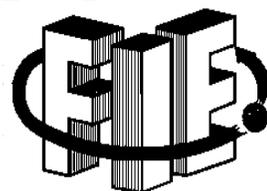




**Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo**



Facultad de Ingeniería Eléctrica

**SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A UN SISTEMA DE
RIEGO**

TESIS

QUE PRESENTA:

DAVID TADEO ESPINOZA

Para obtener el TITULO de:

INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

Dr. Gilberto González Avalos

Morelia Mich., Abril del 2018

Agradecimientos

A MIS PADRES

Carlos Tadeo

Edelmira Espinoza

Que siempre han estado ahí para brindarme el apoyo de alguna u otra manera lo que necesité física y moralmente, que gracias a ellos estoy realizando mi formación profesional.

A MIS HERMANOS

A pesar de la distancia de unos con otros no dejan de ser mi motivación de superarme día a día. Además de la educación y valores que nos han inculcado nuestros padres.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

De la facultad por brindarme el apoyo dentro y fuera de las aulas.

De mi infancia por creer en mí poder llegar a este último paso de mi formación profesional.

A MI ASESOR

Dr. Gilberto González Avalos, por ser un excelente profesor y asesor, por demostrar que sí se pueden realizar las cosas con entusiasmo y perseverancia, agradecido por motivarme en la realización de mi tesis.

Dedicatorias

A mis seres queridos que se han adelantado

en el camino y que sé que ellos estarían

felices al ver que las cosas si

se pueden, si se tiene la

motivación para

realizarlo.

Índice

Agradecimientos.....	i
Dedicatorias.....	ii
Índice.....	iii
Resumen.....	vi
Palabras Clave.....	vii
Abstract.....	viii
Keywords.....	ix
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tablas.....	xii
Glosario de Términos.....	xiii
Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1. Fuentes Renovables.....	2
1.1.1 Definición.....	2
1.1.2. Energía Eólica (Wikipedia, Energía Eólica, 2017).....	2
1.1.3. Energía Solar (Wikipedia, Energía Solar en México, 2017).....	6
1.1.4. Energía de las olas (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).....	9
1.1.5. Energía Undimotriz (Wikipedia, Energía Undimotriz, 2017).....	10
1.1.6. Energía Hidroeléctrica.....	11
1.2. Objetivo.....	11
1.3 Justificación.....	12
1.4 Metodología.....	13
1.5 Descripción de Capítulos.....	13
Capítulo 2 Antecedentes de Fuentes Renovables.....	15
2.1. Demanda Energética (Ortega, 2002).....	15
2.1.1. Estado actual de la tecnología renovable (Ortega, 2002).....	17
2.1.2. Cómo incentivar la implantación de tecnologías renovables (Ortega, 2002).....	21
2.2. Energía Solar Térmica (Ortega, 2002).....	22
2.2.1. Colector solar térmico de baja Temperatura (Ortega, 2002).....	23
2.2.2. Producción de Agua Caliente Sanitaria (Ortega, 2002).....	24
2.2.3. Calefacción por suelo radiante (Ortega, 2002).....	25
2.2.4. Conexión e Interconexión de Colector Térmico (Ortega, 2002).....	26
2.3. Energía Solar Fotovoltaica (Ortega, 2002).....	29
2.3.1. Efecto Fotovoltaico Célula Fotovoltaica (Ortega, 2002).....	30

2.3.2. Tipos de Paneles Fotovoltaicos (Castillo, 2016)	35
2.4. Energía Eólica y Energía Minihidráulica.....	37
2.4.1. Origen de las Energías Hidráulica y Eólica (Ortega, 2002).....	37
2.4.2. Generalidades sobre el viento (Ortega, 2002).....	44
2.4.3. Tipos de Máquinas Eólicas y sus aplicaciones (Ortega, 2002)	47
2.5. La Energía de un salto de agua (Ortega, 2002)	49
2.6. Tipología de las Minicentrales Hidroeléctricas (Ortega, 2002)	50
2.7. Clases de Turbinas Hidráulicas (Ortega, 2002)	52
Capítulo 3 Diseño de Sistemas Fotovoltaicos.....	55
3.1. Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica.....	55
3.1.1. El Módulo Fotovoltaico (Ortega, 2002)	55
3.1.2. Regulador de Carga o Controlador (Ortega, 2002)	56
3.1.3. Inversor o Convertidor CD/CA (Ortega, 2002)	58
3.1.4. Almacenaje de Energía. Acumuladores Electroquímicos (Ortega, 2002)	60
3.2. Equipos de Consumo (Ortega, 2002).....	65
3.3. Aplicaciones aisladas de la red Eléctrica (Ortega, 2002).....	66
3.4. Aplicaciones conectadas a la Red Eléctrica (Ortega, 2002).....	72
Capítulo 4 Sistema de Riego Alimentado por Energía Fotovoltaica	76
4.1. Consideraciones Generales	76
4.1.1. Aplicaciones y usos del Agua	76
4.1.2. Características del Bombeo	78
4.1.3. Disponibilidad del recurso solar.....	84
4.2. Otras Consideraciones.....	86
4.3. Orientación Solar	86
4.4. Arreglos Fotovoltaicos.....	88
4.5. Instalación de Sistema de Riego alimentado por Energía Fotovoltaica.....	90
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones	105
5.1. Conclusiones.....	105
5.2. Recomendaciones	106
BIBLIOGRAFÍA	107
Apéndice.....	108
A. Datos del Panel Solar Fotovoltaico seleccionado	108
B. Datos de la Bomba seleccionada	109

C-1. Factores de Pérdida por Fricción en PVC rígido	110
C-2. Factores de Pérdida por Fricción en acero galvanizado.....	111

SISTEMA FOTOVOLTAICO APLICADO A UN SISTEMA DE RIEGO

Resumen

La obtención del recurso del agua para diversas tareas propician a la continuidad de beneficio humano, sin embargo, esto se ha ido decayendo por las causas naturales que conllevan a la complicada situación de hoy en día considerando medidas más estrictas y excavaciones más profundas que no se habían realizado antes en años en alguna zonas de las que soy testigo.

El acceso a la energía eléctrica es uno de las formas más importantes del cual es usado para la extracción y traslado del líquido hasta los lugares de almacenamiento y consumo, pero lo que implica es el costo de su operación y mantenimiento elevados para el usuario y que se le limita la posibilidad de continuar con las obras de riego para su cultivo, la misma situación con las comunidades marginadas teniendo estragos de sequía o utilizar fuentes de agua superficiales muy contaminantes y perjudiciales para la salud.

El empleo de fuentes renovables, específicamente de sistema de bombeo fotovoltaico, representa una alternativa importante para solventar la mayoría de los casos anteriores, en donde los meses más calurosos presentan mayores horas solares pico que van a su máximo aprovechamiento de los paneles fotovoltaicos. Es decir, los meses donde hay mayor demanda de agua es cuando existe mayor irradiación solar.

La adquisición de este material tiene un costo de inversión alta, pero disminuye su precio conforme la tecnología de estos módulos avanza. La realización de esta tesis tiene la finalidad de poder contribuir a la facilidad de la obtención a través de cálculos la cantidad de módulos para poder extraer el agua mediante una bomba y así distribuirla al sistema de riego.

Palabras Clave

Bombeo, riego, panel, insolación, sistema aislado, autónomo, costo, energía renovable.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM APPLIED TO A SYSTEM OF IRRIGATION

Abstract

Obtaining the water resource for various tasks leads to the continuity of human benefit, however, this has been declining due to natural causes that lead to the complicated situation of today considering stricter measures and deeper excavations that are not They had done it before in years in some areas that I am a witness.

Access to electricity is one of the most important ways in which it is used for the extraction and transfer of the liquid to the places of storage and consumption, but what it implies is the cost of its operation and high maintenance for the user and that it is limited the possibility of continuing with irrigation works for its cultivation, the same situation with marginalized communities having havoc of drought or using surface water sources that are very polluting and harmful to health.

The use of renewable sources, specifically of photovoltaic pumping system, represents an important alternative to solve most of the previous cases, where the hottest months have higher peak solar hours that go to their maximum use of photovoltaic panels. That is, the months where there is greater demand for water is when there is greater solar radiation.

The acquisition of this material has a high investment cost, but decreases its price as the technology of these modules advances. The purpose of this thesis is to contribute to the ease of obtaining through calculations the number of modules to be able to extract the water by means of a pump and thus distribute it to the irrigation system.

Keywords

Pumping, irrigation, panel, insolation, isolated system, autonomous, cost, renewable energy.

Lista de Figuras

Figura 1.1. Forma de generación de energía eólica	4
Figura 1.2. Lugar: La Venta, Oaxaca. Primer parque eólico instalado en México y América Latina	5
Figura 1.3. Mapa de radiación solar en México (Fuente: solargis).....	7
Figura 1.4. Lo que será el parque solar más grande de México y América Latina en 2018 (Fuente: Excélsior).....	8
Figura 1.5. Diseño de una central Undimotriz	10
Figura 2.1. Interconexión en paralelo con tubería exterior y válvulas	27
Figura 2.2. Interconexión en serie	28
Figura 2.3. Interconexión paralelo/serie 2+2.....	28
Figura 2.4. Semiconductor tipo n	32
Figura 2.5. Semiconductor tipo p	32
Figura 2.6. Funcionamiento de una célula fotovoltaica.....	33
Figura 2.7. Esquema constructivo de una célula fotovoltaica.....	34
Figura 2.8. Células fotovoltaicas de silicio monocristalino	34
Figura 2.9. Silicio Monocristalino.....	35
Figura 2.10. Célula de silicio policristalino	36
Figura 2.11. Silicio amorfo, las células son cada una de las bandas estrechas	36
Figura 2.12. Molino de velas mediterráneo	38
Figura 2.13. Molinos de agua.....	39
Figura 2.14. Distribución de los vientos a escala planetaria.....	40
Figura 2.15. Esquemización del ciclo del agua	41
Figura 2.16. Molinos de la Mancha. Consuegra	43
Figura 2.17. Aerogenerador para la producción de electricidad.....	44
Figura 2.18. Anemómetro de rotación y veleta	45
Figura 2.19. Rotámetro	45
Figura 2.20. Anemómetro de tubo de pitot.....	45
Figura 2.21. Diagrama polar basado en la rosa de los vientos	46
Figura 2.22. Maquinas alineadas transversalmente a la corriente de aire	47
Figura 2.23. Aerobomba multipala o molino americano.....	48
Figura 2.24. Parque eólico, también llamada granja eólica	49
Figura 2.25. Pequeño aerogenerador	49
Figura 2.26. Aerogenerador de 250 W para 8 m/s de velocidad de viento, montado sobre una torreta de antena	49
Figura 2.27. Esquemización de una central minihidráulica.....	50
Figura 2.28. Central de agua fluyente en un cauce con abundante caudal	51
Figura 2.29. Ruedas hidráulicas de alimentación superior y de alimentación inferior.....	52
Figura 2.30. Turbina Pelton con un inyector.....	53
Figura 2.31. Rodete de una turbina Pelton.....	53
Figura 2.32. Rodete de una turbina Francis de doble rodete. Foto de Iberdrola.....	54
Figura 2.33. Rodete de una turbina Kaplan. Cortesía de Iberdrola	54

Figura 3.1. Componentes de un módulo fotovoltaico	56
Figura 3.2. Regulador de carga de baterías. Foto: ATERSA.....	57
Figura 3.3. Controlador típico de un sistema fotovoltaico de bombeo	58
Figura 3.4. Inversor CD/CA Foto: ATERSA	59
Figura 3.5. Célula electroquímica	61
Figura 3.6. Vasos de batería de gel.....	64
Figura 3.7. Monobloc de 3 elementos estacionarios, 6 V entre bornes	64
Figura 3.8. Luminarias, reactancias y otros aparatos de consumo.....	65
Figura 3.9. Lavadora por burbujas sin necesidad de programas de caliente	65
Figura 3.10. Frigorífico de 60 litros a 12 V.....	65
Figura 3.11. Instalación Solar Autosuficiente	67
Figura 3.12. Pequeña instalación fotovoltaica	68
Figura 3.13. Vivienda electrificada con un generador fotovoltaico.....	68
Figura 3.14. Bombeo fotovoltaico de pequeño caudal.....	69
Figura 3.15. Diseño de Farola	69
Figura 3.16. Bombeo fotovoltaico Mediano caudal para riego.....	71
Figura 3.17. Sistema de alarma con alimentación fotovoltaica	72
Figura 3.18. Instalación conectada a la red eléctrica	73
Figura 3.19. Ejemplo de un edificio fotovoltaico	74
Figura 3.20. Huerto Solar.....	74
Figura 3.21. Viviendas conectadas a la red Foto: ATERSA.....	75
Figura 3.22. Cobertizo de aparcamiento conectado a la red eléctrica.....	75
Figura 4.1. Bomba centrífuga superficial (SolarRam).....	79
Figura 4.2. Esquema de una bomba centrífuga superficial	80
Figura 4.3. Esquema de una bomba centrífuga sumergible	80
Figura 4.4. Vista interna de una bomba sumergible (Grundfos)	81
Figura 4.5. Bombas centrífugas sumergibles (Solar Jack)	81
Figura 4.6. Esquema de una bomba volumétrica de cilindro	82
Figura 4.7. Esquema de una bomba de diafragma sumergible.....	83
Figura 4.8. Bombas de diafragma superficiales (Shurflo)	84
Figura 4.9. Niveles de Irradiación por horas del día	85
Figura 4.10. La trayectoria del Sol a lo largo del día en diferentes épocas del año	87
Figura 4.11. Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año	88
Figura 4.12. Municipio de Huetamo Michoacán	90
Figura 4.13. Diagrama riego fotovoltaico	103

Lista de Tablas

Tabla 1.1. Representación instalada de generación eólica en el mundo	3
Tabla 1.2. Principales países por capacidad eólica instalada	4
Tabla 1.3. Potencial eólico en México	4
Tabla 1.4. Capacidad total de energía solar fotovoltaica en MW instalada en México desde 2001.....	9
Tabla 2.1. Escala de Beaufort.....	44
Tabla 3.1. Potencia orientativa de algunas cargas de consumo	66
Tabla 4.1. Ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías	77
Tabla 4.2. Irradiación global en la República Mexicana	84
Tabla 4.3. Especificaciones del Módulo Fotovoltaico SLX60CM	89
Tabla 4.4. Niveles de Insolación mensual en el Municipio de Huetamo.Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy.....	91
Tabla 4.5. Valores por omisión de eficiencias de sistemas de bombeo	93
Tabla 4.6. Características considerables para la selección de la bomba.	101

Glosario de Términos

P	<i>Potencia máxima de molino multipala</i>
D	<i>Diámetro de pala</i>
v	<i>Velocidad del viento</i>
Q	<i>Régimen de bombeo en litros por hora</i>
$Q_{\text{día}}$	<i>Régimen de bombeo en litros por día</i>
L	<i>Cantidad de agua necesaria por día</i>
HSP	<i>Hora solar pico</i>
CE	<i>Carga estática</i>
CD	<i>Carga dinámica</i>
N_E	<i>Nivel estático</i>
A	<i>Abatimiento</i>
H_D	<i>Altura de descarga</i>
Fr	<i>Fricción</i>
R_T	<i>Recorrido total de la tubería</i>
C	<i>Carga eléctrica</i>
E_{fv}	<i>Energía del arreglo fotovoltaico</i>
V_{sis}	<i>Voltaje del sistema</i>
E_h	<i>Energía hidráulica</i>
e_{sis}	<i>Eficiencia del sistema</i>
0.85	<i>Factor de reducción del módulo</i>
η	<i>Factor de rendimiento del conductor</i>
I	<i>Corriente del proyecto</i>
C_C	<i>Carga eléctrica corregida</i>
I_A	<i>Corriente del proyecto ajustada</i>
I_{mp}	<i>Corriente máxima del módulo</i>
V_{mp}	<i>Voltaje máximo del módulo</i>
FV	<i>Arreglo fotovoltaico</i>
N_T	<i>Número total de módulos fotovoltaicos</i>
N_S	<i>Número de módulos en serie</i>
N_P	<i>Número de módulos en paralelo</i>

K	Kilo
M	Mega
G	Giga
W	Watt
T	Tera
CFE	Comisión Federal de Electricidad
KW	Kilo watt
MW	Mega watt
GW/h	Giga-watt por hora
GHI	Irradiación global horizontal
mm	Milímetro
m	Metro
h	Hora
s	Segundo
CO ₂	Bióxido de carbono
ACS	Agua caliente sanitaria
VPO	Vivienda de protección oficial
°C	Grados centígrados
Cu	Cobre
Pb	Plomo
P	Fósforo
Si	Silicio
EVA	Etilenvinilacetato
a de c	Antes de cristo
KCal	Kilo calorías
Kg	Kilogramo
rpm	Revoluciones por minuto
V	Voltaje
A	Carga, amper

Hz	Hertz
CD	Corriente Directa
CA	Corriente Alterna
CDT	Carga Dinámica Total
FV	Fotovoltaico
Vp	Voltaje pico
V _s	Volt de salida
I _s	Corriente de salida

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad la energía es requerida en cada rincón de nuestro entorno laboral, hogar, industria, para así poder realizar nuestras actividades de manera más sencilla.

En nuestro país solo hay una empresa suministradora de energía (CFE) que alimenta a través de líneas con etapas o cargas diferentes ya sea industria, hogar, o el tipo de carga que requiera el usuario o empresa, son miles de kilómetros de líneas en la que lo distribuye en todo el territorio nacional mexicano, líneas transportadoras a casas habitación por lo cual el usuario ha sido afectado de manera económica el aumento de tarifas de consumo de energía eléctrica, la empresa justifica de manera ficticia ajustes a la obra estructural.

En este capítulo se abordará el tema principal por lo cual conlleva a análisis y cálculos para que nuestro prototipo opere en las condiciones deseadas, en las condiciones en las que busquemos un resultado óptimo para el usuario que lo requiera.

Además con este proyecto se busca poder contribuir a personas de escasos recursos por los cuales les limita poder obtener cosechas de buena calidad, el recurso para poder subsidiar el consumo de energía eléctrica es desfavorable en casos donde haya alto nivel de marginación.

1.1. Fuentes Renovables

En este capítulo hablaré de los fundamentales tipos de energías renovables que existen, comentando sus ventajas e inconvenientes. Aunque la aportación de cada una de ellas es pequeña, la unión de todas es ciertamente importante. Esta contribución general deberá ser aumentada y tenida en cuenta cuando se planteen soluciones energéticas generales. De esta manera, y al analizar con detenimiento los fundamentos técnicos sobre los que se basan estos tipos de energía, se puede uno dar cuenta que no es tan difícil el solucionar con este tipo de recursos el problema energético. Tenemos que tomar en cuenta que las fuentes renovables son aquellas que contribuyen a la generación de energía eléctrica por medios naturales sin afectar al medio ambiente. Se prevé que para el año 2024, el 35% de la energía eléctrica que se genere en el país provenga de fuentes de energía limpia.

1.1.1 Definición

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocarburantes.

También las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado.

Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol, principal fuente de energía renovable; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas, pero forman parte fundamental.

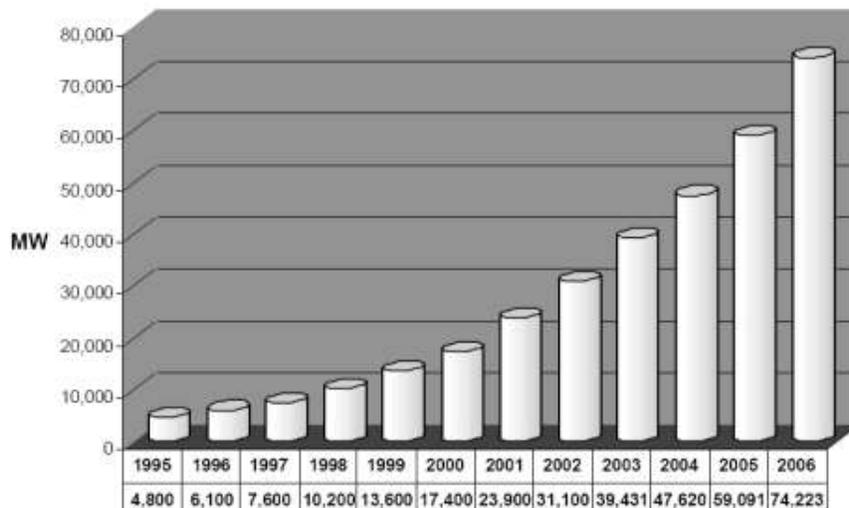
1.1.2. Energía Eólica (Wikipedia, Energía Eólica, 2017)

La energía eólica es aquella energía producida a través del movimiento del viento, a través de turbinas en grandes dimensiones diseñadas para el máximo

Capítulo 1 Introducción

aprovechamiento, con eso se puede aprovechar para así convertirla en energía eléctrica de manera limpia sin contaminantes. Esta energía se obtiene mediante el movimiento de unas aspas de gran escala girando por su propio eje, y ese eje se encuentra conectado en una serie de engranes que al producir movimiento de manera mecánica interna al propio generador eléctrico. Este tipo de energía ha tenido un gran aumento a nivel mundial, se estima con datos arrojados por Global Wind Energy Council, que la energía eólica ha aumentado notablemente con un crecimiento del 32% en el pasado año 2006, representado en la tabla 1.1 el crecimiento a través de los años, un aumento sin precedentes en el cual esperamos sea constante ya que atrae grandes beneficios para nuestro planeta.

Tabla 1.1. Representación instalada de generación eólica en el mundo



Se dice que la participación de la eolelectricidad todavía es aún inferior al 1% de la producción eléctrica mundial, ya que más de 70 países tienen ya instalaciones eólicas y planes de crecimiento.

En la tabla 1.2 se encuentran los cinco principales países en el mundo con la mayor capacidad eólica instalada, (Global Wind Energy Council, 2007), cabe recordar que a través de los años el mundo ha tomado conciencia sobre la utilización de esta y otras generaciones de energías limpias, lo que beneficia al aumento de producción de la misma y disminuir el cambio climático.

Capítulo 1 Introducción

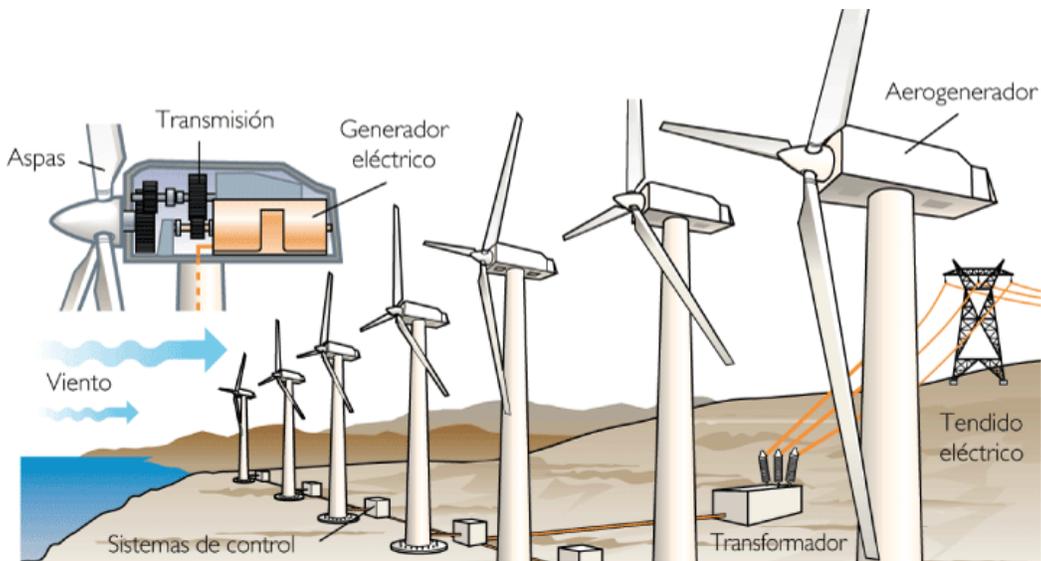


Figura 1.1. Forma de generación de energía eólica

Tabla 1.2. Principales países por capacidad eólica instalada

Lugar	País	Capacidad instalada MW
1	Alemania	20,621
2	España	11,615
3	Estados Unidos	11,603
4	India	6,270
5	Dinamarca	3,136

Los sitios más estudiados y con el mayor potencial son el Istmo de Tehuantepec y la Península de Baja California.

Tabla 1.3. Potencial eólico en México

Potencial eólico en México (MW)	
Sur del Istmo de Tehuantepec	2,000-3,000
Península de Baja California	1,500-2,500
Península de Yucatán	1,000-2,000
Zacatecas	800-1,500
Costa del Pacífico	1,000-1,500
Golfo de México	1,000-1,500

Capítulo 1 Introducción

En 1994, México puso en marcha su primer parque eólico localizado en el ejido de La Venta, en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. El parque eólico La Venta, construido como proyecto prototipo, fue el primero en su tipo en nuestro país y en América Latina y cuenta con siete aerogeneradores de 225 KW, que han operado con un factor de planta de alrededor de 40%.



Figura 1.2. Lugar: La Venta, Oaxaca. Primer parque eólico instalado en México y América Latina

En enero de 2007, entró en operación comercial el segundo parque eólico, La Venta II, localizado también en el Istmo de Tehuantepec. Se trata de un proyecto de obra pública financiada. Este nuevo parque eólico, cuenta con 98 aerogeneradores de 850 KW y una capacidad total instalada de 83.3 MW, (Portal CFE). Con esta adicción, la capacidad eólica actual es de 85.48 MW de los 48,259.59 MW de la capacidad total instalada por CFE (Portal CFE).

Para la instalación de estos aerogeneradores se debe de tomar en cuenta las siguientes variables:

- Situación geográfica.

Capítulo 1 Introducción

- Características climáticas.
- Estructura topográfica.
- Irregularidades del terreno.
- Altura sobre el nivel del suelo.

1.1.3. Energía Solar (Wikipedia, Energía Solar en México, 2017)

Esta energía solar parte de muchas definiciones pero la más aceptada por su servidor es aquella energía producida a través del sol, dependiendo su tipo de uso se busca aprovecharla al máximo.

La energía solar es una fuente de vida para la optimización y la innovación, forma parte de las energías renovables más importantes en el mundo ya que proviene de una fuente inagotable de vida. Este tipo de energía se aprovecha de la radiación que esta produce, ya que esta se divide en dos: energía térmica y energía solar.

La térmica se aprovecha para uso doméstico en general como en calentadores de agua, o en la industria como un ciclo recalentador de agua para múltiples funciones, ahorrando recursos y obteniendo mayor ganancia que es lo primordial para ellos.

La solar se aprovecha principalmente en paneles solares o fotovoltaicos, con un mismo fin, poder disminuir el consumo de energía eléctrica dependientes de quien se las suministre, pudiendo ser casi autosuficientes, ahorrando dinero.

