura de descarga

Es la altura a la que se elevará el agua para generar la presión de trabajo del sistema de riego, que es la suma de la altura necesaria a la que se debe elevar el tanque, este cálculo se realizó en el inciso 5.7

#### 5.8.3. Pérdida de tubería (hft)

Para el cálculo de la pérdida se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de tubería hft} = f * (L/d) * (v^2 / 2 * g)$$

### Ecuación 10

Donde:

hf = pérdida de carga

f = coeficiente de fricción. (Ver anexo 1)

L = longitud del tramo de la tubería en metros

d = diámetro en metros

v = velocidad m/s, es el caudal (m<sup>3</sup>/s) en cada tramo de tubería dividido el área del tubo (m<sup>2</sup>)

g = gravedad del lugar (9,81 m/s<sup>2</sup>)

#### 5.8.4. Pérdida por accesorios (hfa)

Para el cálculo de la pérdida por accesorios se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida por accesorios } h_{fa} = (kv^2)/(2 \cdot g)$$

#### Ecuación 11

Donde:

K = Constante (depende la relación de áreas)

v = velocidad

g = gravedad

#### 5.9. Selección de la bomba

En este paso se requiere tanto del caudal del sistema de bombeo (CSB) como de la carga dinámica total de bombeo (CDT bombeo) calculados en el paso 4 y paso 5, respectivamente. Con dichos datos y las especificaciones del fabricante se puede hacer la selección de la bomba. Posteriormente, se requieren los datos siguientes para poder dimensionar los módulos fotovoltaicos.

Información de la bomba y motor	
Marca y modelo	
Tipo de bomba	
Tipo de motor	Se recomienda policristalino
Voltaje de operación (VNS)(c.c./c.a)	Voltaje nominal del sistema, dimensionado en voltios. En la actualidad existen bombas que trabajan con voltajes variables, se debe buscar trabajar con el voltaje máximo posible para obtener mejores resultados.
Eficiencia de la bomba ( $\mu$ )	Porcentaje brindado por las especificaciones del fabricante

Esta información es de suma importancia para la especificación de los módulos fotovoltaicos.

## 5.10. Factor de conversión

Energía del arreglo fotovoltaico [EF (wh/día)] = CSBD (Litros/día) \* CDT  
 bombeo (m) FC(Litros-m/Wh) \*  $\mu$ (%)

### Ecuación 12

Energía del arreglo fotovoltaico [EF (Wh/día)]	Es la altura necesaria a la que se debe elevar el tanque para que genere la presión de trabajo del sistema de riego
CSBD (m <sup>3</sup> /día) Volumen de agua requerida por día	Ecuación 7
Carga dinámica total CDT bombeo (m)	Ecuación 9
Factor de conversión FC(L-m/Wh)	<p>367 (litros-m/Wh), que es la energía necesaria en Watts-hora para elevar un litro de agua un metro. Este valor es una constante física (Guía de bombeo solar, Sandia Laboratorios 2001. Se puede demostrar con la ecuación de energía potencial <math>E_{potencial} = m \cdot g \cdot h</math> donde:</p> <p><math>E</math> = energía potencial joule (newton*metro)  <math>m</math> = masa(Kg)  <math>g</math> = gravedad del lugar (9.81m/s<sup>2</sup>)  <math>h</math> = altura en metros</p> <p>Sabiendo que un joule es igual a 3600 W-h</p>
$\mu$ (%)	Porcentaje de eficiencia, obtenida en el inciso 5.10. Selección de la bomba

### 5.11. Cálculo de la corriente

$$\text{Corriente del sistema [CS (Amperios)]} = \text{VNS (v)} * \text{FRC (\%)} * \frac{\text{EF (wh/día)}}{\text{Insolación (h-pico/día)}}$$

#### Ecuación 13

Corriente del sistema[CS(Amperios)]	Corriente del sistema dimensionado en amperios
Energía del arreglo fotovoltaico EF(Wh/día)	Es el que se obtuvo en el cálculo de la energía del arreglo fotovoltaico dimensionado en Watts-hora/día
Voltaje Nominal Sistema VNS(V)	Selección de la bomba según el tipo de bomba dimensionado en Voltios
Metros de cinta	Puede ser el 95% si se escoge de manera adecuada el conductor
Litros/Hora por metro	Identificando el mes crítico en el punto 5.3 la lámina de agua necesaria, el dato de insolación de la tabla X. datos de precipitación pluvial mensual de insolación diaria

### 5.12. Elección del módulo fotovoltaico

Se debe elegir un módulo fotovoltaico según los existentes en el mercado, para los cuales se requiere la siguiente información:

Información del módulo Fotovoltaico	
Marca	
Modelo	
Tipo	Se recomienda policristalino
V <sub>pm</sub>	Voltaje de potencia máxima
I <sub>pm</sub>	Corriente de la potencia máxima
V <sub>oc</sub>	Voltaje máximo producido por el módulo
I <sub>sc</sub>	corriente máxima producida por el módulo para cero potencia

Información importante para la realización de los cálculos siguientes.

### 5.13. Módulos en paralelo

$$\# \text{ Módulos en paralelo} = \frac{CS \text{ (Amperios)}}{FRM (\%) * Imp(\text{Amperios})}$$

#### Ecuación 14

Corriente del sistema [CS{Amperios} ]	Obtenida en el inciso 5.12 Calculo de la corriente del proyecto
Factor de reducción del modulo FRM{%	Debido a las condiciones del trabajo del campo se pierde eficiencia en los módulos. Se puede suponer 95% de eficiencia en módulos cristalinos y 70% en módulos amorfos
Corriente de potencia máxima Imp{amperios}	Dato obtenido en el inciso 5.13 Elección del módulo fotovoltaico

### 5.14. Módulos en serie

$$\# \text{ Módulos en serie} = \frac{VNS(v)}{Vmp (v)}$$

#### Ecuación 15

# Módulos en serie	Es igual al número de módulos en serie requeridos para lograr el voltaje nominal del sistema
Voltaje Nominal Sistema VNS{V}	Información obtenida en el inciso 5.10 según el tipo de bomba dimensionada en voltios
Voltaje de potencia máxima Vmp{vatios}	Dato obtenido en el inciso 5.13 que es igual al voltaje de potencia máxima de los módulos fotovoltaicos



### 5.15. Módulos del arreglo fotovoltaico

# Total de módulos = # Módulos en serie \* # Módulos en paralelo

#### Ecuación 16

# Total de módulos	Número total de módulos requeridos para el sistema tanto en serie como en paralelo
# Módulos en paralelo	Obtenido del inciso 5.14
# Módulos en serie	Obtenido del inciso 5.15

**Nota:** es importante mencionar que la inclinación de los paneles se debe hacer como se indica en la sección de inclinación de los paneles solares del marco teórico. En el caso específico de Quiché, se debe ubicar sobre el plano horizontal de oeste a este con una inclinación de 14° 56' 14" con la cara viendo hacia el sur como se muestra en la figura 14. Inclinación del panel solar.

### 5.16. Tamaño del arreglo fotovoltaico

Tamaño del arreglo fotovoltaico (Watts) = # Total de módulos \*  $V_{mp}(v)$  \*  $I_{mp}$ (Amperios)

#### Ecuación 17

# Total de módulos	Obtenido del inciso 5.16
Voltaje de potencia máxima $V_{mp}$ {vatios}	Obtenido del inciso 5.13
Corriente de potencia máxima $I_{mp}$ {amperios}	Obtenido del inciso 5.15

### 5.17. Caudal sistema de bombeo teórico

El caudal calculado en el paso uno brindó una magnitud según los requerimientos físicos del sistema de riego. Sin embargo, el caudal teórico bombeado por el sistema se calcula de la siguiente manera:

Caudal sistema de bombeo teórico[CSBT(L/día) =

$$\frac{\mu(\%) * CS (A) * VNS (v) * FC(L-m/Wh) * insolación(hora-pico/día)}{CDT bombeo(m)}$$