En la actualidad existen dos componentes para la utilización de la radiación solar: la radiación directa y la difusa.

La directa es aquella que la luz llega directamente al panel solar, llega sin reflexiones o refracciones.

Y la difusa es aquella que aun habiendo nubes, o elementos atmosféricos se aprovecha esa energía, una luz que ha atravesado varias direcciones provocados

Capítulo 1 Introducción

por lo comentado anteriormente, su única desventaja que es menor proporción que la directa

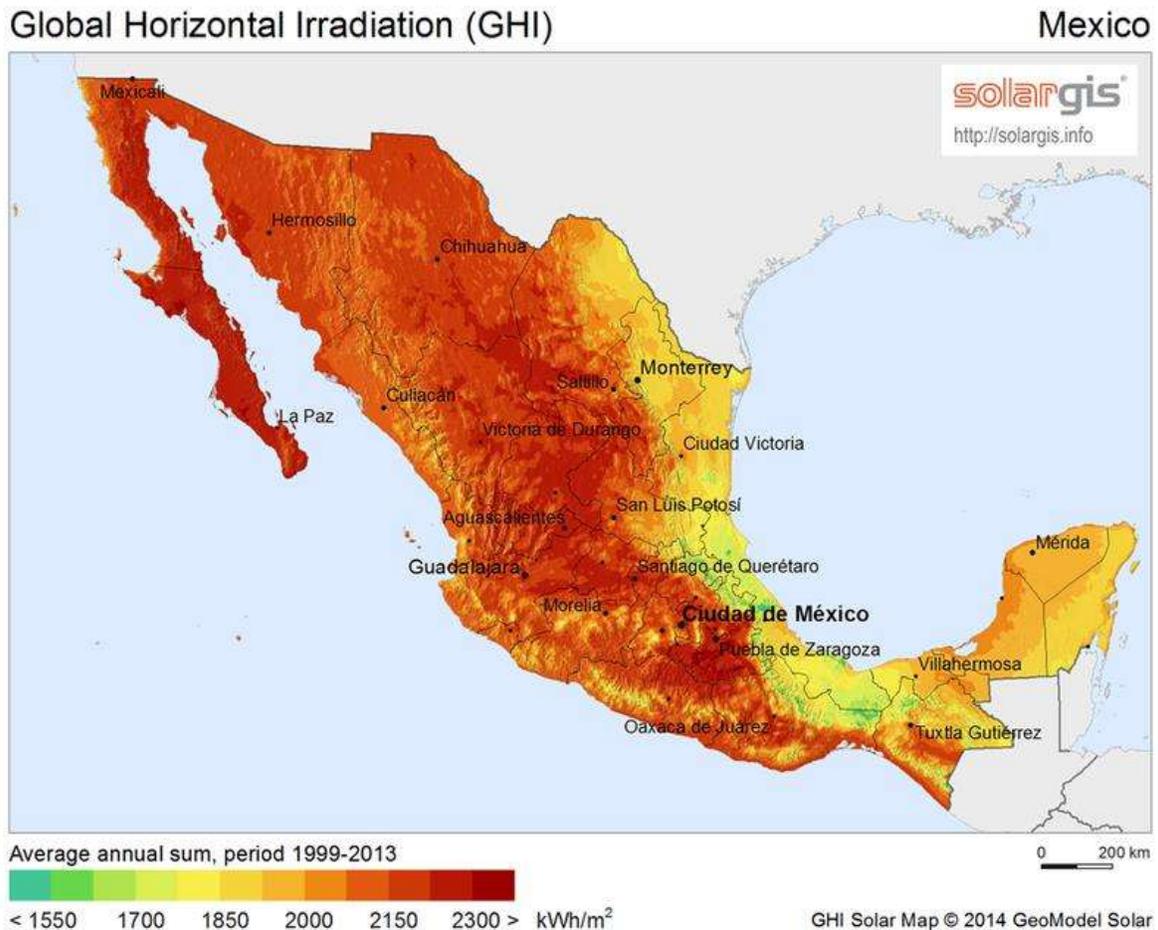


Figura 1.3. Mapa de radiación solar en México (Fuente: solargis)

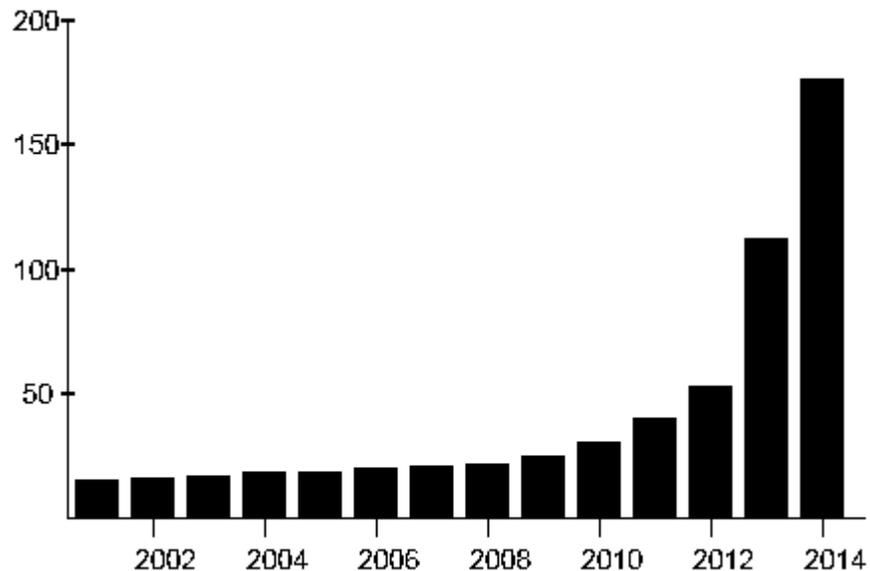
En la figura anterior muestra los diferentes niveles de radiación que existe en nuestro país, tal cual indica, la mayor parte de la zona occidental cuenta con mayor radiación solar, mostrando niveles óptimos para su aprovechamiento. Actualmente contamos con un amplio espacio de instalación, estamos en tiempo para iniciar con la generación de fuentes renovables, colocar a nuestro país en uno de los principales productores de energía limpia, es un reto difícil pero no imposible.



Figura 1.4. Lo que será el parque solar más grande de México y América Latina en 2018
(Fuente: Excélsior)

Hay que mencionar que hoy en día es posible de que cada usuario pueda reducir su consumo eléctrico residencial por parte de CFE, instalando módulos fotovoltaicos, y proyectos grandes como en la figura 1.4 donde en la actualidad la empresa Nel Green Power destinará alrededor de 650 millones de dólares para la construcción de la planta de generación de energía solar ubicado en Villanueva, municipio de Viesca, Sonora; que será el parque solar más grande de México y América Latina. Con una instalación de 754 MW para que entre en servicio en el segundo semestre del 2018, y que genere más de 1.7 Gigawatts por hora (GW/h) al año, lo que equivale a las necesidades de consumo de energía de más de 1.3 millones de hogares mexicanos y evita la emisión de más de 780 mil toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Un proyecto que beneficia en la formación de empleos y al medio ambiente, hay que tomar en cuenta que la cantidad estimada de generación de energía solar depende de factores como su ubicación, clima, posición, incluyendo nivel de vandalismo.

Tabla 1.4. Capacidad total de energía solar fotovoltaica en MW instalada en México desde 2001



1.1.4. Energía de las olas (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008)

Para recordar, como una pequeña introducción, el movimiento de las olas es producido por la atracción gravitacional entre la tierra, el sol y la luna. La energía de las olas es óptima para su aprovechamiento, su altura depende primordialmente en la posición en la que se encuentre la tierra con la luna. La profundidad de los mares en promedio es de 4 Km, además de cubrir las tres cuartas partes de la tierra conformada por una gran masa de agua siempre en movimiento constante que se puede convertir en energía eléctrica.

Este movimiento de los mares de tipo ascenso y descenso, base útil para el aprovechamiento de colocación de instrumentos receptores del impacto al movimiento de este, de manera que sólo hay que tomar en cuenta dos variables importantes para su instalación: la ubicación y la altura de los mares. Es una forma de crear energía limpia y renovable, el único inconveniente es el alto costo en cuanto a su instalación.

El sistema consiste en la colocación de una central mareomotriz, capaz de hacer entrar el agua cuando la marea sube, pasando a través de unas turbinas

Capítulo 1 Introducción

diseñadas en cuanto a tamaño y magnitud de las olas de la zona; en cuanto la marea baja, la cantidad de agua suministrada a la turbina tiende a salir provocando un movimiento de la aspas a través de un eje central conectado a un generador eléctrico.

1.1.5. Energía Undimotriz (Wikipedia, Energía Undimotriz, 2017)

Es otro tipo de diseño para el aprovechamiento del movimiento de las olas respecto a la generación de energía renovable. Son los tipos de energías renovables más estudiadas hasta el momento, en lo que presenta grandes ventajas respecto a otras fuentes renovables, ya que son más fáciles de poder predecir las olas, siempre y cuando sean generadas por el viento, será capaz de ser un movimiento constante y fácil de convertir energía del mar a eléctrica.



Figura 1.5. Diseño de una central Undimotriz

En la figura anterior muestra el movimiento de las olas provocando el movimiento de los grandes bloques tipo flotadores en mares de Dinamarca, país desarrollado

Capítulo 1 Introducción

al igual que Estados Unidos donde su capacidad de instalación de centrales mareomotriz es de 55 TWh por año, abasteciendo de energía renovable al 14% que demanda su país al año. Falta explotar los recursos en nuestro país, pero los grandes costos para su instalación lo impiden.

1.1.6. Energía Hidroeléctrica

Es la forma de generar energía eléctrica limpia a través de presas, donde el agua almacenada pasando por las turbinas gira en cuanto al potencial y magnitud sobre un eje, interconectado al generador que la conforma.

Es una de las formas de generación de energía renovable más importantes de nuestro país y el mundo. Se encuentran situadas en zonas clave donde desembocan ríos a los mares, y en lugares donde el río es muy caudaloso. Actualmente contamos con amplia cantidad de ríos caudalosos y extensos, objetivo para su instalación y generación de energía aprovechando al máximo su recurso natural. Se constituye en centrales, donde se adapta en cuanto al terreno, y recursos que ofrece la zona. Cabe mencionar que Michoacán se ubica en los niveles por arriba del promedio en cuanto a la generación hidroeléctrica, pues cuenta con áreas donde la cantidad de agua es desembocada por una variedad de cerros y su ubicación clave para su almacenamiento.

1.2. Objetivo

Este tema va encaminado a la innovación de las energías renovables, con la búsqueda de nuevas tecnologías eficientadoras que beneficien el medio ambiente, en este caso como alumno investigaré la manera de realizar cálculos continuos para la mejora posible. Y a su vez sirva en un futuro próximo la importancia de esta tesis para darle continuidad en crear prototipos de manera física encaminados a regiones marginados de pobreza regular a extrema contribuyendo la disminución de sus niveles de clase.

Capítulo 1 Introducción

En la actualidad nos encontramos con cambios en nuestro entorno climático, cambios bruscos causados por manipulación humana que solo busca beneficio propio sin importar los estragos que causen entre ellos mismos. Por ello buscamos la manera de crear sistemas que propicien beneficio al ser humano y medio ambiente, asimilando que es mejor la utilización de una energía limpia que por la utilizada de manera nuclear y contaminante.

Proporcionaremos información relevante acerca de los diferentes sistemas de energías renovables, transmitiré conocimientos básicos aprendidos en el curso de paneles de un Ingeniero Eléctrico en base de estos sistemas, y a su vez la creación y diseño de un sistema fotovoltaico para un sistema de riego.

Se emplearan de manera teórica las técnicas de cálculo y balance para poder lograr que nuestro sistema opere en condiciones ideales para su uso correcto en el riego.

1.3 Justificación

Este proyecto fue de interés personal, ideado para la contribución a los municipios de Michoacán, entre ellos Huetamo, lugar de donde provengo y he vivido, un lugar seco estepario, donde el calor abunda en casi todo el año. Es un estado de inmensos terrenos de bosque y biodiversidad, adaptados en ese tipo de climas más calurosos del País, ideal para su instalación, la desventaja es su bajo apoyo gubernamental en las últimas décadas respecto a creación de empleos directos e indirectos, es por eso que ha crecido de manera importante empleos informales causando una saturación de puestos ambulantes en la zona centro provocando caos vial, contaminación, ruido, etc. En la actualidad el gobierno va mejorando de manera que se están gestionando apoyos con programas temporales y permanentes a nuestro municipio en la cual él ha vivido su infancia, pero aun así seguiremos con los problemas que demandan nuestras familias y habitantes.

Es por eso que en base a lo aprendido en mi trayecto como estudiante de Ingeniería Eléctrica, podré plasmar los conocimientos en mi proyecto, además en

Capítulo 1 Introducción

un futuro la manera de aprovechar una vez culminada la tesis con apoyo gubernamental, en poder crear apoyos a campesinos de manera directa otorgándoles prototipos de paneles fotovoltaicos interconectados a su propio sistema de riego, logrando disminuir el consumo de energía eléctrica a la empresa de CFE, y así mismo tener una percepción económica más alta de los campesinos, logrando bajar la tasa de pobreza en nuestro municipio, si nuestro proyecto funciona lo lograremos en otros municipios dentro de nuestro estado, suena muy egoísta pero busco aprovechar el recurso de nuestras amplias tierras que contamos.

1.4 Metodología

Utilizar la información recabada de cada componente del sistema con libros proporcionados de nuestra biblioteca de la facultad, para facilitar el aprendizaje, se utilizarán libros de otras facultades como Ingeniería en Fuentes Renovables, facultad fundamental para la recabación de información que se requiera para el uso de la tesis en caso de ser necesario.

Emplearé y desarrollare los conocimientos adquiridos en esta tesis.

1.5 Descripción de Capítulos

En el primer capítulo primeramente parte de su introducción, seguido por el tema de fuentes renovables, después mi objetivo de este proyecto, la justificación y metodología, por último la descripción de cada capítulo. Abordar el tema de fuentes renovables, tema de suma importancia en el cual se partirá con los diferentes tipos de fuentes dependientes de nuestro ecosistema, sol, mar, tierra, gases, vapor, etc. Con el fin de brindar información detallada y recabada actualmente y que sirva como parteaguas en la era de la innovación ambiental con energías limpias y sustentables, evitando la monopolización de empresas sin fin ético y moral.

En el segundo capítulo se dará énfasis en las épocas remotas donde surgieron las primeras fuentes de energía, surgiendo los cuestionamientos de ¿Con qué necesidad se crearon? ¿Bajo qué criterios se desarrollaron? ¿Tuvo algún

Capítulo 1 Introducción

beneficio o consecuencia? ¿Tuvo algún impacto global en la industria? ¿Qué tipos de errores tuvieron los primeros prototipos? A través de este capítulo resolveré los cuestionamientos creados.

En el tercer capítulo hablaré del diseño de fuentes renovables, otro tema no más importante que otros, pero que forma una de las ramas de nuestra tesis. Un capítulo donde recolectaré información a través de libros con prácticas y diseños para todo tipo de aprovechamiento ambiental, diseños creados con el fin de explotar los recursos que contamos en distintas zonas de nuestro país sin descartar a nuestro estado, zonas como: La Ventosa, Oaxaca; lugar de vientos fuertes constantes en donde colocando un parque lineal de gigantescos generadores eólicos, provocaron el impacto industrial y la base fundamental para dar a conocer que se puede lograr la generación eléctrica a través de fuentes limpias y duraderas.

El cuarto capítulo de mi tesis se plasma la idea con el cual surgió mi tema fundamental, desarrollaré en base a cálculos y diseños realizados en capítulos anteriores, retomando conocimientos obtenidos para la creación de mi sistema de riego formado por paneles fotovoltaicos, de manera general, se tomarán en cuenta mediante datos del fabricante, la carga necesaria para que esta opere de manera eficiente, la cantidad de paneles requeridos para su funcionamiento, costos, marcas, y la forma que tomará nuestro diseño terminado para dar impulso a la industria moderna a través de programas públicos y privados de apoyo de inversión.

En el quinto y último capítulo a través de experiencias obtenidas a lo largo de la elaboración del proyecto de tesis, daré a conocer las conclusiones y recomendaciones en caso de que se requiera darle seguimiento al proyecto, favoreciendo en trabajos futuros la información obtenida en esta tesis.

Capítulo 2

Antecedentes de Fuentes Renovables

2.1. Demanda Energética (Ortega, 2002)

Según resultados del estudio de la tendencia energética mundial, el consumo de energía per cápita de una nación es directamente proporcional al ingreso anual per cápita. Por ello, el uso de la energía renovable impacta al bienestar socioeconómico. Hasta la fecha los países que se les llaman del “primer mundo” han abusado notoriamente los recursos fósiles atrayendo diversas consecuencias, como alteración del medio ambiente y calentamiento global. Si seguimos por ese camino, usando los recursos fósiles para el crecimiento del resto de los países llamados en desarrollo, tendería a destruir prácticamente el medio ambiente.

El uso de las energías renovables fue causa de la gran demanda de energía eléctrica en sexenio del ex presidente Vicente Fox Quesada, no contribuyeron a la construcción de más centrales hidráulicas que se dio por hecho que la población crecía paulatinamente y la necesidad de requerir energía era cada vez más notoria. Es por eso que se aprobó la ley en la que cualquier persona puede contribuir a generar energía eléctrica para su uso doméstico a través de paneles fotovoltaicos principalmente. Lo que conllevó a la generalización de nuevas empresas y nuevos empleos.

La naturaleza acumula energía solar en forma de moléculas orgánicas, que son el producto de la fotosíntesis que llevan a cabo las plantas, y de las posteriores transformaciones en la cadena trófica mediante el proceso metabólico de los seres vivos. La combustión de la materia vegetal para obtener calor es la forma más

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

antigua de aprovechamiento de la energía solar. La combustión utilizada en la actualidad, puede ser considerada renovable siempre y cuando se quemé o aproveche la materia vegetal procedente de los residuos agrícolas o forestales y se deje margen de tiempo para su regeneración.

La obtención de combustible procedente de la descomposición anaerobia de la materia orgánica tal como el biogás que por el cual es la mezcla de metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de ácido sulfúrico; ha sido utilizada tradicionalmente para la cocina y el calentamiento doméstico en determinadas civilizaciones y aún sigue siéndolo en países como China y la India.

La energía eólica, contenida en el viento, y la energía hidráulica cuentan con desarrollos tecnológicos ancestrales. La vela, el molino de viento procedente de Persia, el molino de agua y la noria son vivos ejemplos de esto.

La necesidad de conservar los alimentos, desarrolló técnicas de obtención de la sal aprovechando la radiación solar directa en las salinas. El uso de láminas delgadas de mica como cerramiento de ventanas, y el vidrio por los romanos, permitió el aprovechamiento del efecto invernadero para el calentamiento de las estancias domésticas y públicas, para la construcción de invernaderos, y para la contribución a la calefacción de los baños públicos.

Tecnologías más recientes permiten la obtención de energía eléctrica directamente de la radiación solar mediante el efecto fotovoltaico. El conocimiento científico y tecnológico actual nos permite la obtención de energía a partir de fuentes renovable con mayor eficacia, pero basándonos en los mismos principios físicos que consciente o inconscientemente utilizaron nuestros antepasados.

De manera más concisa, se denomina aquella energía renovable a cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos que generen repercusiones con el tiempo y que su velocidad no sea superior a la velocidad de regeneración de la fuente energética y de la materia prima utilizada en el mismo.

En este caso el ahorro energético debe ser nuestro objetivo de cualquier política energética. La energía más barata es la que no necesitamos consumir hoy en día.

2.1.1. Estado actual de la tecnología renovable (Ortega, 2002)

Llamamos energía primaria a aquella que se obtiene de las fuentes en origen sin haber sufrido algún proceso de transformación intermedio. Se puede interpretar como la energía térmica que contiene en un barril de petróleo sería energía primaria y es la que se desprende en su combustión. Así mismo el modo de que también es energía primaria la que es obtenida en una central hidroeléctrica en forma de electricidad.

Se puede decir que las fuentes de energía primaria como el carbón, gas, petróleo, nuclear y todas las demás, ya sean renovables o no, son usadas por el hombre a lo largo del tiempo para la obtención de trabajo y de calor. A partir de estas fuentes ya comentadas se puede obtener electricidad, y casi siempre pasa por el proceso de producir energía, transportarla y distribuirla por cable.

Después de la revolución industrial, el consumo energético mundial ha crecido de forma continuada. En 1890 el consumo de combustibles fósiles alcanzó al de biomasa utilizada en la industria y en los hogares. En 1900, el consumo energético global supuso 0.7 TW (0.7×10^{12} Watts).

Actualmente el 75% de la energía primaria que se consume a nivel mundial proviene de combustibles fósiles, gas natural 17%, carbón 25% y petróleo 36%. Un 5% es hidroeléctrica, un 4% proviene de la generación de electricidad de las centrales nucleares, y el 13% restante proviene de otras fuentes como la combustión de madera o de biomasa en general, la combustión de los residuos sólidos urbanos, la geotérmica, la generación de biogás, la obtención de alcohol para la combustión, la energía eólica, la energía solar térmica y fotovoltaica, el trabajo humano y animal, etc.

En 2004, el suministro de energía renovable representó el 7% del consumo energético mundial. El sector de las renovables ha ido creciendo significativamente desde los últimos años del siglo XX, y en 2005 la inversión

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

nueva total fue estimada en 38 mil millones de dólares estadounidenses. Alemania y China lideran las inversiones con alrededor de 7 mil millones de dólares estadounidenses cada una, seguidas de Estados Unidos, España, Japón e India. Esto ha resultado en 35 GW de capacidad adicional al año.

La tierra se encuentra en un equilibrio térmico emitiendo al espacio en forma de calor la energía procedente de la radiación solar que no es aprovechada por las plantas o por el hombre con sus tecnologías. La temperatura a la que se consigue este equilibrio puede alterarse según los ritmos de consumo energético fósil o nuclear.

A continuación se hará un repaso por las distintas tecnologías renovables con un representativo grado de implantación y desarrollo científico o técnico muy alto.

Hablando de las tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa podemos decir que estas están preparadas para:

- El aprovechamiento de los residuos forestales obteniendo pellets y briquetas para quemar, que abarataría los costos de tratamiento y limpieza de bosques.
- El aprovechamiento de plantas de crecimiento rápido mediante los llamados cultivos agro energético para su combustión directa.
- La obtención de biogás por digestión anaerobia a partir de residuos ganaderos, de residuos sólidos urbanos y de lodos residuales de depuradora o industriales, y su posterior aprovechamiento en plantas de cogeneración.
- La obtención de biocarburantes a partir de productos agrícolas es una buena opción para reducir la contaminación atmosférica causada por vehículos a motor

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

Actualmente las tecnologías respecto a la Energía solar térmica están desarrolladas, son fiables y podrían implantarse con rapidez en las siguientes aplicaciones:

- La obtención de A.C.S. (Agua Caliente Sanitaria) para su uso doméstico.
- La calefacción de piscinas.
- La arquitectura solar pasiva también llamada bioclimática puede ofrecer unos niveles de ahorro energético en los edificios muy significativos, hasta un 90%, a veces sin sobre costos constructivos.
- La obtención de A.C.S. para instalaciones colectivas (hoteles, escuelas, polideportivos, etc.)
- La utilización de sistemas de calefacción por suelo radiante.

La energía solar fotovoltaica presenta una de las mejores perspectivas de desarrollo. Los costos de implantación han caído a la mitad en los últimos 10 años, manteniendo la misma tendencia y así también ofreciendo cada vez más fiabilidad y mayores prestaciones, pues actualmente la competitividad en cuanto a la adquisición de módulos es muy elevado, buscando siempre el mejor precio y calidad en varios aspectos. Actualmente se cuentan con las siguientes aplicaciones:

- Electrificación de viviendas aisladas a la red eléctrica.
- Sistemas de telecomunicaciones.
- Balizamiento y señalización.
- Sistemas de protección catódica.
- Iluminación pública son sistemas autónomos.
- Bombeo de agua para riego y abastecimiento de ganado en lugares aislados.
- Centrales eléctricas para pequeños núcleos de población alejados a la red comercial.
- Viviendas y edificios conectados a la red con sistemas de compraventa.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

Los sistemas que aprovechan hoy la energía eólica son ya reparables a gran escala para las empresas productoras de electricidad, en España el mejor ejemplo es el parque eólico de Tarifa con fuerte potencial de crecimiento. A pequeña escala se encuentra en la situación de la energía solar fotovoltaica en cuanto a aplicaciones técnicamente desarrolladas. La energía eólica puede funcionar conjuntamente con la fotovoltaica integrándose en las instalaciones eólico-fotovoltaicas combinadas.

No podemos olvidar la energía mini hidráulica que cayó en el abandono debido a las políticas de centralización de la generación energética, sin embargo en Europa solo se aprovecha el 20% de su potencial. Existen muchas centrales en desuso que podrían volver a generar energía eléctrica si se rehabilitaran. Este tipo de centrales, debido a su tamaño tienen, un impacto medio ambiental muy pequeño.

Todas las tecnologías de las que hemos hablado están en la actualidad desarrolladas y dispuestas para ser utilizadas a gran escala, pero las condiciones políticas y de control de mercado por sectores interesados bloquean naturalmente su implantación. La no inclusión de los costos externalizables y de daño medioambiental en las energías convencionales hace que la comparación de precios de generación entre unas y otras no se haga en términos de igualdad.

Recordando que son energías renovables la energía solar térmica tanto activa como pasiva, la energía solar fotovoltaica y eólica, la energía de la biomasa vegetal y animal en procesos que permitan su regeneración al ritmo de consumo, la energía hidroeléctrica y otras.

Si las aplicaciones comentadas con anterioridad formaran parte de nuestra vida cotidiana, muchas más aplicaciones de energía renovable, y nuevos desarrollos se impondrían con rapidez. Así tendremos a la espera las siguientes aplicaciones inmediatas:

- Aplicaciones industriales de la energía solar térmica de media temperatura en procesos con requerimientos de calor.
- Desalinización de agua de mar por métodos evaporativos.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

- Eliminación de contaminantes orgánicos de aguas residuales.
- La máquina frigorífica de absorción alimentada por calor solar.
- La obtención de electricidad a partir de energía solar de media y alta temperatura.
- Cogeneración a partir de biocombustibles.
- Las grandes centrales fotovoltaicas.
- Los procesos electroquímicos abastecidos por electricidad solar.
- Obtención de hidrógeno y oxígeno por electrólisis.
- Etc.