#### Ecuación 18

Caudal sistema de bombeo teórico [CSBT (litros/día)]	Caudal bombeado por el sistema de riego considerando el número de panales utilizados
$\mu$ (%)	Porcentaje de eficiencia de la bomba obtenido en el inciso 5.10
Corriente del sistema[CS(Amperios)]	Obtenido en el inciso 5.12
Voltaje Nominal Sistema VNS(V)	Información obtenida en el inciso 5.10 según el tipo de bomba dimensionada en voltios
Factor de conversión FC(L-m/Wh)	367 (L-m/Wh) que es la energía necesaria en Watts-hora para elevar un litro de agua un metro este valor es una constante física
Insolación (hora-pico/día) para el mes crítico	Identificación del mes crítico en inciso 5.3 Lámina de agua necesaria. El dato de insolación en la tabla XI. datos de precipitación pluvial mensual e insolación diaria en el departamento de Quiché
Carga dinámica total CDTbombeo(m)	Se calculó en el inciso 5.9

## 5.18. Régimen de bombeo por hora

$$\text{Régimen de bombeo [RB(L/hora)]} = \frac{[\text{CSBT(L/día)}]}{\text{Insolación (hora-pico/día)}}$$

### Ecuación 19

<i>Régimen de bombeo [RB (litros/hora)]</i>	<i>Caudal bombeado por el sistema de riego al considerar le número de paneles utilizados</i>
<i>Caudal sistema de bombeo teórico [CSBT (litros/día)]</i>	<i>Calculado en el inciso 5.18</i>
<i>Insolación (hora-pico/día) para el mes crítico</i>	<i>Identificación del mes crítico en inciso 5.3 Lámina de agua necesaria. El dato de insolación en la tabla X, datos de precipitación pluvial mensual e insolación diaria en el departamento de El Quiche</i>

**Nota:** los cálculos anteriores servirán como un guía para la especificación del sistema de bombeo adecuado para los requerimientos del sistema de riego. Aunque en el mercado actual existen empresas que sólo requieren cierta información para dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico, esta investigación servirá para saber de qué manera se pueden utilizar los sistemas de bombeo solar para sistemas de mini riego y hacer cálculos preliminares para saber si las recomendaciones de las empresas son acordes a las necesidades del proyecto, y que no están sobredimensionando el sistema.

## 5.19. Cálculo de sistema solar

### 5.19.1. Programa Win

A continuación, se presentan los cálculos realizados para dimensionar el sistema de bombeo solar, tanto con las ecuaciones presentadas en esta investigación, como con el programa Win CAPS 752 de Grundfos. Lo anterior servirá como un parámetro de comparación para la verificación de la validez de las ecuaciones planteadas.

Cálculo del sistema solar según las ecuaciones presentadas en esta investigación.

### Información del departamento

Lugar	Quiché
Caudal requerido m <sup>3</sup> /día	12,57
Caudal requerido L/día	12568,50
Altura fuente-terreno	2,5
Insolación mes crítico	8,38

Calculando la CDT bombeo, se estima la pérdida en tubería y accesorios a.

### v viscosidad cinemática m<sup>2</sup>/s

v m <sup>2</sup> /s @ 20·C	0,00000107
----------------------------	------------

Se debe tener presente para el cálculo del caudal por hora del sistema de bombeo de la insolación del mes crítico, marzo, es:

<b>Insolación mes crítico</b>	8,38	hora/día
-------------------------------	------	----------



## CONCLUSIONES

1. El departamento de Quiché, cumple con los requerimientos necesarios para la implementación de paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas.
2. La insolación promedio del lugar es de aproximadamente 6.24 hora-pico/día, que es mucho mayor al requerimiento mínimo recomendado por los expertos (3 hora-pico/ día).
3. El departamento de Quiché cuenta con suficientes recursos hídricos, para ser explotados, además con terrenos aledaños que sirven para el cultivo.
4. Un gran porcentaje de la población es agrícola, donde se dedica un promedio de 2 cuerdas al cultivo de hortalizas, según el Plan de Desarrollo Municipal de Quiché.
5. Se cuenta con organizaciones de carácter agrícola, que pueden llevar a cabo de una manera más efectiva la implementación de estos sistemas.
6. En el departamento existen organizaciones de carácter mercantil que pueden proporcionar financiamientos, para la implementación de proyectos con un enfoque comercial.
7. Se cuenta con mercados tanto internos como externos para la comercialización de estos productos, además de canales de distribución, ya que todas las comunidades tienen vías de acceso terrestres.

8. Aunque la empresa eléctrica llega a todas las comunidades, son muchos los nacimientos que se encuentran alejados de los tendidos eléctricos. Además, los terrenos disponibles para el cultivo están también alejados de los tendidos eléctricos, y los costos de instalación de nuevos servicios son demasiado altos debido a la geografía del municipio, por lo que el bombeo por medio de energía solar es una opción apropiada.
9. La opción del diesel, a largo plazo, tiene implicado costos de operación, refacciones, combustible y de mantenimiento más altos que los de un sistema de bombeo fotovoltaico, además de la dificultad que presenta para poder llevar una gestión adecuada por parte de los participantes del proyecto. Muestra de ello es la experiencia obtenida por los sistemas instalados en México, que manifiestan que a largo plazo la inversión inicial en los sistemas fotovoltaicos, es compensada por los ahorros en combustible y mantenimiento. Para mayor información puede consultarse la Guía de Bombeo Solar (Sandia, Laboratorios 2001), en donde se muestra la comparación entre los sistemas.
10. Según el análisis financiero, para las condiciones dadas de este proyecto en particular, la inversión en este sistema es rentable.
11. Los sistemas de riego accionados con energía fotovoltaica son una opción que presenta ahorros significativos durante la vida del proyecto. Además, son fáciles de gestionar, debido a que no requieren gran mantenimiento, por lo que son ideales para regiones en donde la organización de la gente para darle mantenimiento a un sistema, es una de las principales dificultades.

## RECOMENDACIONES

1. Las personas que deseen implementar este tipo de proyectos, deben saber que es necesaria una buena administración de los ingresos, una comercialización efectiva y un mantenimiento adecuado del sistema.
2. Al gobierno: se insta que dentro de su gestión, incluya incentivos que busquen la aplicación de sistemas de energía renovable en el país, para lograr de esta manera la independencia de los recursos energéticos de combustibles fósiles y energía eléctrica.
3. A las cooperativas de carácter agrícola, se les sugiere que busquen la implementación de sistemas de riego accionados por medio de bombeo solar, tanto en sus proyectos ya instalados como en los futuros.
4. A las organizaciones de carácter financiero, se les insta a que apoyen este tipo de planes porque según las experiencias que se tienen en otros países, son proyectos productivos con los cuales se pueden amortizar los gastos de inversión inicial y lograr un retorno sobre la inversión, satisfactorio para los agricultores.
5. A las diferentes universidades del país, se les recomienda que incluyan dentro de los currículos de ingeniería y agronomía, teoría acerca de la energía solar y las distintas aplicaciones que se pueden dar en un país en vías de desarrollo como Guatemala.



6. A los institutos de nivel medio, se les insta a enfatizar en el aprovechamiento de los recursos renovables para que los estudiantes, al momento de entrar a la universidad conozcan de este campo de estudio en el cual pueden desarrollarse.
7. Al Ministerio de Educación, se le sugiere que dentro del currículo de estudio incluya el tema de desarrollo sostenible, como parte de los conocimientos básicos de las personas.
8. En cuanto al medio ambiente, se puede aseverar que de no tomar medidas en el asunto se tendrán graves consecuencias en el futuro por la pérdida de afluentes de agua, el deterioro de la tierra, ya que a la tala desenfrenada de árboles, y ello conlleva una posible problemática social, la cual podría generar conflictos por escasez de agua entre la población.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BROWN, Lester. Recursos energéticos renovables y aplicaciones rurales en el mundo en vías de desarrollo. México: Nueromar, 1978. 305 p. ISBN: 0-419-25320-3
2. CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS, CIDINT. Diseño de métodos de riego en Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1988
3. DOMÍNGUEZ, José A. Energías alternativas. España: Sirius, 1995. 121 p. ISBN: 978-84-92509-21-8
4. FUENTES, José Luis. Técnicas de riego. España: Mundi-prensa, 1998. 472 p. ISBN: 84-8476-1
5. GRAMAJO CASTILLO, A. "Estudio de energía solar concentrada para obtención de energía eléctrica". Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.
6. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. Guatemala, 2006.