2.1.2. Cómo incentivar la implantación de tecnologías renovables (Ortega, 2002)

Estamos acostumbrados a oír las declaraciones provenientes de numerosos sectores de las diferentes administraciones, y de otras entidades públicas y privadas, en favor de las tecnologías limpias, el respeto al medio ambiente y del desarrollo sostenible. Es hora de que se tomen verdaderamente en serio las contradicciones del actual sistema energético y productivo y se actúe con medidas reales que deben impulsarse desde los órganos de las distintas administraciones con competencias en materia energética y medioambiental.

Sin tener en cuenta la necesidad de subvenciones e incentivos directos, y de mayores inversiones en investigación y desarrollo, así como la inversión en tareas informativas y de divulgación, son actuaciones que pueden hacerse, entre otras, las siguientes:

- Incrementar los porcentajes de reducción de las emisiones de CO₂ y reducir los plazos de cumplimiento.
- Establecer incentivos fiscales al uso de energías renovables.
- Imponer gravámenes por emisión de contaminantes, estructurados según el tipo y la cantidad de contaminante.

- Obligar a la cobertura de un porcentaje de la factura energética con energía solar térmica para el agua de las duchas de las instalaciones deportivas públicas y privadas.
- Implantación obligatoria de energía solar térmica en las V.P.O.
- Instalar en todos los edificios de las distintas administraciones públicas la producción de agua caliente sanitaria por energía solar.
- Prohibir el uso de energías convencionales para el calentamiento de piscinas descubiertas, ya sean de uso público o privado, y para piscinas cubiertas de uso privado. Establecer porcentajes de cobertura de calefacción con energías renovables para piscinas cubiertas públicas y privadas de uso público.
- Limitar el uso de climatización por aire frío o caliente en grandes superficies y en edificios públicos y de oficinas. Establecer el aporte necesario con sistemas radiantes.
- Establecer mecanismos de control de la reutilización de los productos reciclables, por el mismo fabricante que los produzca.
- Normar el uso de biogás procedente de la digestión anaerobia de lodos residuales de depuradores urbanos e industriales con fuerte contenido orgánico, y de vertederos de residuos sólidos urbanos.
- Facilitar la conexión y venta a la red de pequeños productores de energías renovables.

2.2. Energía Solar Térmica (Ortega, 2002)

Hoy en día la mayor parte de los receptores solares instalados en el mundo tiene como principal finalidad en la producción de agua caliente para su uso doméstico. A esta aplicación se destinan los esfuerzos de la mayoría de los mercados nacionales importantes del mundo, aunque el tipo, tamaño y porcentaje de demanda que cubre de las instalaciones varía en cuando a la zona en la que se encuentren.

A continuación se describirán los siguientes tipos de aplicaciones aprovechando la energía solar de manera térmica.

2.2.1. Colector solar térmico de baja Temperatura (Ortega, 2002)

Es objeto de este tema la energía solar térmica de baja temperatura. Un colector solar térmico de baja temperatura trabaja por debajo del punto de ebullición del agua (100°C a 1 atmosfera de presión).

Existen otras tecnologías llamadas de media y alta temperatura. Las de media la trabajan con sistemas colectores de espejos de concentración parabólicos o cilindro parabólicos, o de lentes, alcanzando temperaturas de hasta 600°C. Los sistemas de alta temperatura consiguen más de 1,000°C con facilidad y se basan en la concentración de la radiación solar en una torre central por multitud de heliostatos situados a su alrededor. Un heliostato es un espejo al que se la ha acoplado un sistema de seguimiento de la trayectoria solar.

Al sistema de captación que aprovecha el efecto invernadero y la radiación solar absorbida sobre una superficie plana lo llamamos colector solar térmico. El colector solar térmico consta de cuatro partes fundamentales: cubierta transparente, placa absorbente, aislamiento y carcasa.

Técnicamente nos interesan sistemas de captación de calor que aprovechen fundamentalmente la componente visible de la radiación solar. Además de que:

- Tengan una cubierta transparente con mucha transmitancia, baja absortancia y poca reflectancia a la radiación visible, y con baja transmitancia a la radiación infrarroja.
- Su placa absorbente presenta alta absortancia a la componente visible, y poca emitancia infrarroja (es lo que se llama tratamiento selectivo).
- Estén bien aislados.
- Tengan una carcasa exterior resistente a los agentes atmosféricos.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

A la transparencia a la radiación se le llama transmitancia, a la capacidad de reflexión se le llama reflectancia y a la capacidad de absorción de la radiación se le llama absortancia. La capacidad de emisión es la emitancia.

Entre las aplicaciones de los colectores solares térmicos de baja temperatura están las siguientes:

- Agua caliente sanitaria (A.C.S.) doméstica.
- A.C.S. en alojamientos hoteleros y campings.
- A.C.S. en hospitales y centros de salud.
- A.C.S. en negocios como peluquerías, saunas y masajes, lavanderías, lavaderos, etc.
- Agua caliente en industrias agroalimentarias y otras.
- Calefacción doméstica por suelo radiante.
- Calefacción de invernaderos, semilleros, secaderos, etc.
- Calefacción de alojamientos ganaderos, piscifactorías, etc.
- Calefacción de piscinas.
- Calefacción radiante de edificaciones con techos elevados, iglesias, naves industriales, etc.
- Desalinización de agua.

2.2.2. Producción de Agua Caliente Sanitaria (Ortega, 2002)

Las instalaciones para la obtención de A.C.S. por energía solar, constan básicamente de cuatro sistemas principales:

1. Sistema de captación.
2. Sistema de acumulación.
3. Sistema de utilización.
4. Sistema de apoyo.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

La placa absorbente de los colectores solares, el sistema de captación, está compuesta de unos tubos o canalizaciones llenos de agua, o una mezcla de agua con anticongelante, u otro fluido caloportador, que al calentarse transporta el calor a un depósito aislado para evitar pérdidas térmicas. Los ciclos día-noche, debidos al movimiento de rotación de la tierra sobre sí misma, hacen necesario el sistema de acumulación.

El sistema de utilización es la red de agua caliente de la vivienda. El sistema de apoyo nos sirve para los días nublados en los que hay poca radiación solar; puede ser un calentador a gas, o una resistencia eléctrica situada en el depósito.

Captación, acumulación, utilización y apoyo, interaccionan entre sí mediante otra serie de elementos como las conducciones o tuberías, los elementos de regulación y control, el fluido caloportador, el fluido de utilización, elementos de seguridad, elementos electromecánicos, aislantes, etc.

Producción de A.C.S. se realiza durante las horas de sol. La acumulación en un depósito aislado permite disponer de agua caliente en cualquier momento del día.

2.2.3. Calefacción por suelo radiante (Ortega, 2002)

El cuerpo humano intercambia calor con su entorno por medio de cuatro mecanismos. Tres de ellos son los relativos al calor sensible:

- La convección, o movimiento de circulación natural, que se produce en el aire en contacto con el cuerpo.
- La conducción, hacia el pavimento desde los pies hacia el aire que es un mal conducto de calor.
- Y la radiación que se produce en todas las direcciones y con todos los objetos y elementos del entorno.

Un cuarto mecanismo es el de la evaporación, en donde interviene el calor latente.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

En el intervalo comprendido entre los 22 y los 26 °C, el intercambio térmico del cuerpo se produce en un 45% por radiación infrarroja hacia el entorno, en un 30% por convección del aire envolvente, y el 25% por evaporación. La componente de conducción es despreciable cuantitativamente.

Las variables que influyen en la sensación de confort de un individuo son muchas y de diversa índole, estando entre ellas las siguientes:

- La temperatura del aire envolvente.
- La temperatura radiante media de las paredes del entorno, incluyendo suelos y techos.
- La velocidad del aire.
- La humedad relativa.
- La actividad metabólica que el individuo realiza.
- El grado de vestimenta.
- La transmisión de calor desde los pies al pavimento.
- El estado psicológico.

2.2.4. Conexionado e Interconexionado de Colector Térmico (Ortega, 2002)

El sistema de captación de las instalaciones está compuesto normalmente por conjuntos de paneles que deben interconectarse con el resto del sistema y entre sí. Este conexionado debe realizarse respetando ciertos principios que permiten que el caudal que circula por todos los colectores sea el mismo, evitando que unos trabajen con más flujo que otros debido a que el fluido tiende a recorrer prioritariamente el camino más fácil. Así conseguiremos que todos los colectores trabajen con rendimientos similares, provocando en el fluido saltos térmicos aproximadamente iguales entre la entrada del panel y la salida.

Cualitativamente estos principios son los siguientes:

1. Todos los colectores de un mismo sistema de captación deben ser iguales.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

2. La entrada del fluido se hará por una de la toma inferior, y la salida por la superior opuesta. Esto es de importancia capital en los sistemas convectivos.
3. El interconexionado habitual es en paralelo con retorno invertido. Esto evita la instalación de válvulas de equilibrado de caudal (detentores).
4. El conexionado en paralelo puede hacerse con tubería exterior cuando los caudales sean elevados y sea necesario que la tubería de reparto y recogida sea de más diámetro que la que traen de fábrica los captadores.
5. Si no se usa el retorno invertido es necesario instalar válvulas de equilibrado.

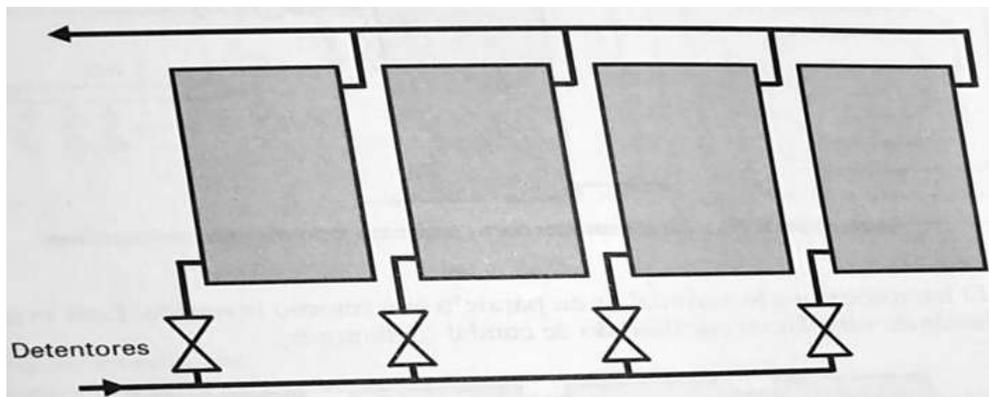


Figura 2.1. Interconexionado en paralelo con tubería exterior y válvulas

6. Como norma general, no debemos conectar más de 10 colectores o conjuntos de colectores en paralelo. Los colectores situados en el centro de las filas trabajan con menos caudal que los de los extremos, incluso estando conexionados con retorno invertido.
7. Se pueden conectar los colectores en serie, pero no es habitual. Se usa este conexionado para provocar mayores saltos térmicos y temperaturas de fluido más altas. Esto, sin embargo, provoca pérdidas de rendimiento en las instalaciones.
8. No conectaremos en serie más de tres colectores o conjuntos de colectores en paralelo. El salto térmico va disminuyendo a medida que aumentamos el número de unidades en serie, ya que por la elevación de la temperatura se van igualando las pérdidas con las ganancias.

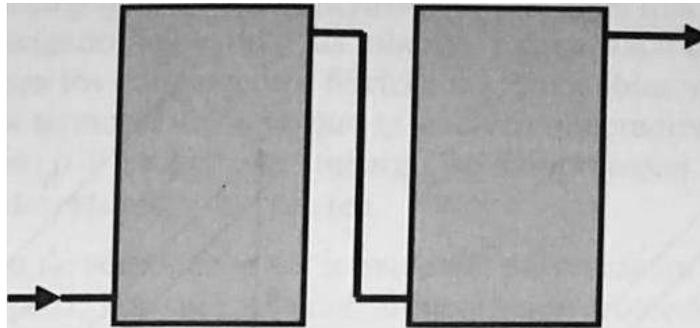


Figura 2.2. Interconexión en serie

9. Todos los conjuntos conectados en serie deben tener el mismo número de colectores en paralelo. Así el caudal es el mismo en cada conjunto y el salto térmico también. Es lo que se llama conexión serie/paralelo.

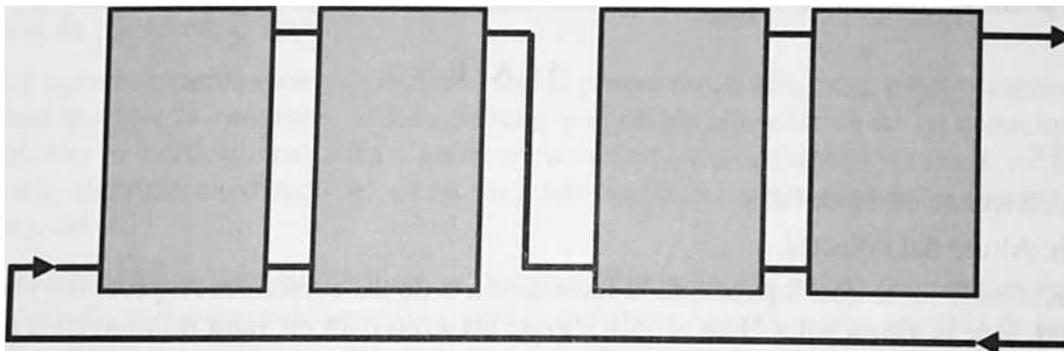


Figura 2.3. Interconexión paralelo/serie 2+2

En general, hay que facilitar la circulación natural del fluido al calentarse en la placa absorbente, y evitar los puntos de acumulación de aire de difícil evacuación o instalar purgadores automáticos o manuales. Limitar al máximo el número de codos, curvas y accesorios, evitar los cambios bruscos de dirección y de sección, y utilizar la mínima cantidad de tubería posible evitando recorridos inútiles. Estos principios son de obligado cumplimiento en las instalaciones por termosifón, además de no colocar tramos de circulación descendente del fluido caliente que bloquearían la circulación natural.

Facilitar la circulación del fluido y equilibrar el caudal de paso por todos los colectores son los objetivos principales al diseñar el conexión e interconexión de colectores.

2.3. Energía Solar Fotovoltaica (Ortega, 2002)

Los sistemas de suministro eléctrico cuyo generador está compuesto por uno o varios módulos fotovoltaicos se llaman instalaciones fotovoltaicas. Entre sus principales ventajas están la ausencia de emisiones tanto a la atmósfera como a las aguas o a la tierra, la ausencia de contaminación acústica, la descentralización al permitir la producción de energía donde se necesita, su modularidad que permite, normalmente, ampliaciones debidas al aumento de las necesidades sin desechar los componentes previamente instalados, la gratuidad de la energía consumida una vez realizada la inversión, y el mínimo pero indispensable y necesario mantenimiento de las baterías si éstas pueden perder nivel de líquido o se pueden producir en las conexiones de sus bornes procesos de corrosión electroquímica.

Desarrollada en los años 50 por condicionantes de la carrera espacial fotovoltaica es la que alimenta todos los sistemas eléctricos y electrónicos —la energía solar fotovoltaica es la que alimenta todos los sistemas eléctricos y electrónicos de los satélites y estaciones espaciales—, la tecnología fotovoltaica ha ido reduciendo costes y mejorando el rendimiento y fiabilidad de los componentes, de manera que sus aplicaciones se han ido extendiendo. Es necesario aclarar ahora que a este desarrollo contribuyen de manera favorable, entre otros factores, la aparición de aparatos eléctricos cada vez menos exigentes en consumo de energía, la fabricación de electrónica de control y potencia de alta calidad y fiabilidad, y la mejora de los sistemas electroquímicos de acumulación de energía.

Entre los argumentos falaces en contra de estos sistemas están los siguientes:

a) A menudo oímos hablar de la estética de estas instalaciones como un factor en contra (al igual que para las instalaciones de energía solar térmica), no se piensa en la «estética» del tendido eléctrico, del poste de alta tensión, de la antena de TV, de la antena parabólica y de la del aparato de aire acondicionado colgando de las fachadas de edificios históricos o modernos; panorámicas con las que convivimos habitualmente.

b) Otra opinión en ocasiones lanzada desde sectores interesados es la de su baja fiabilidad por ser una tecnología en ciernes, argumento que se desploma al comprobar cómo la energía que alimenta a los artilugios espaciales, que cuesta tanto poner en órbita, no puede generarse mediante elementos poco fiables.

c) Se dice también que su precio es muy elevado puesto que por el precio de 100 watts de panel fotovoltaico puede comprarse un grupo electrógeno que suministra del orden de 2 mil watts. Sin embargo no se tiene en cuenta que el grupo funciona con un motor de explosión, con numerosos componentes mecánicos, que debería estar arrancado las 24 horas esperando que se le demande alguna carga de energía por pequeña que ésta fuera.

d) Se achaca también que no se puede usar esta energía en aparatos que funcionen por efecto Joule (transformación de electricidad en calor) pero es que esto es absurdo desde un punto de vista del rendimiento termodinámico pues para la calefacción o la cocina es siempre mejor realizar la combustión in situ que no transformar la energía (provenga de donde provenga) en electricidad para luego transformarla en calor.

2.3.1. Efecto Fotovoltaico Célula Fotovoltaica (Ortega, 2002)

La tecnología fotovoltaica se basa en el fenómeno físico conocido como «efecto fotovoltaico». El efecto fotovoltaico es la conversión directa, en un dispositivo llamado célula fotovoltaica, de radiación electromagnética en corriente eléctrica.

Los materiales semiconductores son el soporte de la conversión fotovoltaica. La semiconductividad, cuando no es intrínseca o propia del material debido a su peculiar estructura electrónica, puede provocarse impurificando (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

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

combinan, es lo que ocurre con el óxido cuproso (Cu_2O), donde el cobre funciona como Cu^+ , cuando en su estructura tiene intercalados átomos de Cu^{++} .

El silicio dopado es el semiconductor más usado y comercializado hoy por hoy en el campo de la energía solar fotovoltaica. El silicio tiene cuatro electrones de valencia preparados para formar enlace covalente con otros tantos átomos de silicio o con otro elemento químico compartiendo sus electrones. Si sumergimos un cristal de silicio en una atmósfera de fósforo, a determinadas condiciones de presión y temperatura, el fósforo se difunde por el cristal ocupando posiciones en la red cristalina y estableciendo enlaces con los átomos de silicio de su alrededor. Sin embargo el fósforo tiene cinco electrones preparados para formar enlace con los átomos del entorno, pero sólo encuentra próximos a cuatro, de manera que cuando ocupa 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 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.

Hemos descrito la formación de un semiconductor tipo n o negativo, es decir: con electrones en niveles energéticos donadores.

Cuando la atmósfera a la que exponemos 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, decimos que hay un hueco. Este hueco está situado en los niveles de energía llamados aceptadores, porque aceptan ser ocupados por electrones. Hemos descrito la formación de un semiconductor tipo p o positivo, es decir con huecos aceptadores de electrones. Cuando un 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 hueco en la

dirección del polo positivo, o lo que viene a ser lo mismo, es como si los huecos se desplazaran en la dirección del polo negativo.

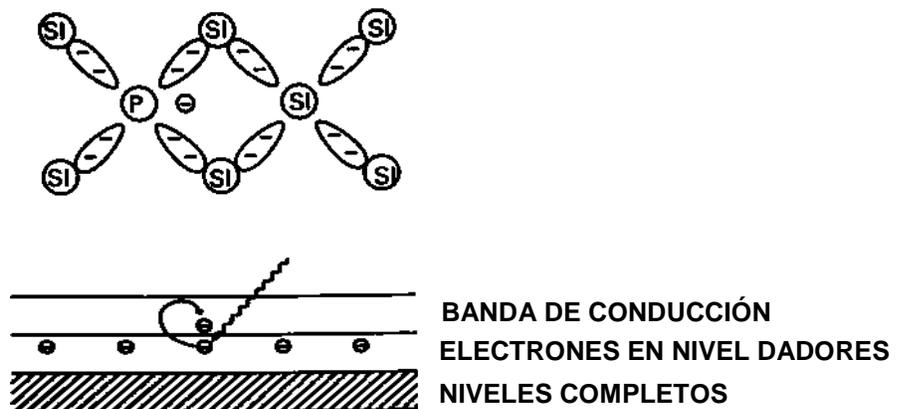


Figura 2.4. Semiconductor tipo n

En esta figura la conducción se produce por la liberación de electrones y su salto a la banda energética de conducción por efecto de la incidencia de la radiación solar.



Figura 2.5. Semiconductor tipo p

En esta figura, la conducción se produce por el desplazamiento de los electrones de hueco en hueco.

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 carencia de electrones en estos niveles. En la interface entre el semiconductor tipo p y el semiconductor tipo n (unión p-n, o unión diodo), aparece un polo positivo y

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

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 que estemos en la zona p o 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 interface de la unión p-n.

Para entender el funcionamiento de una célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable.

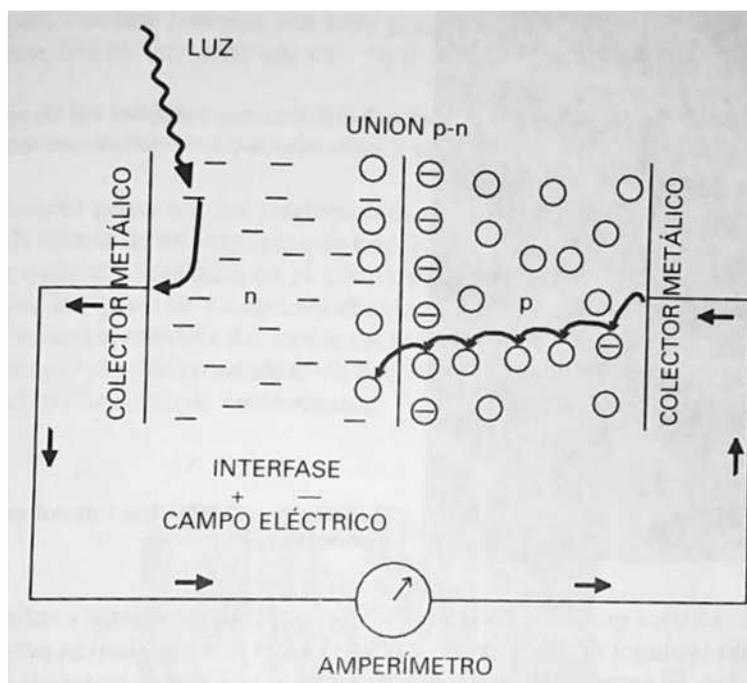


Figura 2.6. Funcionamiento de una célula fotovoltaica

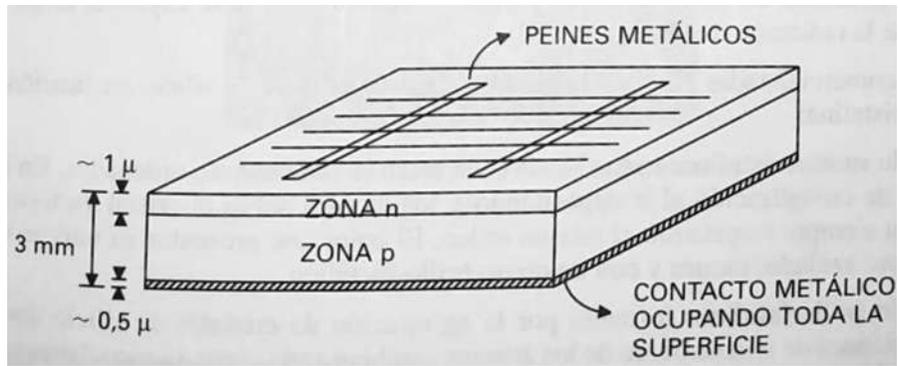


Figura 2.7. Esquema constructivo de una célula fotovoltaica

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

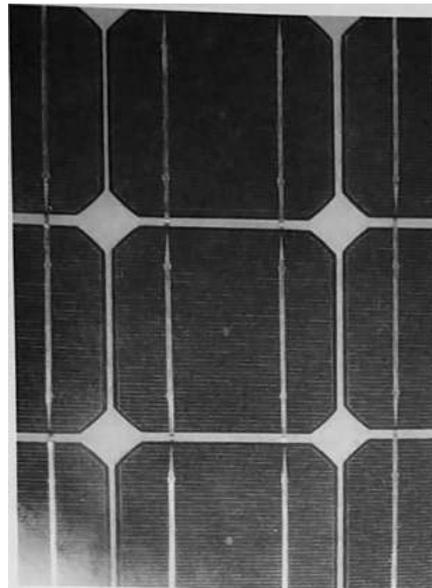


Figura 2.8. Células fotovoltaicas de silicio monocristalino

La corriente eléctrica generada en la célula fotovoltaica es corriente directa (C.D.). El aumento de la temperatura produce el efecto negativo de disminuir la tensión de trabajo. Ya hemos dicho que 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 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 a la intensidad de la radiación incidente sobre ella.

2.3.2. Tipos de Paneles Fotovoltaicos (Castillo, 2016)

Existen comercializadas en el mercado tres tipos de células de silicio en función de su estructura cristalina:

a) Silicio monocristalino: todos los átomos están perfectamente ordenados. En el proceso de cristalización al ir depositándose los átomos sobre el cristal ya formado lo hacen siempre respetando el mismo orden. El color que presentan es muy monocromático: azulado, oscuro y con un cierto brillo metálico.

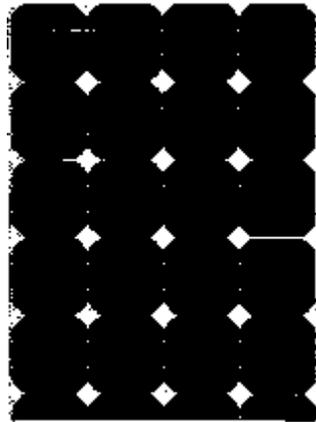


Figura 2.9. Silicio Monocristalino

Rendimiento en Laboratorio: 24.7%

Rendimiento Comercial: 16%

Costo Intermedio

b) Silicio policristalino: Formado por la agrupación de cristales de silicio donde las direcciones de alineamiento de los átomos cambian cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Tienen el aspecto de una amalgama de cristales de distintos tonos azulados y grises con brillo metálico.

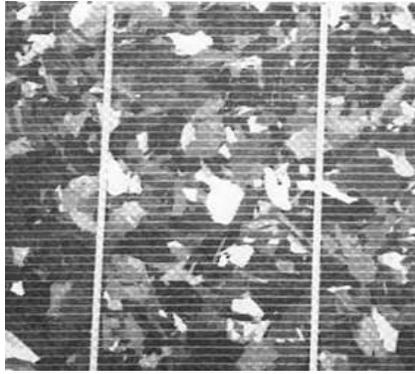


Figura 2.10. Célula de silicio policristalino

Rendimiento en Laboratorio: 24.7%

Rendimiento Comercial: 16%

Costo Intermedio

c) Silicio amorfo: En donde ha desaparecido la estructura cristalina ordenada y el silicio se ha depositado formando una capa fina sobre un soporte transparente. El aspecto es de tonos color marrón y gris oscuro. Es el silicio típico de las calculadoras y otros pequeños objetos con funciones muy diversas.