7. LORENZO RODAS, A. "Guía para realizar un estudio de factibilidad del uso de la energía solar, como solución alternativa en el alumbrado eléctrico domiciliario en la comunidad de Chuisiguan, Santa María Chiquimula, Totonicapán". Tesis Licenciatura. Universidad Rafael Landívar, Facultad Ingeniería, 2006.
8. GUATEMALA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN. Centro de información del agro (INFOAGRO) Folletos disponibles al público. Guatemala, 2006
9. GUATEMALA, MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA. Folletos disponibles al público. Guatemala, 2006.
10. METZGER, Norman. Energía: crisis continúa. México: Editores Asociados Mexicanos, 1982. 343 p. ISBN: 968-409-150-8
11. MUNICIPALIDAD DE SANTA CRUZ DE EL QUICHÉ. Plan de Desarrollo Municipal 2003-2013. Guatemala. Quiché, 2003.
12. ORTEGA RODRÍGUEZ, Mario. Energías renovables. España: Thompson Editores, 2002. 336 p. ISBN: 978-84-283-2582-0
13. OVALLE, F. "Aplicaciones de la energía solar y control de paneles fotovoltaicos". Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.
14. OSTROM, Elinor. Diseño de instituciones para sistemas de riego autogestionados. EEUU: *Institute for contemporary studies*, 1993.

15. RANDALD Giles y otros. Mecánica de los fluidos e hidráulica. España: Mc Graw Hill 3<sup>a</sup> ed. 1994. Pag. 180. ISBN: 8448118978
16. RIVERA, F. A. “El Sol como Recurso Energético para la comunidad Agrícola del Microparciamiento San Juan El Paraíso, Puerto de San José, Escuintla”. Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.
17. SANDIA NATIONAL LABORATORIES Y SOUTHWEST TECHNOLOGY DEVELOPMENT INSTITUTE, Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica. (Volumen 1 libro de consulta). EEUU: *Southwest Technology Development, Institute, New Mexico State University*, 2001.
18. SANDIA NATIONAL LABORATORIOS Y SOUTHWEST TECHNOLOGY DEVELOPMENT INSTITUTE, Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica. (Volumen 2 libro de trabajo). EEUU: *Southwest Technology Development, Institute, New Mexico State University*, 2001.
19. SANDOVAL, J. “Principios de riego y drenaje”. Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.
20. TONDA, Juan. El oro solar y otras fuentes de energía. México: Secretaria de Educación Pública, 1982.



## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Factor F

Tabla 1. Factor F para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples

No de Salidas	Valor F	No de Salidas	Valor F
1	1,000	19	0,372
2	0,634	20	0,370
3	0,528	21	0,369
4	0,480	22	0,368
5	0,451	23	0,367
6	0,433	24	0,366
7	0,419	25	0,365
8	0,410	26	0,364
9	0,402	27	0,364
10	0,396	28	0,363
11	0,393	29	0,363
12	0,388	30	0,362
13	0,384	35	0,359
14	0,382	40	0,357
15	0,379	50	0,355
16	0,377		
17	0,375	93	0,3436
18	0,373		

<b>V viscosidad cinemática m<sup>2</sup>/2</b>	
<b>v m<sup>2</sup>/s a 20 °C</b>	<b>0,0000107</b>

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 92.

## ANEXO 2

Factor K

### Pérdida adicional por fricción para flujos laminares a través de accesorios

Accesorio o válvula	Pérdidas adicionales por fricción expresada como K			
	Re = 50	Re = 100	Re = 500	Re = 1000
L 90°, Radio corto	16,0	10,0	7,5	0,9
T Estándar en tramo		2,5	0,5	0,4
Bifurcación a la línea	9,3	4,9	1,9	1,5
Válvula de compuerta	24,0	9,9	1,7	1,2
Válvula de globo tapón	30,0	20,0	12,0	11,0
Tapón	27,0	19,0	14,0	13,0
Válvula angular	19,0	11,0	8,5	8,0
Válvula de columpio	55,0	17,0	4,5	4,0

Fuente: José Luis, Fuentes Técnicas de riego p. 94.