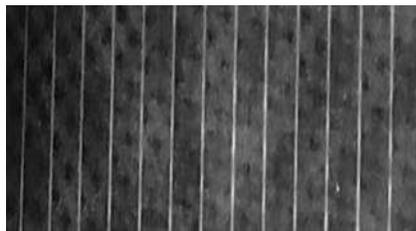


Figura 2.11. Silicio amorfo, las células son cada una de las bandas estrechas

Rendimiento en Laboratorio: 13%

Rendimiento Comercial: 8%

Costo mayor

El rendimiento o eficiencia en la transformación de energía radiante en energía eléctrica por unidad de superficie expuesta es similar para las células de silicio monocristalino y policristalino y está alrededor del 16% por contra es la menor del silicio amorfo que ronda el 6%. Por otro lado, tanto el precio de mercado como

la durabilidad de las calidades monocristalino y policristalino también son muy parecidas, sin embargo, el silicio amorfo es el más bajo, aunque presenta una más rápida degeneración con el paso del tiempo.

El silicio de los módulos comercializados, hoy por hoy, para aplicaciones terrestres hay de tres tipos: monocristalino, policristalino, y silicio amorfo.

2.4. Energía Eólica y Energía Minihidráulica

2.4.1. Origen de las Energías Hidráulica y Eólica (Ortega, 2002)

Eólico, boreal, tifón o huracán son entre otros, nombres conocidos y usados en la terminología climatológica. Estas palabras y sus derivadas tienen su raíz en la denominación que diversas mitologías les han dado a los dioses del viento. Evidentemente esto es prueba del enorme temor y respeto que el ser humano ha tenido por el viento y la fuerza que contiene. Eolo es el dios griego guardián de los vientos manejándolos y liberándolos a su antojo, Bóreas es el dios de la misma mitología que personifica al viento del norte, Huracán es el corazón del cielo según los mayas, y Tifón es el dios del mal en el antiguo Egipto.

Pero los efectos beneficiosos de la lluvia y el viento son claramente mayores que sus ocasionales perjuicios, pues la lluvia es la fuente de vida que trae el viento. En las modernas urbes saturadas por las emisiones de los vehículos y por los humos de las pocas eficientes calderas de calefacción, y afectadas por el polucionado aire de las zonas industriales que las rodean, la lluvia y el viento tienen un efecto atmosférico limpiador y renovador. De tal punto que, cuando no se producen, se crean situaciones de riesgo para la salud humana. Así tenemos, como paradigma, la contaminación aérea generalizada, agravada cuando aparece el fenómeno de la inversión térmica, en Ciudad de México.

El hombre ha aprovechado para sus fines industriales la energía contenida en el viento y en las corrientes de agua desde tiempos inmemoriales. Entre las técnicas más antiguas de aprovechamiento de la energía de los fluidos atmosféricos están el desplazamiento y transporte, la molienda de grano, la extracción de aceites, el

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

prensado de materia vegetal, el aserrado de madera, y desde luego, la elevación y trasiego de agua para el regadío y el abastecimiento humano y animal.

Los más antiguos molinos accionados por el viento eran de eje vertical y pueden situarse en Persia, hace unos 3,700 años, parece ser que en la misma época histórica también se desarrolla en China un molino de eje vertical. La rueda hidráulica aparece tiempo después, describiéndola por primera vez Filón de Bizancio, ingeniero griego del siglo III a. de c. La penetración en europea del molino de viento no se produce hasta pasados más de 2,000 años desde su invención, fue en la Edad Media y, muy probablemente, mejorando por la técnica árabe y transformando ya en el molino de eje horizontal que conocemos, y que se extendió por Europa con distintas tipologías. La aplicación primordial de estos molinos de agua y de viento era la sustitución de trabajo animal y humano para la molienda del grano. Por otro lado, el desarrollo de la técnica de los engranajes para transmitir el movimiento giratorio variando la posición del eje de giro fue necesario para el desarrollo tecnológico de la energía hidráulica y eólica. Para hablar de una manera general, la energía eólica tiene en realidad su origen en el sol, que produce el viento; a su vez, la energía del viento es captada por los aerogeneradores. El viento se produce por la diferencia de temperatura existente en las distintas capas de aire de la atmósfera.

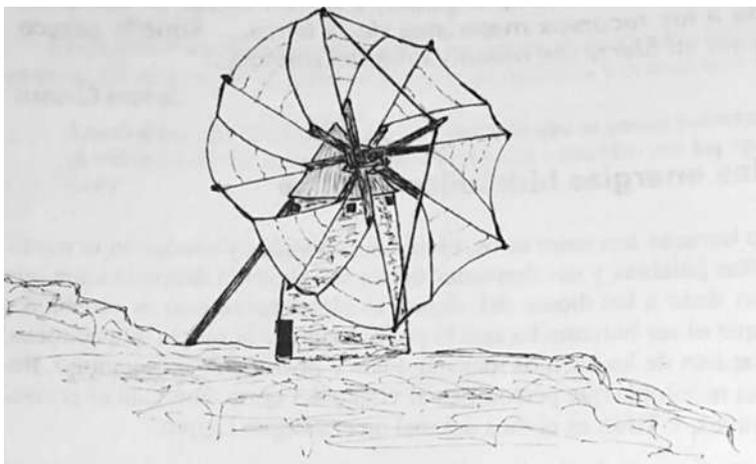


Figura 2.12. Molino de velas mediterráneo

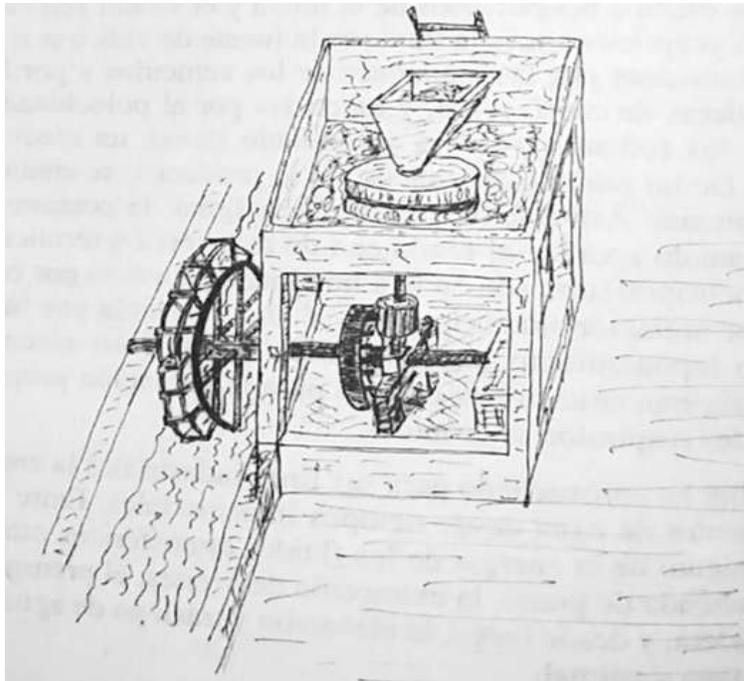


Figura 2.13. Molinos de agua

La causa original que provoca los movimientos de las masas de aire es la radiación solar. Ya sabemos que la cantidad de energía que cede la radiación solar depende de la latitud del lugar, al depender del ángulo de incidencia, así, en las regiones polares se produce un calentamiento menor que en el ecuador.

El aire más caliente es menos denso y asciende, siendo correspondiente al macroclima de escala planetaria. La dirección de estas grandes corrientes de circulación está influida por la rotación terrestre, y por la disposición de los continentes. Debido al distinto ángulo de incidencia de los rayos solares en el ecuador y en los polos, al calentamiento y enfriamiento diferencial del agua y de la tierra, y factores locales como la orografía, el calor, la humedad, la vegetación, etc., se producen los movimientos convectivos del aire. Las nubes se forman cuando el aire caliente y húmedo asciende y se enfría. Éstas son transportadas por el viento. Las precipitaciones se producen por un sobreenfriamiento de la nube, formándose las gotas o los copos que caen por la gravedad terrestre.



Figura 2.14. Distribución de los vientos a escala planetaria

Por otro lado, el distinto calor específico —indicador de la cantidad de calor que puede almacenar la materia por unidad de masa (KCal/Kg) —, y la diferente velocidad de enfriamiento y de transmisión del calor del agua de los mares, en relación a la de tierra de las masas continentales, en su intercambio térmico con el ambiente, provoca calentamientos y enfriamientos diferenciales de las masas de aire en contacto con las zonas terrestres respecto de las que están en contacto con las acuáticas. Además, otros factores como la orografía, la humedad, el tipo de cubierta vegetal, la altitud, el color de la superficie terrestre, etc., condicionan la dirección y la fuerza de vientos más localizados, incluso vientos peculiares de pequeñas regiones con microclimas muy específicos.

Las nubes están formadas por pequeñas gotitas de agua en suspensión con un diámetro de 2 a 3 micras. El fenómeno de las precipitaciones se produce bien por la coalescencia de estas microgotas en gotas mayores, o bien, a causa de un sobreenfriamiento que hace que se formen cristales de hielo que se agrupan, aumentando hasta un tamaño tal que caen por gravedad, si durante el descenso aumenta la temperatura, entonces el hielo se licua produciéndose la lluvia.

Debido al distinto ángulo de incidencia de los rayos solares en el ecuador y en los polos, al calentamiento y enfriamiento diferencial del agua y de la tierra, y factores locales como la orografía, el calor, la humedad, la vegetación, etc., se producen los movimientos convectivos del aire. Las nubes se forman cuando el aire caliente

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

y húmedo asciende y se enfría. Estas son transportadas por el viento. Las precipitaciones se producen por un sobreenfriamiento de la nube, formándose las gotas o los copos que caen por la gravedad terrestre.



Figura 2.15. Esquemmatización del ciclo del agua

En la figura anterior, el ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua: es la condensación. Las gotas se juntan y forman una nube. Luego caen por su propio peso: es la precipitación.

En la actualidad se aprovecha a gran escala la fuerza del agua para la generación de electricidad, y la fuerza del viento para el bombeo de agua y también para la generación de electricidad. Ambas tecnologías, cuando requieren grandes infraestructuras para centralizar la producción de elevadas potencias, necesitan de obra civil lo suficientemente importante como para cuidar los aspectos medioambientales, a pesar de lo cual la escala de su impacto ambiental es insignificante por comparación al de las centrales térmicas y nucleares.

La energía eólica aprovechada a gran escala produce un fuerte impacto visual, que según el caso puede ser más o menos agradable, no obstante, el efecto sobre los ecosistemas es despreciable, permitiendo las actividades agroganaderas en el mismo pie de las máquinas eólicas. Los estudios sobre mortandad de aves por su interposición en las zonas de paso de las migraciones son reveladores en el sentido de su trivialidad. Sectores interesados en el fracaso de la energía eólica

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

alegaron la contaminación sonora por el batir rítmico de las palas, de nuevo, con este último razonamiento, se busca absurdamente la más absoluta de las perfecciones, pues sólo mirando a nuestro alrededor comprobamos el mundo de ruidos en el que vivimos.

Las minicentrales hidráulicas serán objeto de estudio en este capítulo, en tanto que son una forma de aprovechamiento de un recurso endógeno renovable, y dado que las políticas energéticas actuales las incluyen, junto con el resto de las energías renovables, como candidatas a la obtención de incentivos públicos. Estos incentivos se dirigen tanto a la construcción como a la rehabilitación. Las ayudas se ejecutan, habitualmente, según dos líneas no necesariamente incompatibles: una de ellas es la subvención a la inversión productiva para la construcción o rehabilitación de las antiguas minicentrales en desuso y abandonadas, y la otra, se basa en el establecimiento de las condiciones legales necesarias para que la compañía distribuidora de la zona quede obligada a la adquisición de la energía eléctrica a un precio del KWh previamente establecido por el gobierno, y superior al del generado mediante tecnologías convencionales, que garantice la rentabilidad de las inversiones.

Por otro lado, en cuanto a la tecnología eólica, el desarrollo actual se dirige de modo imparable hacia el aprovechamiento a gran escala, entrando ya en el umbral de la competitividad, valorada ésta sin incluir parámetros sociales o medioambientales. Tal es así, que los esfuerzos se dirigen al aumento de tamaño de los aerogeneradores con el fin de ser competitivos y poder soportar los costos de situarlos incluso mar a dentro. Quién le iba a decir al ingenioso Hidalgo que si anduviera de nuevo «desfaciendo» entuertos podría toparse con las majestuosas máquinas eólicas del siglo XXI, más imponentes pero, por qué no, quizás de igual belleza que la de los gigantes que acometió.

La energía hidráulica se utiliza en la actualidad para la generación de electricidad, la energía eólica para la generación de electricidad y para el bombeo de agua.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables



Figura 2.16. Molinos de la Mancha. Consuegra

Grados Beaufort	Velocidad del viento (m/seg)	Nombre típico	Efecto Marítimo	Efecto Terrestre
0	0-0.2	Calma	Mar calma	El humo asciende vertical
1	0.03-1.5	Ventolina	El mar cabrillea	El humo varía, la veleta no
2	1.6-3.3	Flojito	Olitas	La veleta se orienta
3	3.4-5.4	Flojo	Olitas, alguna espuma	Se agitan las hojas del árbol
4	5.6-7.9	Bonancible	Olas, más espuma	Se levanta polvo y papeles
5	8-10.7	Fresquito	Olas con picos, espuma	Los arbolitos se mueven
6	10.8-13.8	Fresco	Oleaje, espuma blanca	Las ramas grandes se agitan
7	13.9-17.1	Frescachón	Lo anterior y mar gruesa	Difícil ir contra el viento
8	17.2-20.7	Duro	Grandes olas	Se rompen ramas pequeñas
9	20.8-24.4	Muy duro	Además poca visibilidad	Se rompen ramas grandes
10	24.5-28.4	Temporal	Además agua blanca	Arranca árboles
11	28.5-32.6	Borrasca		Destrozos generalizados
12	32.7-36.9	Huracán		
13	37-41.4	"		
14	41.5-46.1	"		
15	46.2-50.9	"		

16	51-56	"		
17	56.1-61.2	Ciclón		

Tabla 2.1. Escala de Beaufort



Figura 2.17. Aerogenerador para la producción de electricidad

2.4.2. Generalidades sobre el viento (Ortega, 2002)

La fuerza que un viento ejerce sobre una superficie interpuesta en su trayectoria depende de su velocidad. El almirante Beaufort estableció hacia 1805 una clasificación de la fuerza de los vientos según sus efectos sobre las aguas del mar. La escala Beaufort sigue usándose en la actualidad, se divide en 17 grados a los que les corresponde un intervalo de velocidades de viento, una descripción del efecto marino y una descripción del efecto terrestre, de forma resumida se presenta en la tabla.

La dirección del viento se indica con una veleta y se refiere nominalmente al lado de donde sopla, es decir, se dice que es de dirección este si el lado de sotavento, hacia donde sopla el viento, es el oeste; otro instrumento que nos indica la dirección del viento es la manga de aire como las que se colocan en algunos puntos de las carreteras y autopistas, o en los aeródromos y aeropuertos.

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

La velocidad del viento se mide con el anemómetro, existiendo muchas tipologías de estos aparatos, según el principio físico en que se basen, así tenemos: los de rotación que es una pequeña generadora eólica de eje vertical u horizontal acoplada a un pequeño generador de corriente continua, la intensidad que se genera depende de la velocidad de giro; los que se basan en la presión dinámica ejercida contra superficies interpuestas como el anemómetro de pitot, el rotámetro, y otros.

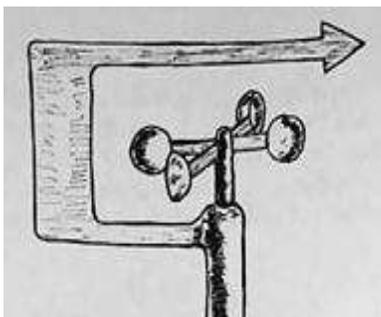


Figura 2.18. Anemómetro de rotación y veleta

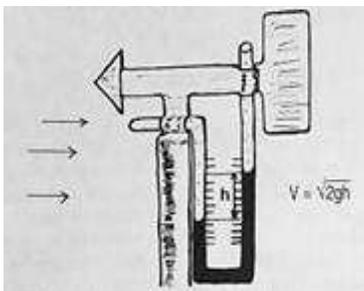


Figura 2.20. Anemómetro de tubo de pitot

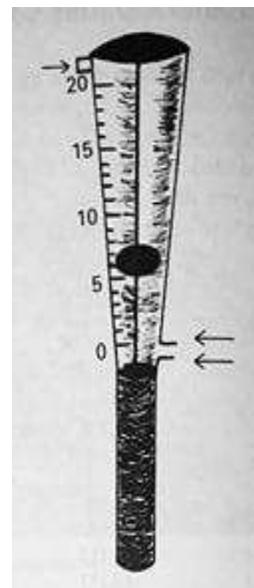


Figura 2.19. Rotámetro

El tipo de gráfica utilizado para representar las características locales del viento es un diagrama polar basado en la rosa de los vientos. La rosa divide al círculo según 16 direcciones, si trazamos un vector en cada una de ellas cuyo módulo (longitud) sea proporcional a la velocidad media, y sobre el cual escribimos el tanto por ciento del tiempo que el viento ha soplado en esa dirección, obtenemos una información esquemática y visual de la velocidad y la dirección de los vientos predominantes en un lugar determinado. Estos diagramas pueden reflejar datos,

Capítulo 2 Antecedentes de fuentes renovables

horarios, diarios, mensuales, estacionales y anuales, lo que es conveniente para evaluar la energía extraíble y la ubicación del o de los aerogeneradores.

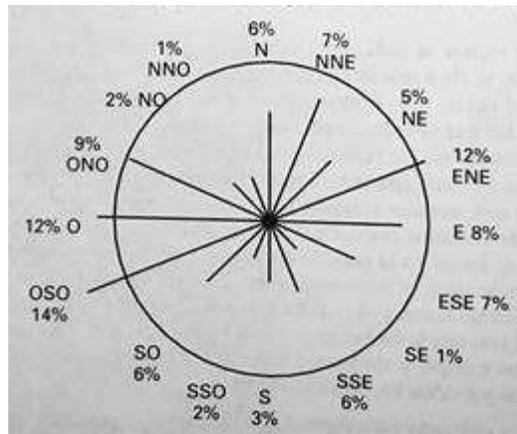


Figura 2.21. Diagrama polar basado en la rosa de los vientos

Para recordar, un diagrama polar es un dibujo técnico que refleja la radiación en que un determinado sistema capta o emite (radia) energía al espacio. Estas pueden ser, por ejemplo ondas de sonido o radiación electromagnética. Entre otras aplicaciones, se utiliza en micrófonos y altavoces así como en antenas de todo tipo. La velocidad del viento se mide con el anemómetro, su dirección se indica con la veleta.

La representación gráfica que se usa más habitualmente es la de la rosa de los vientos, que indica el tiempo y la velocidad media con que ha soplado el viento en cada una de las 16 direcciones en que se divide el plano partiendo de los ejes norte-sur y este-oeste. La velocidad del viento se mide con el anemómetro, su dirección se indica con la veleta.

El análisis detallado de la velocidad y dirección de los vientos en regiones concretas permite la elaboración de mapas eólicos trazando líneas por zonas con vientos de igual velocidad, isostaquias, lo que contribuye, consecuentemente, al conocimiento del potencial eólico del país o zona en cuestión. No son pocos los emplazamientos del mundo con vientos aprovechables desde el punto de vista de la generación eléctrica, tierras cercanas al mar y zonas marítimas próximas a tierra son las principales candidatas a albergar las llamadas granjas eólicas.



Figura 2.22. Maquinas alineadas transversalmente a la corriente de aire

2.4.3. Tipos de Máquinas Eólicas y sus aplicaciones (Ortega, 2002)

Las máquinas eólicas se clasifican según la velocidad de giro del rotor, se dividen en eólicas lentas y eólicas rápidas. Las principales aplicaciones son el bombeo de agua y la generación de electricidad, en zonas con vientos más o menos estables presentan la ventaja sobre los sistemas fotovoltaicos de no depender de los ciclos día-noche ni de los ciclos estacionales.

1. El molino americano multipala cuya aplicación típica es el bombeo de agua. Esta aerobomba gira entre 10 y 40 r.p.m. (revoluciones por minuto), consta de 8 a 36 palas, presenta diámetros del orden de 2 a 8 m, y trabaja con alturas de bombeo de hasta 200 m. Su par de arranque es elevado por lo que pueden desarrollar grandes esfuerzos con baja velocidad de viento. La protección contra vientos fuertes que pudieran producir destrozos materiales se basa en la variación automática del ángulo que forman la dirección del viento y el eje de giro de la rueda, llegado un punto la rueda se dispone «en bandera» totalmente alineada con la dirección del viento. Para estas máquinas la potencia máxima, en función de la velocidad del viento v , y del diámetro D , del área barrida se define por la siguiente fórmula:

$$P= 0.15 * D^2 * v^3$$



Figura 2.23. Aerobomba multipala o molino americano

2. Las eólicas rápidas para generación de electricidad. La generación de electricidad presupone un paso intermedio para cualquier actividad que requiera el aporte de energía, de manera que con la electricidad generada también se pueda bombear agua. Estos aerogeneradores desarrollan velocidades de giro de entre 10 y 100 r.p.m., con diámetros comerciales ya del orden de 1 hasta 50 m. Los modelos pequeños tienen de 2 a 7 palas, y desarrollan potencias comprendidas entre 50 y 1,500 watts. Los modelos que hoy en día se instalan de manera generalizada en los parques eólicos tienen 3 palas y desarrollan potencias de 150 a 700 KW, siendo la tendencia actual la del aumento del diámetro del rotor para aumentar la potencia generada. Los sistemas de regulación de velocidad de los aerogeneradores son muy variados, mecánicos, electromecánicos o electrónicos, dependiendo de si la generación se hace en corriente continua en máquinas muy pequeñas, o en alterna a elevada tensión para aerogeneradores de gran tamaño.

En otras palabras, las turbinas eólicas se pueden fabricar en diversos tamaños, son adecuadas para los usos regionales e individuales. En lugares, donde trasladar la electricidad es difícil y costoso, la electricidad es obtenida por medio de las turbinas.



Figura 2.24. Parque eólico, también llamada granja eólica

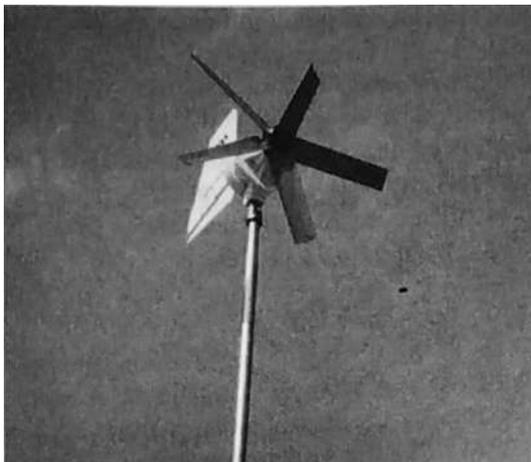


Figura 2.25. Pequeño aerogenerador



Figura 2.26. Aerogenerador de 250 W para 8 m/s de velocidad de viento, montado sobre una torreta de antena

2.5. La Energía de un salto de agua (Ortega, 2002)

Son las turbinas hidráulicas las que extraen la energía de un salto de agua, transformándola en energía mecánica de rotación, y las que acopladas con el eje

de un alternador le imprimen el movimiento de giro necesario para generar energía eléctrica.

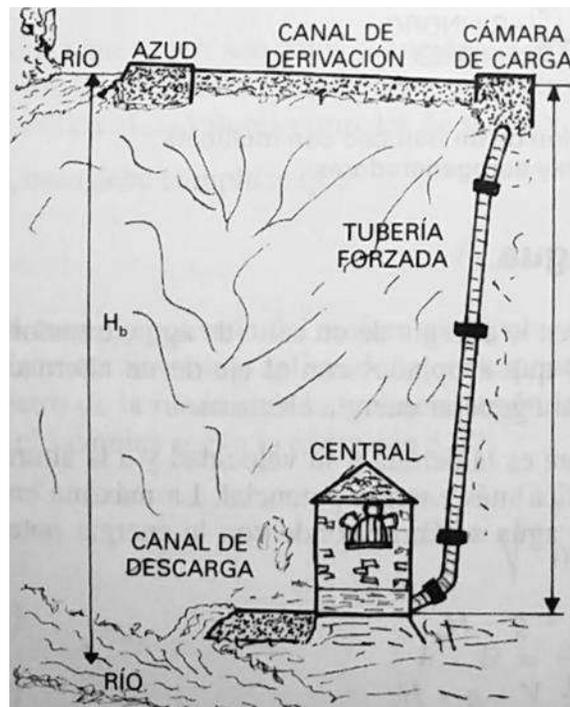


Figura 2.27. Esquematación de una central minihidráulica

La energía que puede extraerse de un salto de agua es proporcional al caudal y a la altura del salto. Podemos extraer la misma energía con mucho caudal y poca altura o con poco caudal y mucha altura.

2.6. Tipología de las Minicentrales Hidroeléctricas (Ortega, 2002)

Las minicentrales hidráulicas pueden ser de tres tipos:

1. Centrales de agua fluente. No tienen embalse de agua, una presa o azud, desvía parte del caudal del río dirigiéndolo por el canal de derivación hasta la cámara de carga, donde está conectada la tubería de descarga que cae con la máxima pendiente posible hacia el edificio de la central donde se encuentra la turbina, el alternador y demás aparatos de regulación y control electromecánicos, electrónicos, y de automatismos hidráulicos. El agua una vez turbinada se evacua por un canal de descarga devolviéndola de nuevo al cauce del río. Centrales de

agua fluyente también son las que en ríos con mucho caudal se desvía parte del mismo mediante un azud hacia una presa para mantener la altura de caída constante, estas centrales no necesitan canal de derivación.

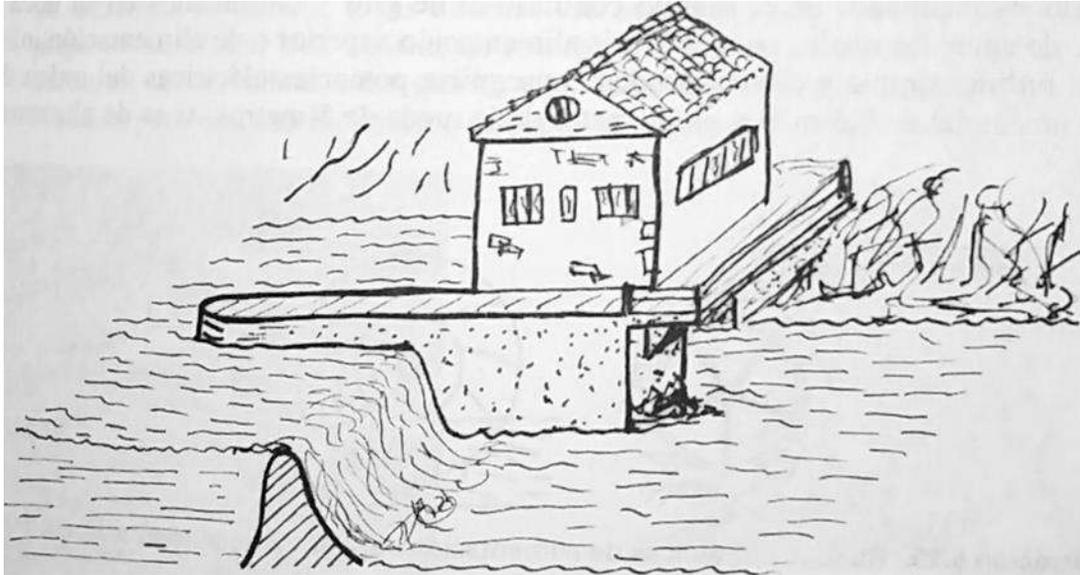


Figura 2.28. Central de agua fluyente en un cauce con abundante caudal

2. Centrales de pie de presa o de regulación propia. En ocasiones, embalses existentes, o por construir, cuyo fin es distinto al del aprovechamiento energético, como la regulación del cauce o la utilización del agua para consumo humano, industrial, o agrícola, permiten la instalación de una minicentral en el pie de la presa. En este caso los caudales a turbinar son los excedentes, o bien los necesarios para el consumo, o incluso, cuando no hay necesidades ni excedentes, se turbinan el caudal de servidumbre, que es el caudal mínimo que debe transcurrir por el cauce del río.

3. Centrales en canales de abastecimiento. Las canalizaciones de conducción de agua para riego o para consumo humano pueden aprovecharse para colocar en paralelo una tubería forzada y turbinar el agua devolviéndola de nuevo al canal en un tramo de menor cota o a otro cauce fluvial, utilizándose, en este último caso, sólo los excedentes de consumo.

2.7. Clases de Turbinas Hidráulicas (Ortega, 2002)

La más antigua de las turbinas hidráulicas es la llamada rueda hidráulica, esta rueda gira lentamente, pero utilizando un multiplicador se consiguen las revoluciones necesarias para hacer funcionar un alternador. La rueda hidráulica está formada en su periferia por una serie de cangilones inclinados en el sentido contrario al de giro y enfrentados en su boca a la corriente de agua; las ruedas pueden ser de alimentación superior o de alimentación inferior. Con esta turbina simple y clásica pueden conseguirse potencias eléctricas del orden de 10 KW con un caudal de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y un diámetro de la rueda de 5 metros, si es de alimentación superior.

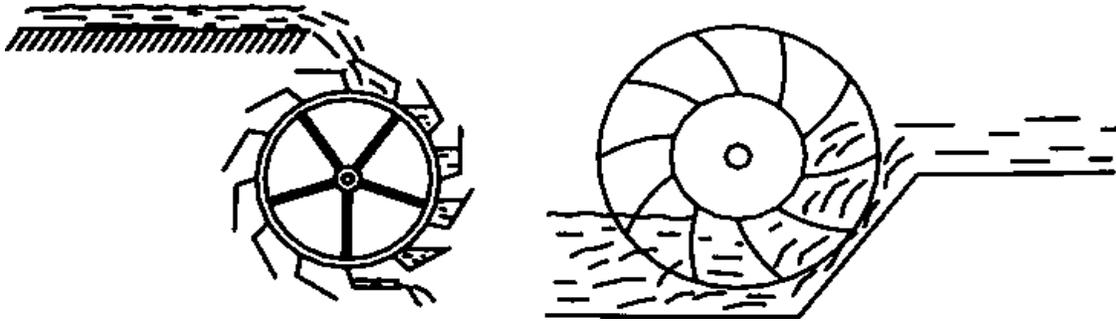


Figura 2.29. Ruedas hidráulicas de alimentación superior y de alimentación inferior

La obtención de mayores potencias, o el aprovechamiento más eficaz de los saltos de agua, requiere la utilización de turbinas con mejores diseños y de tecnología más avanzada. Las turbinas características conocidas y utilizadas ampliamente son:

1. Turbina Pelton. En la periferia del rodete de esta turbina se sitúan unos cuencos cada uno de los cuales consta de dos cavidades separadas por una nervadura central. El agua choca contra los cuencos en dirección tangencial al rodete y perpendicular a su eje de giro procedente de uno o varios inyectores. Mediante los inyectores se regula el caudal de entrada a la turbina. Estas turbinas son utilizadas para grandes saltos de agua y pequeños caudales.

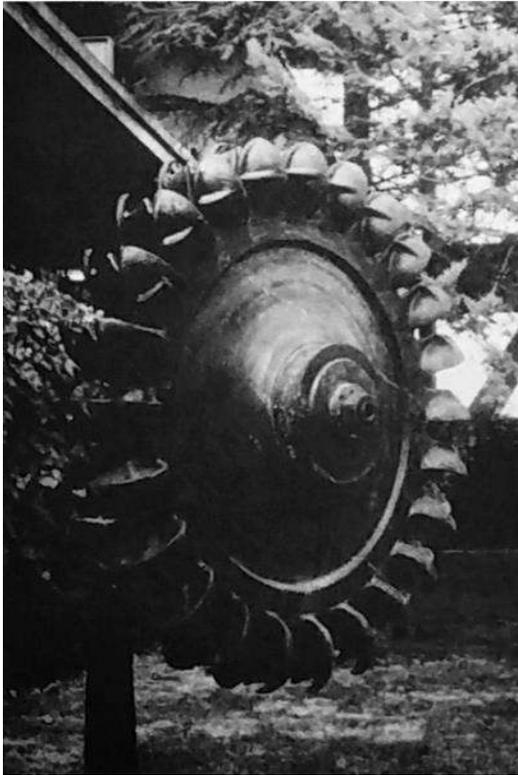


Figura 2.31. Rodete de una turbina Pelton

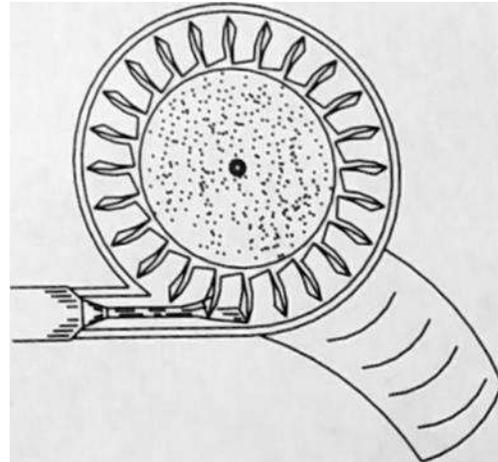


Figura 2.30. Turbina Pelton con un inyector

3. Turbina Francis. Las turbinas vistas hasta ahora aprovechan la presión dinámica debida a la velocidad del agua en el momento de su acción en la turbina, la turbina Francis y sus variantes aprovecha además la presión estática al trabajar en el interior de compartimentos cerrados a presión superior a la atmosférica. En las primeras el agua se encuentra a presión atmosférica antes de ser turbinada, mientras en las segundas la presión atmosférica se adquiere al caer al canal de descarga. La turbina Francis puede colocarse con el eje horizontal o vertical. El agua es impulsada a los álabes de manera perpendicular al eje de giro y expulsada axialmente en dirección paralela a dicho eje. Son turbinas aptas para muy variados caudales y alturas. La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbo máquina motora a reacción y de flujo mixto. Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales.

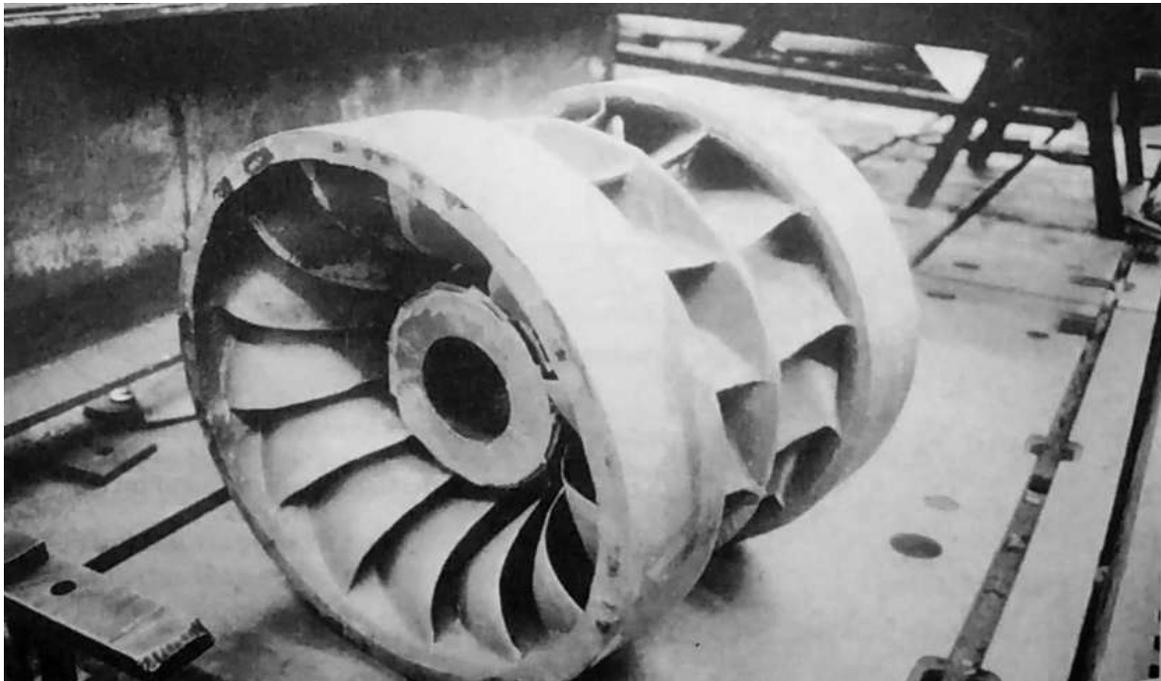


Figura 2.32. Rodete de una turbina Francis de doble rodete. Foto de Iberdrola

3. Turbina Kaplan. Esta turbina tiene la forma de una hélice de barco. Aprovecha la presión dinámica y estática como la Francis y se emplea para pequeños saltos con caudales variados. La Turbina Kaplan es una hélice de 4 ó 5 palas mejorada en el sentido de que éstas pueden variar el ángulo de ataque y de que la alimentación se produce a través de una cámara espiral en la que se incorpora un regulador de caudal formado por compuertas de mariposa, al igual que la Francis.

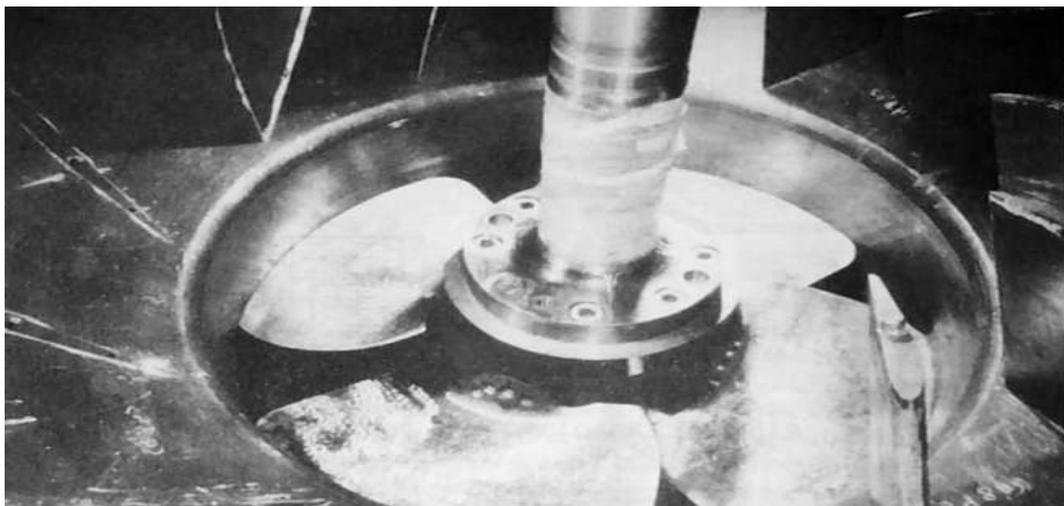


Figura 2.33. Rodete de una turbina Kaplan. Cortesía de Iberdrola

Capítulo 3

Diseño de Sistemas Fotovoltaicos

3.1. Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica

3.1.1. El Módulo Fotovoltaico (Ortega, 2002)

Un módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre sí. 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 la anterior con un vidrio templado, muy resistente al impacto, de superficie interior antirreflexiva y con bajo contenido en hierro para limitar su absorbancia, la superficie exterior del vidrio debe ser lisa para evitar la acumulación e incrustación de suciedad y para facilitar la limpieza por efecto de la lluvia, el marco que le da rigidez al conjunto es de aluminio anodizado, y, en ocasiones, lacado. La hermeticidad del módulo es esencial para impedir la penetración de los agentes atmosféricos que favorecería la corrosión y deterioro de los contactos metálicos. En el marco o en la lámina de TEDLAR se fija la caja de conexiones con tapa estanca que contiene a los bornes positivo y negativo. En la caja de conexiones se incorporan también unos diodos de derivación para el caso en el que se produzcan sombras parciales de una o varias células en el módulo.

Para hablar del significado de un módulo fotovoltaico pues están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que

incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico.

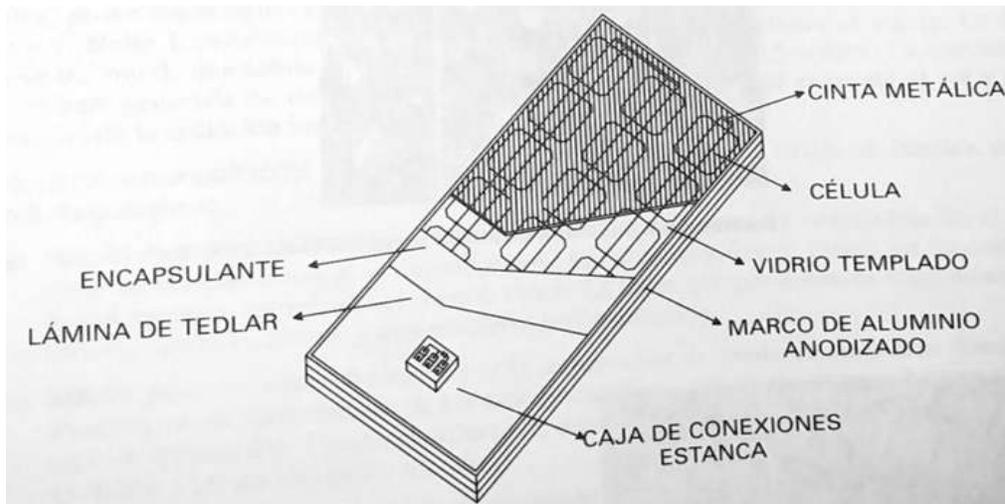


Figura 3.1. Componentes de un módulo fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células conectadas en serie. Sus principales características son la potencia pico, la intensidad pico y el voltaje nominal, medidos en unas condiciones estándar que suponen una radiación incidente de $1,000 \text{ W/m}^2$.

3.1.2. Regulador de Carga o Controlador (Ortega, 2002)

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene el objetivo de evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión que es garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la carga excesiva de la batería.

Los hilos positivo y negativo del generador fotovoltaico se conectan a este aparato electrónico que suministra la tensión y la intensidad de corriente que debe llegar a la batería según el estado de carga a que ésta se encuentre. Las maniobras esenciales que debe hacer un regulador están encaminadas a la protección contra sobrecargas, interrumpiendo la corriente de carga una vez que ésta se haya

completado, y la protección contra descargas excesivas, interrumpiendo el suministro de corriente al consumo ante una bajada de tensión. Es lo que se llama protección por sobretensión y protección por subtensión. Un buen regulador debe ajustar la tensión a la que debe finalizar la carga en función de la temperatura ambiente y de la intensidad suministrada por el campo de paneles (régimen de carga). De igual modo, debe ajustar la tensión de corte por baja carga según la intensidad de descarga y la temperatura ambiente. Es conveniente que el regulador mantenga a la batería en flotación, esto es, que suministre pequeñas corrientes de carga cuando la tensión baja, sin consumo, hasta un valor umbral que suele considerarse sobre 2 Volts/elemento para 25 °C, de este modo se compensa la auto descarga y se mantiene la batería permanentemente en estado de máxima carga en los momentos o días que no hay consumo; el mantenimiento en flotación alarga la vida de la batería. Los diferentes estados del sistema pueden indicarse por led luminosos, o, para los casos de riesgo, por alarmas sonoras.

Otra forma de darle el significado de un regulador o controlador de carga es un dispositivo encargado de controlar constantemente el estado de carga de las baterías así como de regular la intensidad de carga con el fin de alargar la vida útil de las baterías. Controla la entrada de corriente proveniente del panel solar y evita que se produzcan sobrecargas y sobre descargas profundas en la batería.

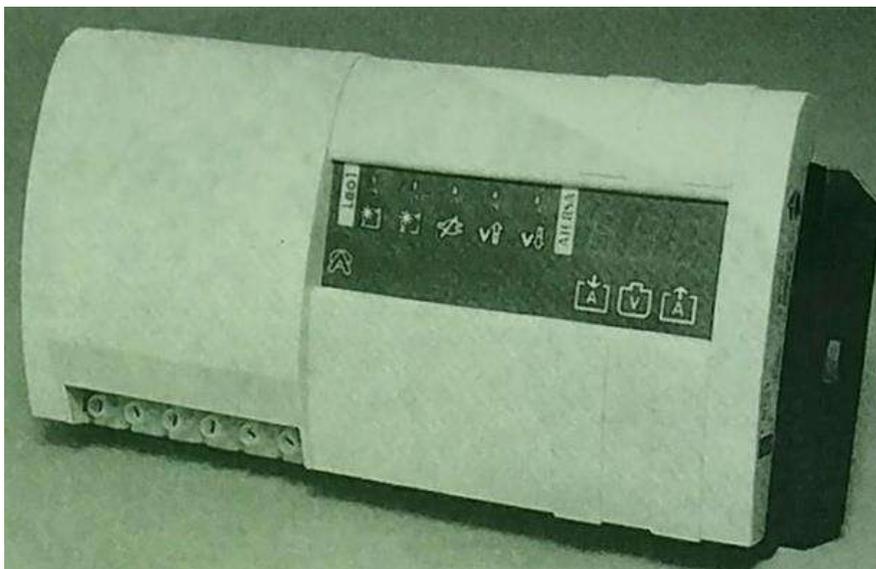


Figura 3.2. Regulador de carga de baterías. Foto: ATERSA



Figura 3.3. Controlador típico de un sistema fotovoltaico de bombeo

3.1.3. Inversor o Convertidor CD/CA (Ortega, 2002)

La corriente generada en el campo de paneles y suministrada por las baterías es directa, y aunque existe un mercado especializado en aparatos que funcionan en C.D. a 12, 24, e incluso 48 V, el precio de los mismos y la dificultad, en ocasiones, de encontrar repuestos hace recomendable el plantearse la implementación de un inversor que transforme la corriente continua en alterna a 220 V y 60 Hz (Hertz, ciclos por segundo es la unidad de frecuencia), que son características de la corriente suministrada por las compañías a nuestros hogares. Los convertidores más habituales en la actualidad son los estáticos (electrónico); ya que se puede convertir la corriente de directa a alterna acoplado en el eje un motor de C.D. con un alternador y tendríamos un convertidor dinámico. El tipo de onda suministrada por el inversor puede ser de más o menos calidad en función del modelo, la onda puede ser cuadrada, cuadrada modificada o senoidal pura. Casos particulares son los inversores de grandes instalaciones conectadas a red, o los inversores para medianos y grandes sistemas de bombeo cuya alimentación es directa del campo de paneles y que ajustan la frecuencia de la corriente de salida para regular la

Capítulo 3 Diseño de sistemas fotovoltaicos

velocidad de giro del grupo motor-bomba. Los convertidores deben estar provistos de protección contra inversión de polaridad en la entrada, contra cortocircuitos en la salida, contra baja o alta tensión de entrada, contra sobrecargas (conexión de consumos de más potencia que la que es capaz de suministrar el inversor). Por otro lado es conveniente que si entran en alguna situación de desconexión vuelvan a rearmarse en el momento en que se restablezcan las condiciones de diseño. La calidad de un convertidor viene dada también por su eficiencia energética en la conversión. El rendimiento de un convertidor se hace máximo al trabajar en las condiciones de potencia máxima para las que ha sido diseñado y éste debe estar como mínimo por encima del 80%; los convertidores suministrados por las empresas especializadas en productos fotovoltaicos presentan rendimientos a potencia nominal superiores al 90 %.

El inversor transforma el tipo de corriente y varía la tensión entre la entrada y la salida. La tensión de entrada puede ser desde los 12 hasta los 300 Volts de grandes instalaciones y las corrientes de salida pueden ser monofásicas, trifásicas, a 220 o a 380 Volts.

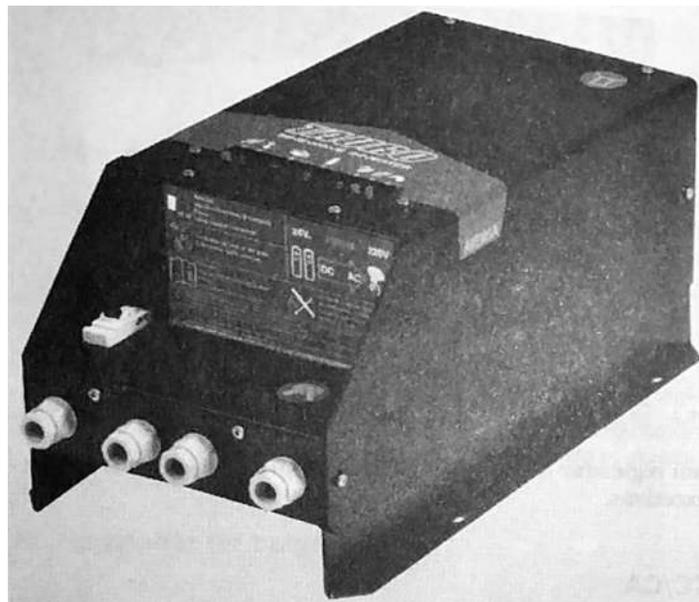


Figura 3.4. Inversor CD/CA Foto: ATERSA

3.1.4. Almacenaje de Energía. Acumuladores Electroquímicos (Ortega, 2002)

Cuando se usa la energía procedente de la radiación solar para aplicaciones eléctricas debido a que los procesos de consumo suelen diferir en el tiempo del proceso de captación se hace necesario el almacenamiento de energía. El objetivo es disminuir en lo posible la dependencia del carácter cíclico y de los factores climáticos, que hacen que la radiación sola no se presente con una constancia temporal. Los ciclos día-noche, los períodos con días nublados, los meses de poca insolación, y la necesidad de suministrar consumos puntuales de elevada potencia y corta duración, nos suelen obligar o prever sistemas de acumulación de energía potencial. En el caso de la energía fotovoltaica se usan, en general, acumuladores electroquímicos. Los acumuladores se dividen en primarios o secundarios. Los acumuladores primarios son los que después de suministrar una determinada cantidad de corriente no pueden regenerarse (recargarse) haciendo pasar una corriente eléctrica en dirección opuesta al sentido de la descarga. Los acumuladores secundarios son los que pueden regenerarse después de una descarga haciendo pasar a través de ellos una corriente eléctrica generada en el exterior. Estos últimos son los que interesan desde el punto de vista de las instalaciones fotovoltaicas. El flujo de electricidad a través de un conductor se debe al transporte de electrones desde un punto de potencial negativo alto a otro de bajo potencial. Según el mecanismo por el que se lleve a cabo este transporte clasificamos los conductores de electricidad en conductores metálicos, electrónicos o de primera clase, y en conductores iónicos, electrolíticos o de segunda clase. La conductividad metálica se debe a un movimiento de electrones por las bandas de conducción de los metales cuando se aplica un campo eléctrico. La conductividad iónica que se produce en el interior de un acumulador electroquímico va acompañada de un transporte de materia; los iones (un ion es un átomo o grupo de átomos con carga eléctrica neta) en movimiento por un medio dieléctrico son los que transportan la electricidad. La conductividad metálica crece con la disminución de temperatura, por el contrario, la conductividad iónica se hace menor al disminuir la temperatura ya que el medio líquido se hace más

viscoso dificultando la circulación de materia. A los efectos de este texto nos interesa conocer el acumulador de plomo/ácido, que es el más usado en la actualidad dada la relación entre sus prestaciones y su precio, y el acumulador alcalino. No obstante, existen otras posibilidades como los acumuladores REDOX formados por pares de metales en disolución separados por una membrana selectiva para impedir la difusión de un metal a la zona donde se encuentra el otro.

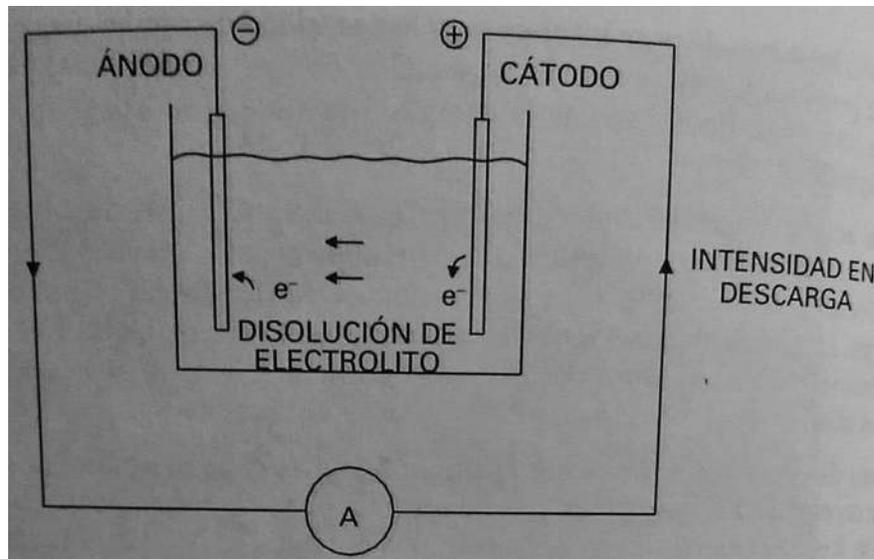


Figura 3.5. Célula electroquímica

Los acumuladores de Pb/ácido para aplicaciones fotovoltaicas son llamados estacionarios, la denominación se debe a que no están sometidos al movimiento de un acumulador de arranque montado en un vehículo de carretera. Resumidamente, las características eléctricas esenciales y comerciales de un acumulador electroquímico estacionario de Pb/ácido son:

Voltaje: Los módulos fotovoltaicos trabajan, normalmente, con tensión nominal de 12 Volts, por lo que las baterías de acumuladores deben trabajar con tensiones nominales de 12 Volts o múltiplos enteros de la misma (24, 36, 48...). Los elementos (vasos) de una batería de Pb/ácido tienen tensiones de circuito abierto de entre 2.4 y 2.9 Volts por elemento, lo que supone para un conjunto de 6 vasos conectados en serie una tensión de 12,24 a 12,54 V. Durante la descarga se consume electrolito disminuyendo el voltaje y la densidad. La estabilidad en la tensión durante el proceso de descarga es un factor de calidad de una batería.

Dependiendo de la intensidad con que se produzca la descarga electrolítica, la tensión se mantiene con un leve descenso durante mas o menos tiempo, pero llega un momento en que comienza a caer bruscamente, se dice que se ha llegado a la “tensión de corte”. En baterías de Pb/ácido de uso fotovoltaico el valor de la tensión de corte oscila entre 1.7 y 1.9 Volt/elem., según el régimen de descarga. La tensión de corte es aquella a la cual empiezan a producirse fenómenos no reversibles.

Intensidad de Corriente: Las baterías estacionarias deben suministrar intensidad durante tiempos más prolongados que las de arranque, por este motivo deben estar diseñadas de manera diferente a las de arranque, las cuales suministran grandes intensidades en segundos. La capacidad de suministrar intensidad está relacionada con la porosidad (superficie activa) de los electrodos y la concentración de electrolito.

Capacidad: La capacidad de una batería es la cantidad de carga que se puede extraer de la misma sin afectar a la tensión de manera grave. La capacidad se mide en Amperes por hora (Ah). Una batería es como un depósito de energía de volumen variable, de manera que este volumen disminuye si se vacía muy rápido y es mayor si la descarga se hace más lentamente. La energía que extraeremos de una batería depende de la intensidad de descarga y será mayor si esta intensidad es pequeña. Cuando en un etiquetado vemos expresada la capacidad en Ah debemos preguntarnos el número de horas en que se ha producido la descarga, normalmente para baterías de arranque este valor está estandarizado en 20 horas mientras que para baterías fotovoltaicas el estándar de comparación es de 100 horas.

La capacidad de una batería depende de la intensidad con la que descarguemos.

Ciclos de vida: Las baterías de las instalaciones fotovoltaicas están sometidas a ciclos de carga/descarga que pueden ser diarios, semanales, e incluso estacionales. La vida útil del acumulador depende de la periodicidad de los ciclajes y de su profundidad, es decir, de la cantidad de energía que se le extraiga en cada descarga. Las baterías de Pb/ácido no deben ser descargadas a diario más del

Capítulo 3 Diseño de sistemas fotovoltaicos

20% de su capacidad nominal dada para 100 horas, descargas diarias del 10% de su capacidad nominal alargan enormemente su vida útil. Ocasionalmente pueden llegar a descargarse hasta el 70% siempre que no se mantengan en este estado mucho tiempo, ya que el sulfato de plomo formado durante la descarga en la superficie de los electrodos se «envejece» (se agrupa en cristales mayores) y se vuelve difícilmente soluble durante el proceso de carga. Cuando una batería se descarga lo mejor es llevarla a su estado de máxima carga lo antes posible.

En una batería se acumula energía eléctrica en forma de energía química. Las más usadas son las estacionarias de plomo/ácido. La densidad de ácido disminuye durante la descarga haciendo que baje la tensión. Tensión y densidad son indicadores del estado de carga de una batería.

Las principales fuentes de averías del acumulador de Pb/ácido se deben a:

- Someterlos a sobrecargas prolongadas, esto es, una vez que se ha completado la carga continuar suministrándole corriente.
- Mantenerlos sin cargar durante largos periodos.
- No vigilar el nivel de electrolito y permitir que por falta de agua las placas entren en contacto con el aire ambiente.
- No inspeccionar y en su caso limpiar y proteger los terminales y la zona del cable en contacto con ellos.

El montaje y mantenimiento de una batería debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Montar la batería sobre soportes aislados y en una disposición que permita el acceso y manipulación de todos los bornes y vasos.
- b) Apretar bien los terminales y cubrirlos con una capa de vaselina neutra. Todo el conjunto de terminales puede cubrirse con una tapadera de material aislante para impedir contactos accidentales.

c) Colocarlas en lugares ventilados y donde no accedan niños ni personas ajenas o desconocedoras de su uso y peligros. No fumar dentro de la sala donde se encuentren situadas las baterías.

d) Comprobar mensualmente el nivel del líquido electrolito de los vasos de la batería. Mantenerlo entre el máximo y el mínimo añadiendo exclusivamente agua destilada.

e) Comprobar mensualmente con el densímetro la densidad de los elementos. Si ésta es diferente en más de 10 milésimas es necesario aplicar una carga de «igualación» que supone mantener una corriente de carga durante más de dos horas después de que la batería esté completamente cargada.

f) No conectar aparatos directamente a la batería; no usar las baterías estacionarias para arrancar vehículos.

En una instalación fotovoltaica es de vital importancia el uso de buenas baterías estacionarias, regular los procesos de carga aportando la intensidad óptima en función de su estado de carga y evitar sobrecargas prolongadas, impedir descargas diarias profundas, y prestarle las atenciones de mantenimiento dispuestas por el fabricante. Si una instalación fotovoltaica está bien definida y calculada, el elemento clave para su eficacia y duración es la batería.



Figura 3.7. Monobloc de 3 elementos estacionarios, 6 V entre bornes

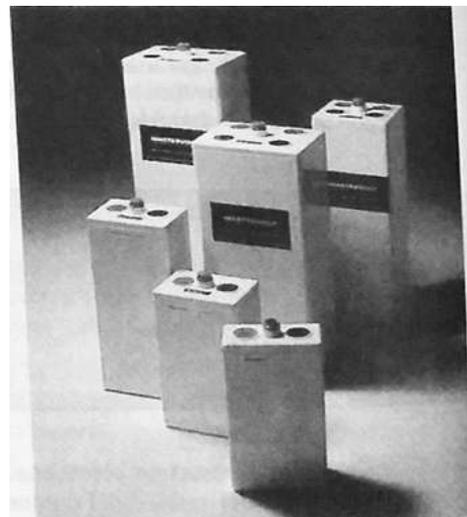


Figura 3.6. Vasos de batería de gel

3.2. Equipos de Consumo (Ortega, 2002)

En cuanto a los equipos de iluminación debemos utilizar fluorescentes o lámparas electrónicas de bajo consumo cualquiera que sea la tensión de trabajo. Al proyectar instalaciones pequeñas, para las que el usuario tenga un presupuesto limitado, el frigorífico es preferible a gas ya que es el electrodoméstico que más energía consume en una vivienda. La opción del frigorífico y congelador a gas siempre debemos planteárnosla, máxime en las instalaciones que vayan a incorporar grupo electrógeno a gas, cuando el suministro de este combustible no presente complicaciones.



Figura 3.8. Luminarias, reactancias y otros aparatos de consumo



Figura 3.10. Frigorífico de 60 litros a 12 V

Para 20° de temperatura ambiente consume 150 Wh al día. Marca Neste

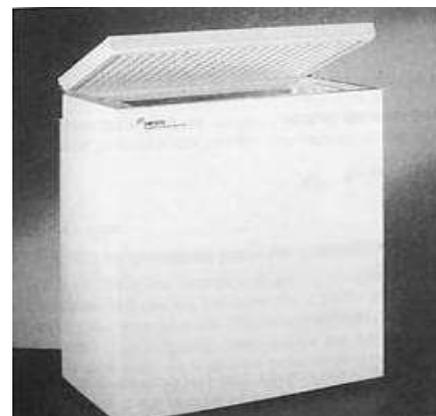


Figura 3.9. Lavadora por burbujas sin necesidad de programas de caliente

Para 5.5 Kg consume solo 120 Wh por lavado con una punta de potencia de 380 W. Marca Daewoo

Tabla 3.1. Potencia orientativa de algunas cargas de consumo

Aparato	Potencia (W)	Tiempo de Funcionamiento (Horas por día que funciona)
Lámparas electrónicas	5 a 25	0.5 a 8 según la estancia
Equipos fluorescentes	20 a 40	0.5 a 8
T.V. en color	45 a 100	2 a 4
Lavadora sin resistencia eléctrica	150 a 450	1 a 1.5 según modelo
Frigorífico de más de 120 litros	150 a 250	6 a 12*
Batidora	100 a 200	–
Taladro	450 a 700	–
Microondas	400 a 900	0.25
Vídeo	40 a 60	2 a 4
Ordenador personal	200 a 300	1 a 4

*El frigorífico siempre es una gran interrogante pues las horas de arranque real del compresor dependen de la temperatura ambiente y del modo de uso

3.3. Aplicaciones aisladas de la red Eléctrica (Ortega, 2002)

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas en donde se distinguen dos bloques:

1. *Aplicaciones espaciales.*

Sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como satélites de comunicaciones, la Estación Espacial Internacional, etc. La investigación en esta área propició el desarrollo de los equipos fotovoltaicos tal y como los conocemos en la actualidad.

2. *Aplicaciones terrestres.*

En este caso se usa la energía solar para pequeños consumos en el mismo lugar que se produce la demanda. Estos lugares están retirados de la red eléctrica o presentan orografías agrestes que hacen costosa la colocación del tendido eléctrico. No olvidemos que en el vasto planeta tierra los territorios que presentan estas características son la mayoría. Dentro de las aplicaciones aisladas tenemos:

- **Electrificación rural de viviendas y pequeños núcleos de población aislados.** Fue una de las primeras implantaciones ya que el costo de llevar la red, a veces por kilómetros, para suministrar muy poca potencia es muy elevado en comparación al costo de un pequeño o mediano sistema fotovoltaico. Las necesidades básicas a cubrir son: la iluminación, el pequeño bombeo de agua, el uso de pequeños electrodomésticos (equipos audiovisuales, batidora, etc.)



Figura 3.11. Instalación Solar Autosuficiente

En esta imagen describe a la vivienda en donde no tiene que estar conectada a la red, produciendo por sí sola la electricidad necesaria para su consumo.

- **Electrificación de locales para servicios a la comunidad en países poco electrificados.** En escuelas, centros de atención médica y hospitalaria, edificios religiosos, y otras edificaciones de uso público la energía solar fotovoltaica puede permitir la iluminación, la conservación de alimentos y medicamentos, el uso de aparatos eléctricos médicos o educativos, la aplicación de sistemas informáticos, etc. La instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema que permite generar corriente eléctrica sin conexión a la red eléctrica, obteniendo la energía de la captación de la luz solar.

Capítulo 3 Diseño de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas de instalación fotovoltaica aislada tienen que contar con unos mínimos elementos para poder proceder a la instalación y uso de la energía solar como energía eléctrica.

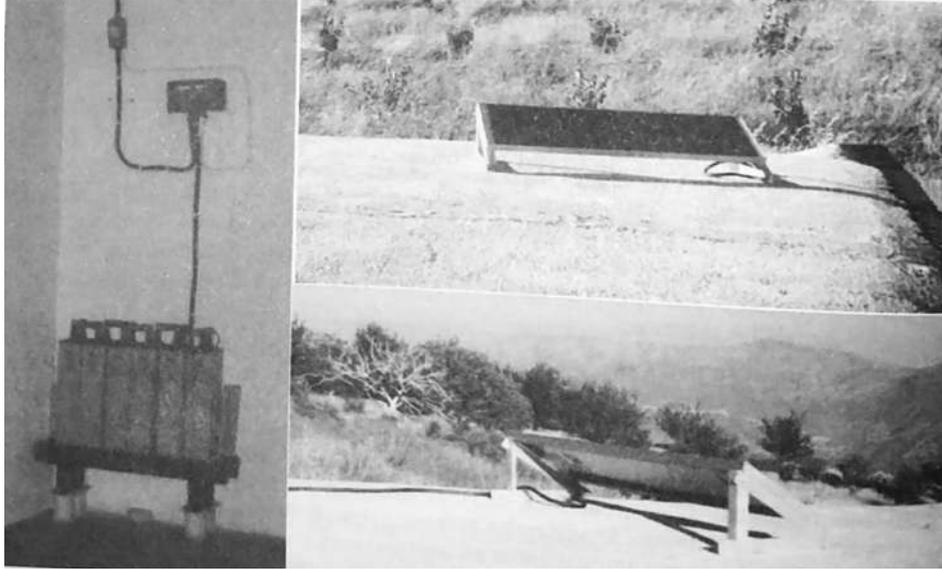


Figura 3.12. Pequeña instalación fotovoltaica

En la figura 3.12 se puede observar al exterior un módulo montado sobre estructura de aluminio anodizado, en el interior un conjunto de seis vasos conformando una batería de 12 volts. Se observa también el regulador de carga y la caja de fusibles.



Figura 3.13. Vivienda electrificada con un generador fotovoltaico

- **Suministro eléctrico de alojamientos ganaderos e iluminación de naves agrícolas en lugares aislados.** Son pequeños o medianos sistemas destinados fundamentalmente a facilitar el trabajo y a ampliar la productividad aumentando las horas de luz. El bombeo de agua hasta tanques acumuladores situados encima de la edificación suele ser importante en el caso de los alojamientos ganaderos. También pueden suministrar electricidad a pequeñas herramientas. Para los ponederos de las gallinas se demanda iluminación para aumentar la productividad, en granjas de vacuno se pueden alimentar las máquinas ordeñadoras.

- **Iluminación pública.** Son sistemas autónomos integrados, el mismo báculo de la farola sirve de soporte a los paneles y la batería se aloja en un compartimiento adosado detrás de los módulos o en el basamento de la farola. El conjunto se completa incorporando la regulación de carga de batería y el control de encendido y apagado automático de la luminaria. Su dimensionado se hace para soportar períodos nublados de al menos 5 días sin decaimiento de la iluminación.

- **Sistemas de bombeo de agua.** La necesidad de elevación de agua en lugares remotos, menos alejados de la red eléctrica, puede ser cubierta en la actualidad con la tecnología desarrollada y comercializada dentro del campo de la energía solar fotovoltaica.

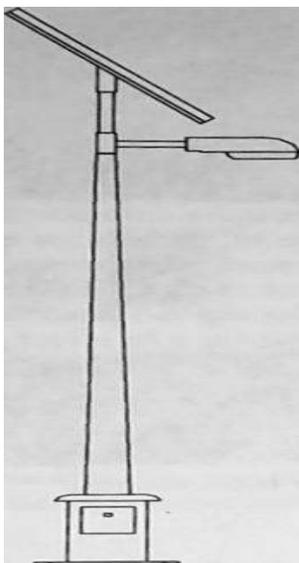


Figura 3.15. Diseño de Farola



Figura 3.14. Bombeo fotovoltaico de pequeño caudal

Entre las posibles aplicaciones se encuentran las siguientes:

- Suministro de agua para ganado.
- Suministro de agua para riego.
- Alimentación eléctrica de automatismos de riego.
- Suministro de agua potable en viviendas o núcleos rurales.
- Circulación de agua en sistemas de calefacción.
- Fuentes decorativas.
- Etcétera.

La producción de agua bombeada suele estar en fase con las necesidades de consumo. Es decir, normalmente cuando más se necesita el agua es cuando hace más sol, Y precisamente por ello es cuando tenemos más producción.

- Estaciones de tratamiento y depuración de aguas de consumo o residuales.

Los sistemas de bombeo fotovoltaico (al igual que los alimentados mediante energía eólica) son muy útiles allí donde no es posible acceder a la red general de electricidad o bien supone un precio prohibitivo. Su coste es generalmente más económico debido a sus menores costes de operación y mantenimiento, y presentan un menor impacto ambiental que los sistemas de bombeo alimentados mediante motores de combustión interna, que tienen además una menor fiabilidad.

Se puede suministrar electricidad para el funcionamiento de los controles de calidad, para el bombeo de trasiego de agua o lodos, para el accionamiento de válvulas automáticas, para aparatos removedores, para la automatización de los procesos de adición de sustancias químicas, para los sistemas de telemetría y de control a distancia, etc.



Figura 3.16. Bombeo fotovoltaico Mediano caudal para riego

- **Balizamiento y señalización.** Faros, señalización aérea, marítima, de obras de carretera, etc., son aplicaciones usadas en la actualidad.

- **Sistemas de protección catódica.** La corriente y la tensión continua generada por los paneles se utilizan para oponerse a la producida por procesos de óxido-reducción de metales evitando su corrosión electroquímica. Los gaseoductos y oleoductos confían en estos sistemas para sus protecciones anticorrosión y para la alimentación eléctrica de las estaciones de control y de telemetría.

- **Telecomunicaciones.** Telefonía de autopistas, telefonía rural, telefonía móvil, repetidores de radio, están siendo alimentados ya por tecnología fotovoltaica.

- **Sistemas de control de parámetros medioambientales.** Es importantísima la labor que puede realizar la energía fotovoltaica suministrando electricidad para el control de cuencas hidrográficas, el funcionamiento de cámaras de televisión para detección y aviso de incendios forestales, la toma de muestras y análisis de contaminación ambiental, los sistemas de adquisición de datos climáticos para su posterior análisis y estudio, etc.

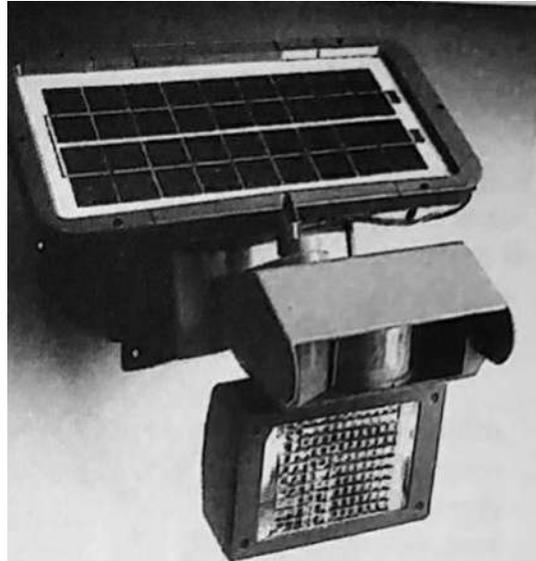


Figura 3.17. Sistema de alarma con alimentación fotovoltaica

3.4. Aplicaciones conectadas a la Red Eléctrica (Ortega, 2002)

Son en la actualidad sistemas implantados como piloto con apoyos públicos. Muchos de ellos se integran en edificios singulares como bibliotecas, centros de investigación y difusión cultural de ciencias y técnicas medioambientales, edificios universitarios, etc. Se espera de los sistemas conectados a la red un buen grado de desarrollo en la medida en que los costos se reduzcan y se incentive públicamente su implementación dados los beneficios medioambientales y sociopolíticos que pueden producir. La evolución del precio de la electricidad producida de modo convencional y sus gravámenes fiscales a modo de ecotasas por emisiones al planeta, deberían ser factores coadyuvantes que beneficiarán el necesario inmediato desarrollo de estas aplicaciones. Las instalaciones típicas conectadas a red son:

1. Viviendas conectadas a la red. Llevan un sistema de conexión de manera que la energía producida en el campo fotovoltaico se inyecta en la red eléctrica. El costo final para el usuario es el balance entre el valor de la energía consumida y el valor de la energía entregada. Las instalaciones incorporan contadores de entrada y salida de energía. Las características de la electricidad entregada deben

coincidir y acoplarse con las de la red, por lo que deben de disponer de inversores de corriente CD/CA con salida en onda senoidal de igual frecuencia que la de la red.



Figura 3.18. Instalación conectada a la red eléctrica

1. Edificaciones conectadas a la red. En las edificaciones son una de las últimas aplicaciones desarrolladas para el uso de la energía fotovoltaica. La rápida evolución en los productos de este tipo ha permitido el uso de los módulos como material constructivo en cerramientos, cubiertas y fachadas de gran valor visual. Además, la energía fotovoltaica es el sistema de energías renovables más adecuado para la generación de electricidad en zonas urbanas sin provocar efectos ambientales adversos.

La mayoría de estas instalaciones se encuentran ubicadas en tejados o en la parte superior exterior de la vivienda y edificaciones, últimamente se están utilizando en muros de edificaciones donde se reemplaza el vidrio, esto debido a que el sol incide sobre ellas, logrando obtener el mayor aprovechamiento en su rendimiento hacia los paneles solares.



Figura 3.19. Ejemplo de un edificio fotovoltaico

La fachada está conformada por paneles fotovoltaicos.

2. Centrales fotovoltaicas y huertos solares. Son recintos en donde se encuentran un número determinado de instalaciones fotovoltaicas de diferentes propietarios con el fin de vender la electricidad producida a la compañía eléctrica con la cual se haya establecido el contrato. La energía vendida puede estar a nombre de una persona, de una sociedad, etc. Cada instalación tiene su propietario y todas ellas se ubican en el mismo lugar.



Figura 3.20. Huerto Solar



Figura 3.21. Viviendas conectadas a la red Foto: ATERSA



Figura 3.22. Cobertizo de aparcamiento conectado a la red eléctrica

Capítulo 4

Sistema de Riego Alimentado por Energía Fotovoltaica

4.1. Consideraciones Generales

En la actualidad el uso del agua potable es fundamental para la realización de tareas domésticas, comerciales y también industriales. Si nos adentramos a zonas urbanas, hablando de manera general, su uso es proporcional a la cantidad de personas que habitan en un área determinada, y por ende, los costos y la problemática para la adquisición es más complicada, generándose descontento en familias y empresas, en cambio, si se compara en zonas rurales, dado a la zona per cápita es notorio su bajo costo y las ventajas por las cuales su uso es discontinuo sin interrupciones de terceros.

4.1.1. Aplicaciones y usos del Agua

La mayoría de su uso es agrícola, por ejemplo a su ganado y riegos de cultivo. Pero para la utilización de lo ya mencionado requiere energía que lo haga funcionar. Es por ello que este proyecto se centra en el uso para sistemas de riego mediante la utilización de energía fotovoltaica, la unión de estos dos componentes facilitarían la vida del campesino en varios aspectos como son:

Costos: Comparando la utilización de la energía fotovoltaica con la empresa que la suministra, su gasto mensual en el recibo se reduciría al 100%, ya que la bomba

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

que operaría para el abastecimiento del riego será operado totalmente con paneles fotovoltaicos.

Vida útil: La instalación fotovoltaica cuenta con una vida útil de hasta 20 años, dependiendo del tipo de paneles que se utilizarían para su instalación y el mantenimiento que se le dé a este.

Impacto Ambiental: Su entorno se favorecería si se utiliza el riego con fuentes renovables, dado en la era en el que estamos de la innovación es recomendable que se utilicen este tipo de tecnologías. Es importante recordar que tras los años, el planeta ha sufrido cambios negativos y uno de ellos es el calentamiento global, consecuencias por la utilización de grandes cantidades de combustibles fósiles, causando afectaciones en contaminación general. Por lo que la utilización de estas tecnologías sin importar el volumen, beneficia en grandes rasgos a la energía limpia, sin contaminantes que provoquen consecuencias en mediano y largo plazo.

El acceso al agua potable en áreas rurales es muy difícil, por lo que el empleo de sistemas fotovoltaicos para el riego sería una opción viable en muchos de los casos antes mencionados. En lugares de nuestro estado donde son la mayoría de climas calurosos es una opción ideal para su instalación ya que la irradiación que impacta al suelo es proporcional para la cantidad de energía que suministre los paneles fotovoltaicos, y la época en la que hay más demanda de agua es en donde la cantidad de calor es mayor comparado con otras épocas, por lo cual es una opción ideal para su utilización de energías fotovoltaicas aprovechando al máximo su irradiación.

Tabla 4.1. Ventajas y desventajas del uso de estas tecnologías

Ventajas	Desventajas
No consumen combustible	Inversión inicial relativamente alta
Larga vida útil (de 15 a 20 años)	Acceso al servicio técnico limitado
Impacto Ambiental mínimo	Producción de agua variable dependiendo las condiciones meteorológicas
Bajos costos de operación y mantenimiento	

En el sistema de riego fotovoltaico la demanda de agua se considera por día por lo que se tomaría en cuenta el uso promedio que se le dé por el usuario. Por lo que tomaremos en cuenta los usos del agua como: riego de parcelas de cultivo en general, abrevaderos para ganado. La desventaja sería la escasez de agua del pozo por temporada, por lo que se requerirá una profundidad considerable para el abastecimiento del riego que demande el campo.

4.1.2. Características del Bombeo

El volumen de agua requerido diariamente no es suficiente indicador del tamaño y costo del sistema de bombeo. También debe conocerse la carga dinámica total, CDT (profundidad de bombeo más la altura de descarga más la carga de fricción en la longitud total de la tubería). Por ejemplo, se requiere más energía para extraer un metro cúbico de agua con una CDT de 10 metros que con una CDT de 5 metros. Una buena indicación del tamaño y costo es el ciclo hidráulico definido como el producto del volumen diario, expresado en metros cúbicos, m^3 (1,000 litros = $1 m^3$), por la CDT, expresada en metros, m [$(m)(m^3)$]. Con estas unidades, el ciclo hidráulico se expresa en unidades de m^4 . Por ejemplo, $5 m^3$ a bombear con una CDT de 15 m dan un ciclo hidráulico de $75 m^4$. Así mismo, $15 m^3$ a bombear con una CDT de 5 m también dan $75 m^4$. En ambos casos la energía requerida es aproximadamente la misma y el costo de estos sistemas es muy similar. ¿Cuándo 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 $1,500 m^4$. 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.

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando 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 la potencia entregada

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

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

Bombas centrífugas: Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie y son capaces de bombear el agua a 60 metros de Carga Dinámica Total (CDT), o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Las bombas de succión superficial se instalan a nivel del suelo y tienen la ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros.

De otra manera Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor.



Figura 4.1. Bomba centrífuga superficial (SolarRam)

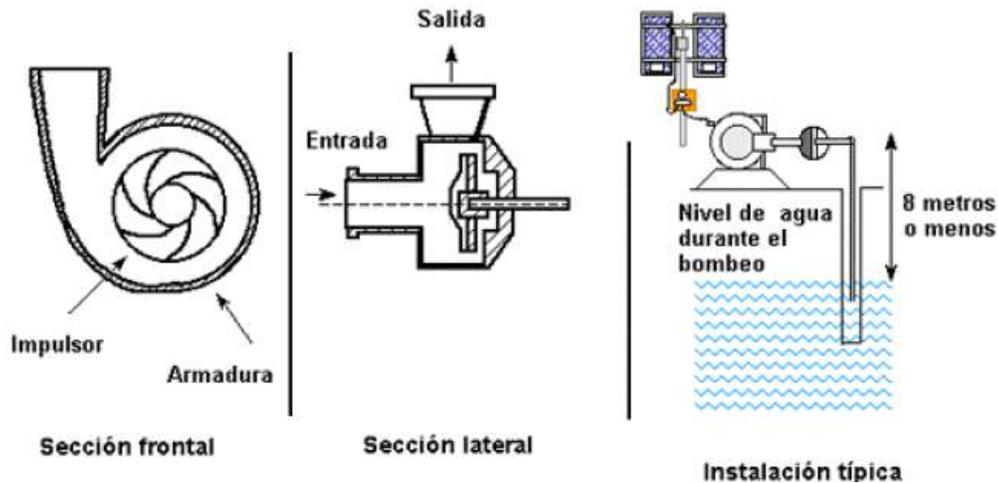


Figura 4.2. Esquema de una bomba centrífuga superficial

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple o de etapas.

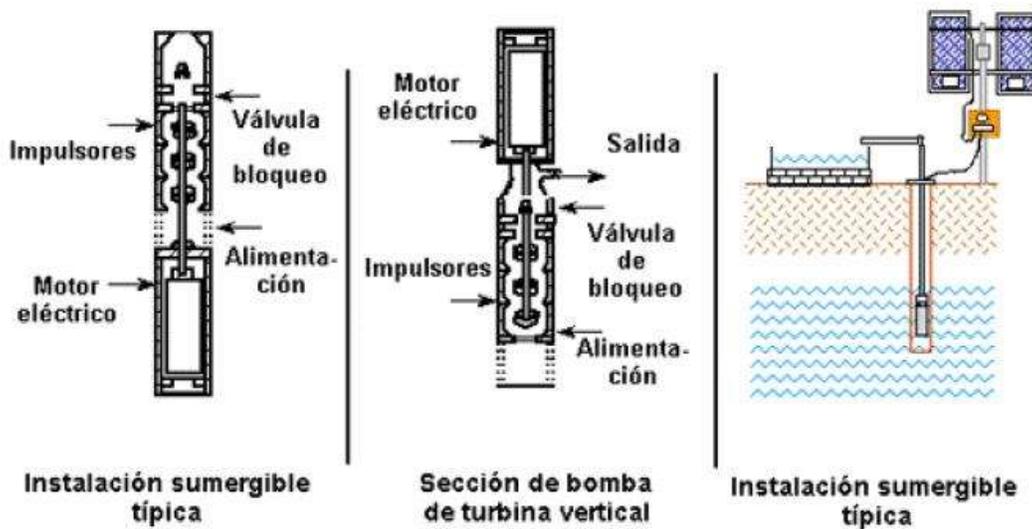


Figura 4.3. Esquema de una bomba centrífuga sumergible

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

Todas las bombas sumergibles están selladas y tiene el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren sobrecalentamiento y se queman.



Figura 4.4. Vista interna de una bomba sumergible (Grundfos)



Figura 4.5. Bombas centrífugas sumergibles (Solar Jack)

Bombas Volumétricas: Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombeada es mayor.

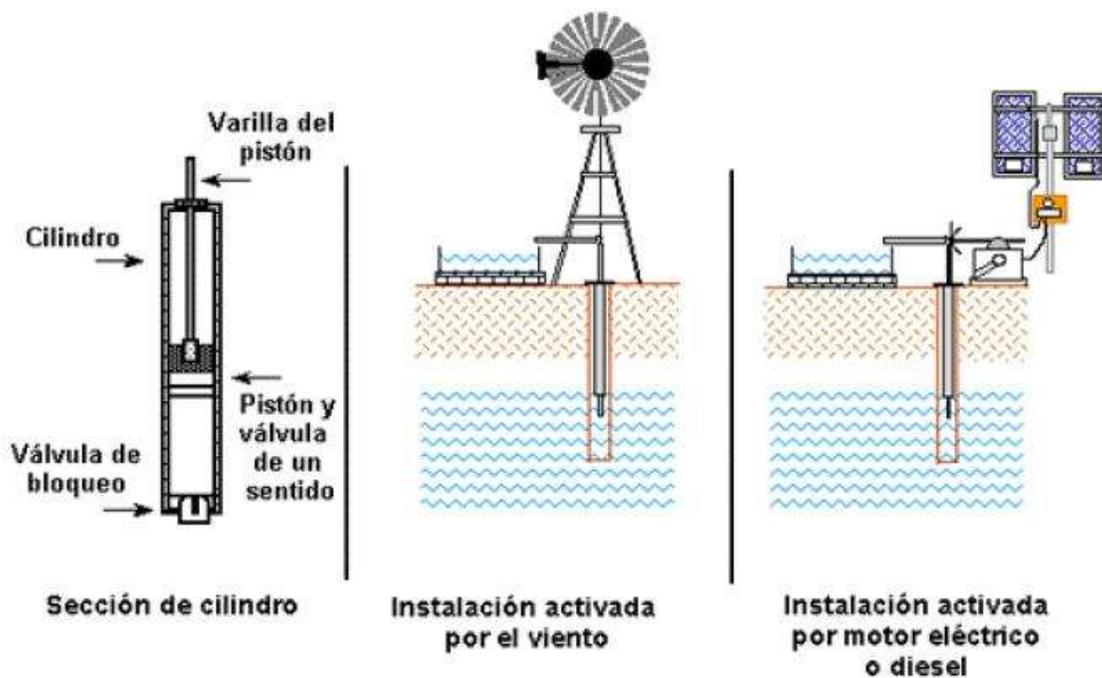


Figura 4.6. Esquema de una bomba volumétrica de cilindro

Bombas de cilindro: Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del

pozo entra a su cavidad y cuando éste sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia del el arreglo fotovoltaico.

Bombas de diafragma: Estas bombas desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo, dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas proveen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y de superficie. Cabe mencionar que en la actualidad existen una gran variedad de estas bombas, pues operan para diferentes profundidades y necesidades, desde uso doméstico para elevar el agua contenida del pozo a un tinaco, hasta uso agrícola y riego donde proviene la necesidad para abastecer una zona de cultivo.

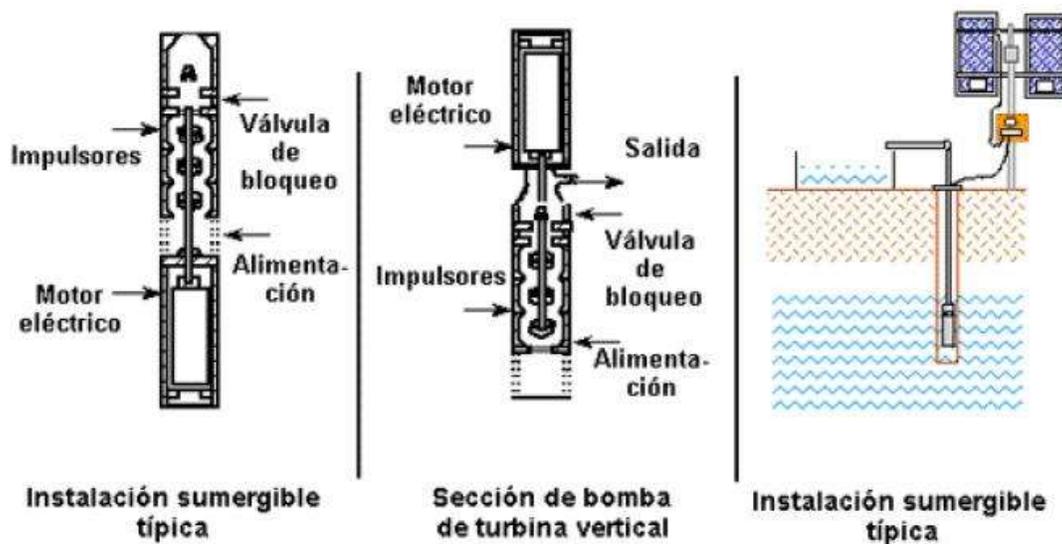


Figura 4.7. Esquema de una bomba de diafragma sumergible



Figura 4.8. Bombas de diafragma superficiales (Shurflo)

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de los diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aún, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso.

4.1.3. Disponibilidad del recurso solar

Nuestro país cuenta con un excelente recurso solar en casi todo su territorio incluyendo nuestro estado. Además de que en la mayor parte del país los días son largos y despejados durante el verano, esto incluye en el campo donde los días que más se requiere el recurso del agua son aquellas donde el sol es más intenso.

Actualmente se cuenta con mapas y tablas donde se indica los niveles de insolación mensual promedio para diferentes zonas geográficas. La insolación es la energía proveniente del sol. Su unidad de insolación es el KWh/m^2 . En promedio se debe contar con una insolación por encima de los 3 KWh/m^2 para la realización de esta instalación.

Tabla 4.2. Irradiación global en la República Mexicana

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Ags	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4	4	7.2	5.6
BCS	La Paz	4.4	5.5	6	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
BC	Mexicali	4.1	4.4	5	5.6	6.6	7.3	7	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
BC	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Mich	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9

Obtenida por R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. 1997. Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999. (econotecnia, 2012)

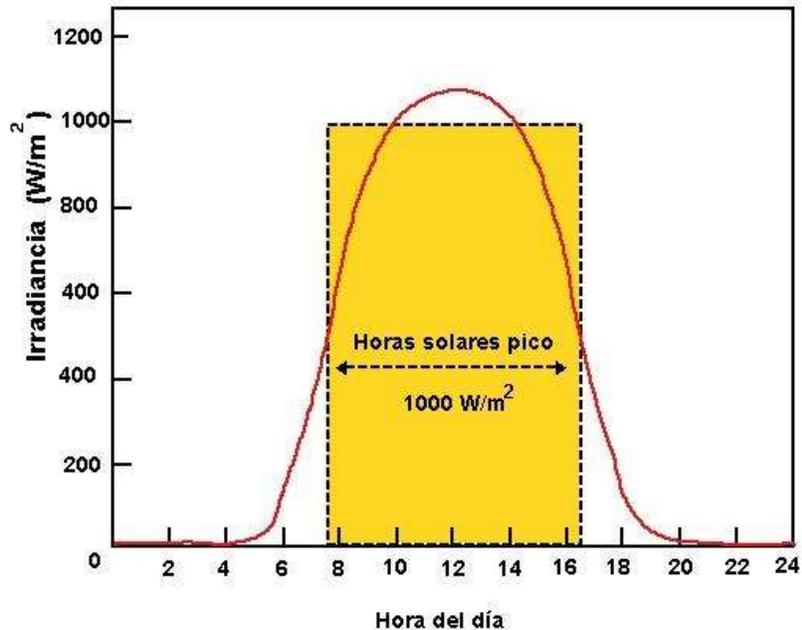


Figura 4.9. Niveles de Irradiación por horas del día

Cabe mencionar que la tabla anterior muestra la Hora Solar Pico (HSP) en donde:

- La radiación en el Sol es de 63,450,720 W/m².
- La radiación que recibe nuestro planeta es sólo de 1,353 W/m² (Constante Solar).

4.2. Otras Consideraciones

En la instalación de nuestro sistema de riego que utiliza energía fotovoltaica dependería en la zona que se desee colocar, principalmente de las personas que lo requerirían al saber que hay nuevas tecnologías en las que se pueda facilitar la obtención del agua del pozo. Además es importante que el instalador sea fácilmente localizable en caso de requerir sus servicios. El proveedor e instalador deberán demostrar su experiencia, capacidad técnica y solvencia moral.

- La aceptación de los usuarios de una tecnología relativamente nueva y desconocida. Los usuarios deben entender la capacidad de estos sistemas, sus limitaciones, sus ventajas, requisitos de mantenimiento y principios de operación. Involucre a los usuarios desde el principio de la realización del proyecto. Esto les permitirá asimilar mejor la nueva tecnología así como les reforzará su sentido de responsabilidad.
- La vigilancia adecuada. La naturaleza y portabilidad de estos sistemas de riego solar los hacen ideales para aplicaciones remotas y desatendidas, pero también los hacen vulnerables al robo y vandalismo que hay actualmente.
- El impacto ambiental. La energía solar y su tecnología no contribuyen al deterioro de la calidad del aire ni del agua, no producen ruido y no son peligrosos para la fauna y flora local. Esto en sí mismo es para muchos usuarios de gran valor.

4.3. Orientación Solar

Además de las condiciones atmosféricas hay otro parámetro que afecta radicalmente a la incidencia de la radiación sobre un captador solar, este es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año. Se dice "aparente" porque en realidad la Tierra es la que está girando y no el Sol. La Tierra tiene dos tipos de movimientos: uno alrededor de su propio eje (llamado movimiento rotacional) el cual da lugar al día y la noche y el otro; alrededor del sol (llamado movimiento traslacional) siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

lugar a las estaciones del año. Es importante verificar la colocación de estos paneles para su máximo aprovechamiento del Sol.

En otras palabras Todos sabemos que la Tierra se mueve alrededor del Sol, pero para nosotros en la Tierra, es el Sol quien parece moverse alrededor de la Tierra, del Este al Oeste. Esto es lo que llamamos movimiento aparente del Sol. Varía de estación a estación. Varía aún más cuando el lugar de observación está a una latitud alta.

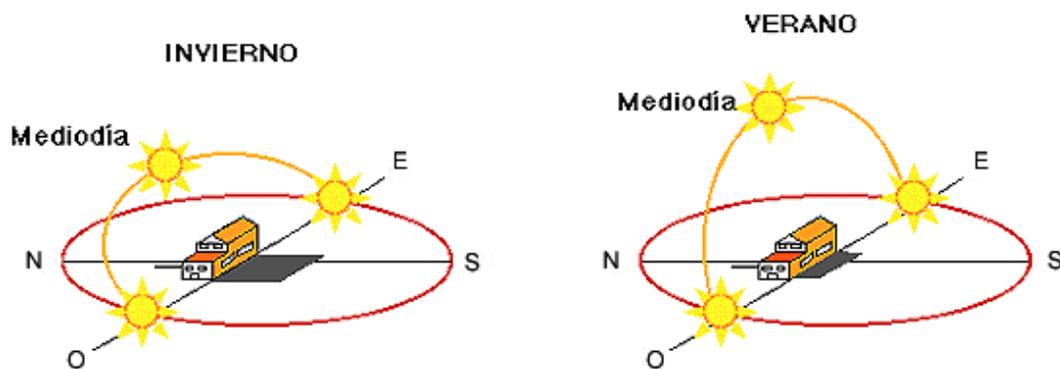


Figura 4.10. La trayectoria del Sol a lo largo del día en diferentes épocas del año

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 solo se puede conseguir si las estructuras de montaje del arreglo se mueven siguiendo 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 un 25%.

En el caso de que no se tenga un seguidor solar, el arreglo se monta en una estructura fija como se muestra en la figura 4.11. 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 cual se requiere que los arreglos fijos se coloquen inclinados (respecto de la horizontal) viendo hacia el Sur.

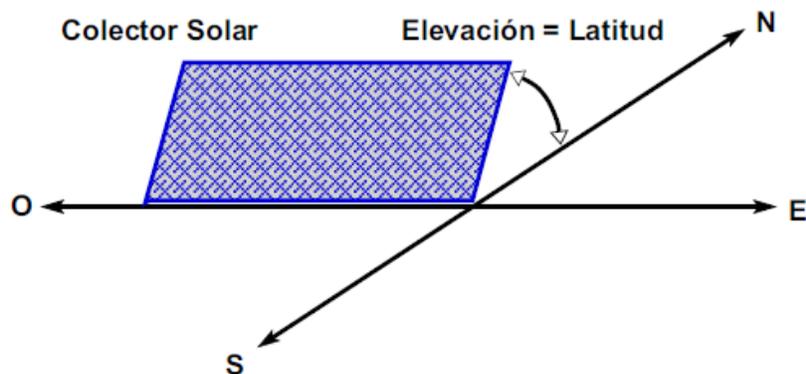


Figura 4.11. Orientación de una estructura fija para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año

4.4. Arreglos Fotovoltaicos

Es una forma simple de realizar los tipos de cálculos necesarios para la instalación del módulo fotovoltaico, asegurándose la cantidad necesaria para obtener la energía proveniente de este. La potencia máxima o tamaño de los módulos comerciales varía entre 250 y 300 Watts. El voltaje V_p de la mayoría de los módulos fluctúa entre los 15 Volts (30 celdas en serie) y 17.5 Volts (36 celdas en serie). Cada módulo tiene en su parte posterior una placa del fabricante con el modelo y las especificaciones eléctricas. El cálculo que hacemos para determinar el número de paneles solares necesarios para un hogar o comercio nos arroja como resultado un determinado número de KWh generados por día. Teniendo como base el dato de nuestro consumo podemos saber cuanto es lo que necesitamos generar. Por ejemplo, la placa en la parte posterior del módulo SLX60CM, cuyas características se mencionan en la siguiente tabla:

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

Tabla 4.3. Especificaciones del Módulo Fotovoltaico SLX60CM

Panel solar con celdas de 156mm de silicio monocristalino					
Potencia	245W	250W	255W	260W	265W
Condiciones de prueba	STC	STC	STC	STC	STC
VoC	37.74 V	37.92 V	38.10 V	38.28 V	38.46 V
Vmpp	30.76 V	30.96 V	31.16 V	31.36 V	31.56 V
Isc	8.58 A	8.62 A	8.64 A	8.67 A	8.70 A
Imp	7.96 A	8.07 A	8.18 A	8.29 A	8.40 A
Pmax	245 W	250 W	255 W	260 W	265 W
Eficiencia del módulo	15.05%	15.37%	15.72%	16.08%	16.46%

De la tabla anterior, cada una de las columnas representa la capacidad de potencia que puede generar en la instalación considerando la eficiencia, corriente y voltaje máximo como componentes que determinan la selección de dicho módulo.

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, corriente y voltaje modificados de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo.

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.

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

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.

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

Los paneles solares producen energía eléctrica según su tamaño, eficiencia y cuánta luz solar reciban. Para los particulares y negocios pequeños, los paneles para techo son una opción típica.

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

1. Cantidad de agua necesaria (Lt/día): Suponiendo el área determinada se requerirá una cantidad aproximadamente de 15,000 Lt/día.

Tabla 4.4. Niveles de Insolación mensual en el Municipio de Huetamo. Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
5.17	6.18	7.08	7.23	6.77	6.18	6.28	6.09	5.56	5.44	5.27	4.88

Considerando el mes de Abril, con un nivel de insolación pico del año.

2. Insolación del sitio (KWh/día): De la tabla anterior, se anota el valor de insolación en horas pico por día correspondiente al mes crítico de bombeo en la casilla 2 de la hoja de cálculo.

3. Régimen de bombeo (Lt/hora): Calcule este valor con la información anterior. Se utilizará la fórmula para calcular el caudal (litros/hora):

$$Q = \frac{L}{HSP}$$

4. Nivel estático (m): La distancia vertical medida desde el nivel del suelo hasta el espejo del agua cuando no hay una bomba operando.

5. Abatimiento (m): La distancia vertical medida desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba. Con frecuencia este valor se obtiene de pruebas realizadas durante un aforo.

6. Altura de descarga (m): Distancia vertical medida desde el nivel del suelo hasta el punto donde el agua es descargada.

7. Carga estática (m): Calcule la distancia vertical del recorrido del agua desde el nivel más bajo hasta la altura de descarga a partir de las casillas 4, 5 y 6 de la hoja de cálculo.

8. Recorrido adicional de tubería (m): Este es el resto de la tubería no incluida en el cálculo de carga estática. Tome en cuenta las distancias horizontales del recorrido de la tubería.

9. Recorrido total de tubería (m): Es la longitud total de las tuberías por donde pasa el agua. Calcule este valor a partir de las casillas 7 y 8 de la hoja de cálculo.

10. Factor de fricción (decimal): Esta es la presión causada por la fricción del agua al pasar por las tuberías.

Puede calcularse de varias maneras. Si no cuenta con suficiente información con datos del fabricante, utilizaremos el valor por omisión de 2% del largo de la tubería, expresado como 0.02 en esta casilla de la hoja de cálculo. La información para la selección del factor de fricción se encuentra en los apéndices C-1 y C-2 dependiendo el material a utilizar.

11. Carga por fricción (m): Calcule a partir de las casillas 9 y 10 de la hoja de cálculo. Es una compensación de las pérdidas por fricción causadas por el paso del agua por la tubería rugosa.

12. Carga estática (m): Anote el mismo valor obtenido en la casilla 7 de la hoja de cálculo.

13. Carga dinámica total (m): Calcule esta carga expresada en metros a partir de las casillas 11 y 12 de la hoja de cálculo. Es la suma de la carga causada por la fricción y la carga estática.

$$CDT = CE + CD$$

$$CE = N_E + A + H_D$$

$$CD = Fr \cdot R_T$$

Con la información obtenida hasta la casilla 13 de la hoja de cálculo., es posible seleccionar la bomba adecuada. La información de datos por el fabricante de la bomba seleccionada se encuentra en el apéndice B.

14. Volumen de agua necesario (Lt/día): Anote el valor de la casilla 1 de la hoja de cálculo.

15. Carga dinámica total (m): Anote el valor obtenido en la casilla 13 de la hoja de cálculo.

16. Factor de conversión: El factor 367 Lt-m/Wh se usa para calcular la energía en (wats – hora) necesaria para levantar un litro de agua en una distancia de un metro. Este valor es una constante física.

17. Energía hidráulica (Wh/día): Calcule la energía necesaria para elevar el agua a partir de las casillas 14, 15 y 16 de la hoja de cálculo.

18. Eficiencia de la bomba (decimal): Es la proporción de energía eléctrica transformada a energía hidráulica. Los rendimientos diarios varían con la altura dinámica total, la insolación solar y el tipo de bomba. La eficiencia se encuentra en la hoja de datos del fabricante que se encuentra en el apéndice B. Si no contiene esta información, se usarán los valores por omisión presentados a continuación.

Tabla 4.5. Valores por omisión de eficiencias de sistemas de bombeo

Carga Dinámica Total (m)	Tipo de Sistema de Bombeo	Eficiencia (%)
5	Centrífuga de superficie	25
20	Centrífuga de superficie	15
20 al 100	Centrífuga sumergible	34
80 al 150	Desplazamiento positivo	35
Más de 100	Desplazamiento positivo (de palanca)	45

19. Energía del arreglo FV (Wh/día): Calcule la energía necesaria para la operación de este sistema a partir de las casillas 17 y 18 de la hoja de cálculo.

20. Voltaje nominal del sistema (V): Anote el voltaje a que debe funcionar el sistema durante el día. Este es el voltaje de admisión en el controlador o inversor.

21. Carga eléctrica (Ah/día): Calcule la producción del arreglo fotovoltaico expresado en Ampere-horas / día a partir de las casillas 19 y 20 de la hoja de cálculo.

$$C = \frac{E_{fv}}{V_{sis}}$$

$$E_{fv} = \frac{E_h}{e_{sis}}$$

$$E_h = \frac{L \cdot CDT}{367}$$

22. Carga eléctrica (Ah/día): Anote el valor de la casilla 21 de la hoja de cálculo.

23. Factor de rendimiento del conductor (decimal): Los conductores eléctricos bien seleccionados tienen una eficiencia aproximada de 95% en los sistemas de bombeo solar.

24. Carga eléctrica corregida (Ah/día): Carga eléctrica requerida después de considerar las pérdidas consideradas en la casilla anterior para satisfacer la carga diaria.

25. Insolación (KWh/m²-día): Anote el valor de la casilla 2 de la hoja de cálculo.

26. Corriente del proyecto (A): Calcule la corriente necesaria para satisfacer la carga del sistema del mes de diseño a partir de las casillas 24 y 25 de la hoja de cálculo.

$$I = \frac{C_c}{HSP}$$

$$C_c = \frac{C}{\eta}$$

27. Corriente del proyecto (A): Anote el valor de la casilla 26 de la hoja de cálculo.

28. Factor de reducción del módulo (decimal): Los módulos fotovoltaicos pierden eficiencia debido a las condiciones de trabajo en el campo. Esto se debe del efecto de temperatura, degradación con el tiempo, polvo en la superficie, cargas desiguales y algunas condiciones más. Suponga un 95% de eficiencia en módulos cristalinos, policristalino y 70% en módulos amorfos.

29. Corriente ajustada del proyecto (A): Calcule la corriente mínima del arreglo necesaria para activar el sistema de riego a partir de las dos casillas anteriores.

Seleccione un módulo fotovoltaico y anote sus características físicas en las casillas del bloque "Información del módulo fotovoltaico". El módulo seleccionado se encuentra en apéndice A. Continúe en la casilla 30.

30. Corriente I_{mp} del módulo (A): Anote la corriente a máxima potencia I_{mp} proporcionada por el fabricante del módulo fotovoltaico.

31. Módulos en paralelo: Este cálculo proporciona el número de módulos que irán conectados en paralelo. Muy importante: Si el valor encontrado no es un número entero, anote el número entero inmediatamente mayor.

$$N_p = \frac{I_A}{I_{mp}}$$

$$I_A = \frac{I}{0.85}$$

32. Voltaje nominal del sistema (V): Anote el valor de la casilla 20 de la hoja de cálculo.

33. Voltaje V_{mp} del módulo (V): Encuentre el voltaje de máxima potencia V_{mp} del módulo de la información proporcionada por el fabricante.

34. Módulos en serie: Calcule el número de módulos conectados en serie necesarios para producir la tensión del sistema. Muy importante: Si el valor encontrado no es un número entero, anote el número entero inmediatamente superior.

35. Módulos en paralelo: Anote el valor de la casilla 31 de la hoja de cálculo.

36. Total de módulos: Calcule el número total de módulos en el arreglo. Es el producto del número de módulos en paralelo por el número de módulos en serie. Asegúrese de que sea un entero múltiplo del número de módulos en paralelo.

37. Corriente Imp del módulo (A): Anote el valor la casilla 30 de la hoja de cálculo.

38. Voltaje Vmp del módulo (V): Anote el valor de la casilla 33 de la hoja de cálculo.

39. Tamaño del arreglo fotovoltaico (W): Calcule la potencia del arreglo fotovoltaico a partir de las tres casillas anteriores.

$$FV = N_T \cdot I_{mp} \cdot V_{mp}$$

$$N_T = N_P \cdot N_S$$

$$N_S = V_{sis} \cdot V_{mp}$$

40. Módulos en paralelo: Anote el valor de la casilla 31 de la hoja de cálculo.

41. Corriente Imp. Del módulo (A): Anote el valor de la casilla 30 de la hoja de cálculo.

42. Voltaje nominal del sistema (V): Anote el valor de la casilla 20 de la hoja de cálculo.

43. Factor de rendimiento del sistema (decimal): Anote el valor de la casilla 18 de la hoja de cálculo.

44. Factor de conversión: Mismo valor de la casilla 16 de la hoja de cálculo.

45. Insolación del sitio (horas-pico/día): Anote el valor de la casilla 2 de la hoja de cálculo.

46. Factor de reducción del módulo (decimal): Anote el número en la casilla 28 de la hoja de cálculo.

47. Carga dinámica total (m): Anote el número de la casilla 13 de la hoja de cálculo.

48. Agua Bombeada (Lt/día): Esta es la cantidad de litros de agua bombeada en un día con este diseño. Calcule a partir de los valores de las casillas 40 hasta la 47 de la hoja de cálculo.

$$Q_{día} = \frac{Np \cdot I_{mp} \cdot V_{sis} \cdot e_{sis} \cdot 367 \cdot HSP \cdot 0.85}{CDT}$$

49. Agua Bombeada (Lt/día): Anote el valor de la casilla anterior de la hoja de cálculo.

50. Insolación del sitio (horas-pico/día): Anote el valor de la casilla 2 de la hoja de cálculo.

51. Régimen de bombeo (Lt/h): Calcule el régimen de bombeo de agua y compárelo con la capacidad de la fuente de agua y con el valor obtenido en las tablas de determinación del mes crítico de bombeo.

$$Q = \frac{Q_{día}}{HSP}$$

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

Dados los cálculos llevados a cabo en un formato utilizado para estimar cantidades y variabilidades considerables para la instalación de nuestro sistema de riego-fotovoltaico realizado por mí para darle mayor facilidad y manipulación de interpretación de datos de interés y además son estimaciones aproximables para la realización de una instalación en caso de que se requiera llevar a cabo este proyecto a la práctica en beneficio de la comunidad, zona u organismo que lo necesite.

Hoja 1:

Considerando un volumen estimado de agua necesaria por día (15,000 Lt/día) con una insolación del mes pico de la zona de Huetamo (7.23) se obtuvo un régimen de bombeo de 2,074 Lt/h. Con una carga dinámica total (CDT) de 50 m con estos datos se consideraría la bomba tipo centrífuga sumergible marca DIVASOLAR 110-45MP con motor trifásico con rangos de voltajes de 90-340 VCD y 90-265 VCA y una eficiencia considerable de 0.347. Se eligió considerando su eficiencia, y la potencia que requiere para su operación de la CDT que es de 50 m.

En el apéndice B se muestran los datos del fabricante de la bomba seleccionada, cabe mencionar que puede ser utilizada en CDT más grandes, ya que las necesidades que lo demandan por ahora nuestro sistema los cubren sin complicaciones, tal cual el régimen de bombeo de nuestro sistema, es proporcional al número de módulos fotovoltaicos, que es capaz de cambiar la velocidad si se colocan más módulos en caso de que se requiera, por tal motivo se eligió a 120 VCD en condiciones ideales ya que este es el voltaje de admisión en el controlador, y así mismo lograr obtener el número de módulos necesarios para nuestro sistema, en el cual pueda suministrar 15,000 litros en 7.23 horas solares pico que contamos en la zona de Huetamo.

La diferencia de las bombas centrífugas sumergibles con las de succión superficial es que en las sumergibles pueden obtener más agua si se le agregan más módulos fotovoltaicos en caso de que se requiera en un futuro, y también pueden

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

soportar CDT de más de 100 metros, en cambio las de superficie solo soportan hasta 10 metros.

Considerando el volumen de agua necesario por día, la carga dinámica total (CDT), y el factor de conversión que es 367, el cual se usa para calcular la energía en (wats–hora) necesaria para levantar un litro de agua en una distancia de un metro, cabe mencionar que son valores físicas constantes.

Tabla 4.6. Características considerables para la selección de la bomba.

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Pueden utilizar el agua como lubricante. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Operan a cargas dinámicas grandes. Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.
Centrífugas de succión superficial	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	Soportan cargas dinámicas muy grandes. La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro. Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos. No dan grandes flujos.
Diafragma	Operan a cargas menores de 40 metros. Son muy económicas.	No toleran arenas o sedimentos. No trabajan a cargas dinámicas grandes Bajos flujos.

Entonces, obtenemos una energía hidráulica de 2,043 W/día dividido en la eficiencia de la bomba (0.347) obtenemos el arreglo fotovoltaico de 6,010 W/día dividido entre el voltaje nominal del sistema de 120 V obtenemos una carga eléctrica de 50.09 Ah/día, dividido entre el factor de rendimiento del conductor (0.95), y la insolación de Huetamo (7.23) obtenemos una corriente del proyecto de 7.29 A.

Hoja 2:

El resultado se divide entre el factor de reducción del módulo (0.85) obtenemos una corriente ajustada del proyecto que es de 8.58 Ah, esto dividido en la corriente

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

Imp del módulo fotovoltaico (8.72) obtenemos 0.98, por lo tanto será 1 módulo en paralelo.

El módulo fotovoltaico se eligió considerando la corriente Imp el cual es el determinante de módulos en paralelo que se requiere colocar, tiene que ser un número entero o aproximado, sino se elige otro modelo, la información de datos del fabricante sobre el Módulo Fotovoltaico se encuentra en el apéndice A.

Considerando el voltaje nominal del sistema (120 VCD) específicamente hablando de la bomba, dividido entre el voltaje del Módulo (30.97 V) obtenemos 3.8, por lo tanto serán 4 módulos en serie, esto multiplicado por módulos en paralelo obtenemos en total 4 Módulos fotovoltaicos, multiplicándolo por la corriente del módulo (8.72 A) y también por el voltaje del módulo (30.97 V) obtenemos un arreglo fotovoltaico de 1,046 W necesarios para que nuestro sistema opere.

Ya teniendo en cuenta la cantidad de módulos en paralelo (1), multiplicado por la corriente del módulo (8.72), el voltaje del sistema (120 V), factor del rendimiento del sistema (0.347), factor de conversión (367), insolación del sitio (7.23), factor de reducción del módulo (0.85), dividido entre la CDT obtenemos una cantidad de agua bombeada por día de 16,048 Lt/día. Si esta cantidad lo dividimos entre la insolación del sitio (7.23) obtenemos un régimen de bombeo de litros por hora de 2,219, ahora si lo dividimos entre 60 minutos obtendremos un bombeo de 37 Lt/min, aproximándose a los datos del fabricante de la bomba que se encuentra en el apéndice B, lo que indica que operará con estado óptimo.

Los datos obtenidos y componentes para la instalación del sistema de riego fotovoltaico se observan en la siguiente figura.

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

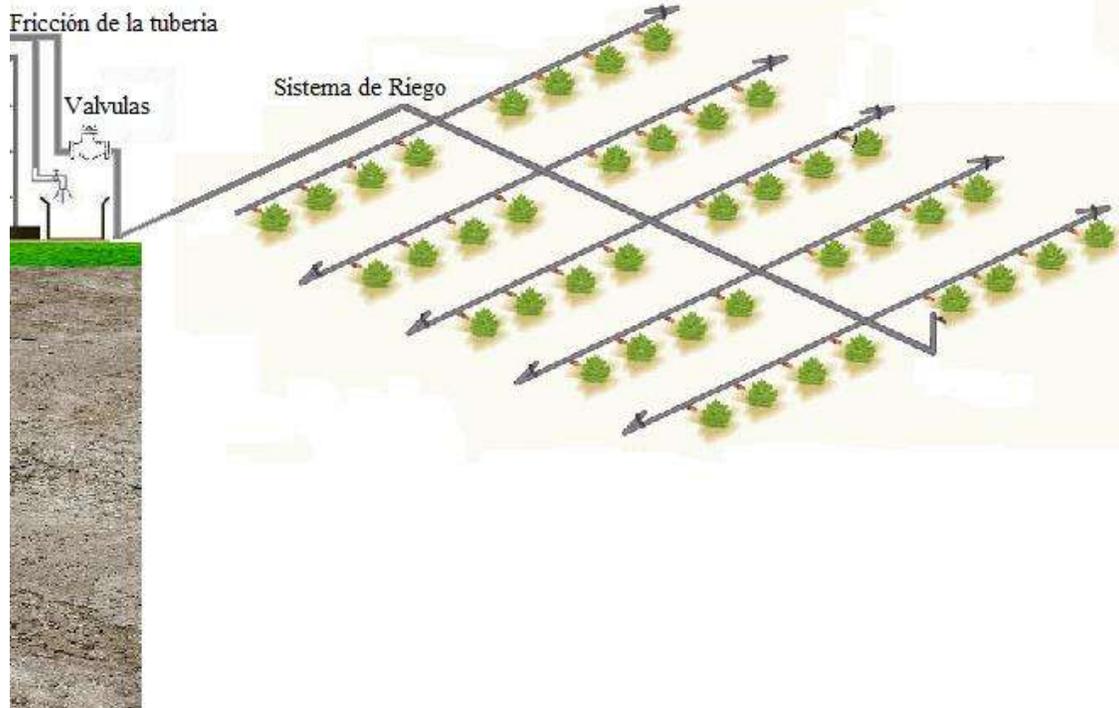
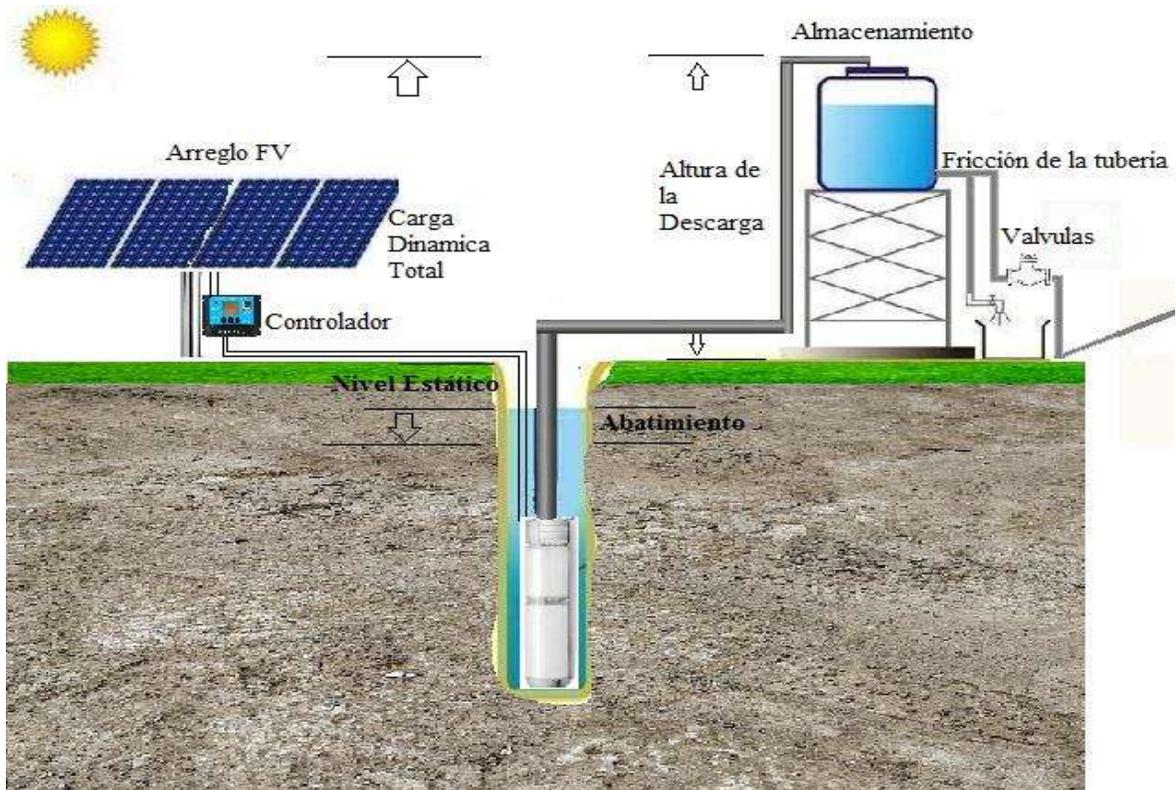


Figura 4.13. Diagrama riego fotovoltaico

Capítulo 4 Sistema de riego alimentado por energía fotovoltaica

En la figura anterior muestra el diagrama completo simulando la instalación completa por la cual quedaría instalado nuestro sistema de riego fotovoltaico, en donde los elementos principales que lo conforman son:

Bomba. Comenzando por la instalación de la bomba ya seleccionada, esto considerando la CDT que lo conforman varios factores como son: el abatimiento, nivel estático, altura de descarga y pérdidas por fricción del tubo, obteniendo un rango de operación de 50 metros, operando de manera ideal en base al fabricante.

Almacenamiento. Considerando el resultado del caudal para el riego y las horas pico de insolación por día, se tendría que colocar un área de almacenamiento poco mayor de los 16,48 Lt/día. Esta consideración es en base a factores externos dependiendo al uso del usuario.

Arreglo Fotovoltaico. Nuestro arreglo está compuesto por cuatro paneles de 270 Watts c/u conectados en serie. La cantidad de paneles fue en consideración de la necesidad de potencia requerida del sistema de riego, específicamente la bomba por la que realizará la tarea de extraer el agua contenida del interior del suelo al lugar donde se almacenará.

Controlador. Es parte primordial de nuestro proyecto, ya que este se encarga de controlar o administrar la cantidad de energía generada de los paneles a nuestro sistema, además de que también suministra la cantidad de voltaje y corriente necesarios para que nuestro sistema opere de manera ideal, así también como su nombre lo indica, controla las sobrecargas o cortocircuitos de nuestro sistema y se dañen los equipos que estén conectados a él. Cabe mencionar que también está diseñado para regular la energía que se suministra al banco de baterías, pero en nuestro caso solo funcionará de manera directa con las horas solares pico, satisfaciendo el caudal necesario para nuestro riego.

Válvulas. Encargados de suministrar el agua contenida del almacenamiento al sistema de riego en casos de que se necesite. Puede colocarse una o más válvulas para diversas tareas, pero se debe tomar en cuenta el nivel de prioridad para cada una.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

La decisión de utilizar un sistema solar para el riego de agua depende en gran medida del costo del sistema y de los beneficios económicos que se esperan. Los sistemas de riego FV tienen un alto costo inicial comparado con otras alternativas de bombeo; sin embargo, no necesitan combustible y requieren menos mantenimiento y atención del operador. Debido a esta característica de los sistemas solares, el costo a largo plazo debe usarse para determinar si el sistema solar es económicamente viable.

En ramas de sistemas fotovoltaicos para el riego en el que se desea instalar operan con bombas diseñadas para ciertas características ambientales y de su CDT que requiera la zona, algo considerable es que pueden operar en rangos de C.A. y C.D. creando un ahorro al usuario en cuanto al inversor que operaría para que el sistema de riego fotovoltaico opere de manera ideal.

Cabe mencionar que estos sistemas de riego fotovoltaicos son opción factible para el consumo agropecuario y de siembra, esperando sea en un futuro próximo la realización de este proyecto en nuestro estado en grandes dimensiones.

5.2. Recomendaciones

Las recomendaciones para lo cual se desee instalar un sistema de riego son las siguientes:

- Verificación de la fuente de agua (capacidad de producción por temporada)
- Obra civil (cimientos, tuberías y sistema de almacenamiento)
- Prueba y ensamblaje de los componentes del sistema (mecánicos y eléctricos)
- Comprobación de conexiones mecánicas y eléctricas hechas en el campo
- Verificación de los modos de operación del sistema
- Verificación del desempeño del sistema (prueba de aceptación)
- Entregar manual de operación y mantenimiento al dueño y operador del sistema
- Sesión de entrenamiento al operador del sistema
- Para todos los proyectos con energía renovable es necesaria una planeación a largo plazo.
- Las responsabilidades y propiedad de los sistemas deben establecerse tempranamente.
- Para la supervivencia a largo plazo del sistema, el mantenimiento es crítico.

Para evitar descomposturas, los sistemas de riego de agua con energía renovable deben ser de un tamaño realista y deben contar con controles institucionales adecuados desde su concepción.

Los planificadores deben anticipar el crecimiento del consumo del agua, incluir una estructura tarifaria realista para el consumo de agua y medios para satisfacer las necesidades futuras de mantenimiento. Sólo así los sistemas de riego de agua con energía renovable podrán dar un servicio confiable y duradero a los usuarios. Estos sistemas podrían dar muchos años de servicio confiable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Castillo, M. I. (2016). DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED. *INTEGRACIÓN ELECTRÓNICA Workshop*, (págs. 47-48). Morelia, Mich.
- [2] econotecnia. (2012). *econotecnia* . Recuperado el 28 de Noviembre de 2017, de PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS:
<http://www.econotecnia.com/radiacion-solar.html>
- [3] Instituto Tecnológico de Canarias. (2008). Energía de las Olas. En V. S. Ortin, *Energías Renovables y Eficiencia Energética* (págs. 114-116). Canarias: InstitutoTecnológico de Canarias, S.A.
- [4] Laboratories, S. N. (Abril de 2000). *Energía Solar Fotovoltaica - ITACA*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017, de Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica: www.itacanet.org/
- [5] Ortega, M. (2002). *Energías Renovables*. Madrid, España: PARANINFO.
- [6] Wikipedia. (5 de Diciembre de 2017). *Energía Eólica*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2017, de
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- [7] Wikipedia. (6 de Octubre de 2017). *Energía Solar en México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_M%C3%A9xico
- [8] Wikipedia. (6 de Octubre de 2017). *Energía Undimotriz*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2017, de
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_undimotriz

Apéndice

A. Datos del Panel Solar Fotovoltaico seleccionado

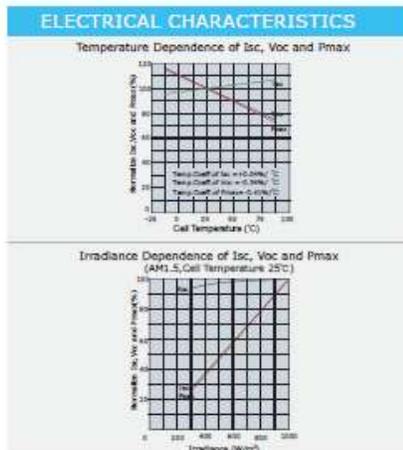
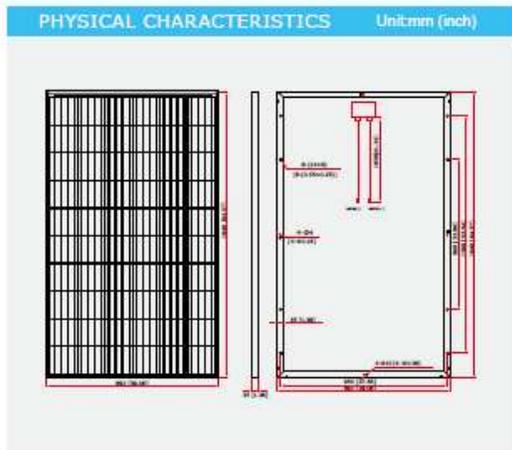
ELECTRICAL SPECIFICATIONS (STC)		
Model Type	ET-P660270WW ET-P660270WB	ET-P660265WW ET-P660265WB
Peak Power (Pmax)	270W	265W
Module Efficiency	16.60%	16.29%
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.97V	30.74V
Maximum Power Current (Imp)	8.72A	8.62A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.72V	38.29V
Short Circuit Current (Isc)	9.31A	9.24A
Power Tolerance	0 to +5W	
Operating Temperature	- 40 ~ + 85°C	
Maximum System Voltage	DC 1000V	
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C	
Fire Safety	Class C	
Maximum Series Fuse Rating	20A	

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (NOCT)		
Model Type	ET-P660270WW ET-P660270WB	ET-P660265WW ET-P660265WB
Peak Power (Pmax)	199.1W	196.8W
Maximum Power Voltage (Vmp)	28.5V	28.3V
Maximum Power Current (Imp)	6.98A	6.96A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.90V	35.5V
Short Circuit Current (Isc)	7.48A	7.45A

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Cell Type	156.75 mm x 156.75 mm
Number of Cells	80 cells in series
Weight	18.5 kg (40.79 lbs)
Dimension	1640×992×35 mm (64.57×39.06×1.38 inch)
Max Load	5400 Pascals (112 lb/ft ²)
Junction Box	≥IP67 rated
Connector	MC4 Compatible
Output cable	PV 1-F 4mm ²

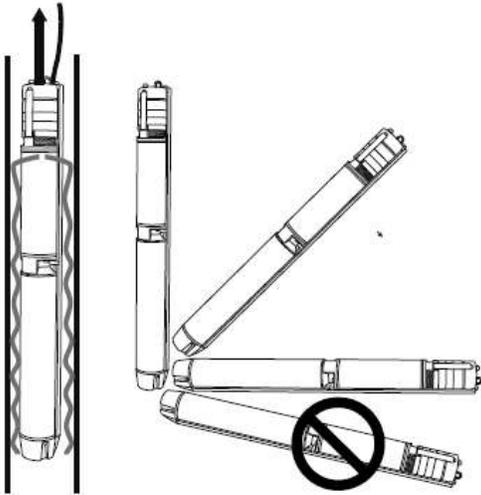
TEMPERATURE COEFFICIENT	
Temp. Coeff. of Isc (TK Isc)	0.04% /°C
Temp. Coeff. of Voc (TK Voc)	-0.34% /°C
Temp. Coeff. of Pmax (TK Pmax)	-0.41% /°C

PACKING MANNER	
Container	40' HQ
Pieces per Pallet	30
Pieces per Container	840



Note: the specifications are obtained under the Standard Test Conditions (STCs): 1000 W/m² solar irradiance, 1.5 Air Mass, and cell temperature of 25°C. The NOCT is obtained under the Test Conditions: 800 W/m², 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed, AM 1.5 spectrum.
Please contact support@etsolar.com for technical support. The actual transactions will be subject to the contracts. This parameters is for reference only and it is not a part of the contracts. The specifications are subject to change without prior notice.

B. Datos de la Bomba seleccionada



DIVASOLAR110-45MP

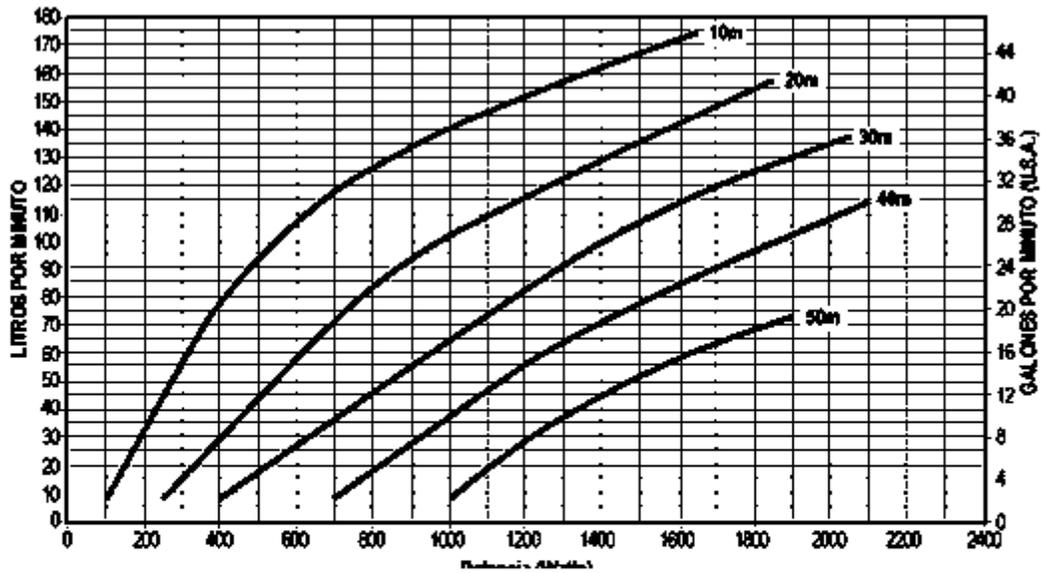


TABLA DE ESPECIFICACIONES

CÓDIGO	VOLTAJE DE ENTRADA	MÁXIMO CONSUMO DE AMPERAJE (A)	MÁXIMA POTENCIA (Watts)	DESCARGA (pulgadas)	RANGO DE OPERACIÓN		DIMENSIONES (mm)		PESO (kg)
					GASTO (lpm)	CARGA (m)	LARGO	MÁX. DIAM.	
DIVASOLAR110-45MP	90 a 340 VCD 90 a 265 VCA	16 (220 VCD) 16 (220 VCA)	2100	1.5"	10 - 150	6 - 58	890	100	22

C-1. Factores de Pérdida por Fricción en PVC rígido

Los flujos se representan en litros por segundo.

TAMAÑO DE TUBERÍA									
Flujo	.5"	.75"	1"	1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"
.10	4.20	1	.25	.08					
.15	8.80	2.20	.53	.17	.07				
.20	15	3.70	.90	.28	.12				
.25	22	5.50	1.35	.44	.18				
.30	31	7.80	1.90	.60	.25				
.35	41	10	2.45	.80	.34				
.40	53	13	3.10	1	.43				
.45	66	16.30	4	1.25	.54	.13			
.50		19	4.80	1.50	.65	.16			
.55		23.50	5.60	1.80	.78	.19			
.60		27.50	6.60	2.10	.90	.22			
.65		32	7.80	1.40	1.04	.25			
.70		36	8.70	2.70	1.19	.28			
.75		41	9.90	3.10	1.32	.33	.10		
.80		45	11	3.50	1.050	.37	.12		
.85		52	12.50	4	1.70	.41	.14		
.90		57	14	4.50	1.90	.45	.15		
.95		.63	15	4.90	2.10	.50	.17		
1			16.50	5.40	2.25	.55	.18	.08	
1.05			18	5.80	2.50	.60	.20	.09	
1.10			19.50	6.30	2.70	.67	.22	.10	
1.15			21.50	6.90	2.95	.71	.24	.10	
1.20			23	7.30	3.20	.78	.26	.11	
1.30			26.50	8.60	3.75	.90	.29	.13	
1.40			30	10	4.25	1	.34	.15	
1.50			35	11.20	4.90	1.15	.39	.17	
1.60			39	12.50	5.50	1.30	.43	.19	
1.70			44	14.20	6.05	1.45	.49	.21	
1.80			49	15.90	6.90	1.60	.54	.24	
1.90			55	17.40	7.50	1.80	.60	.26	
2			60	19	8	2	.66	.28	
2.20				22.50	9.70	2.35	.79	.34	
2.40				26.80	11.50	2.75	.90	.40	
2.60				31	13.30	3.20	1.05	.45	
2.80				35.10	15.20	3.70	1.20	.52	
3				40	17	4.20	1.36	.60	
3.20				45	19.30	4.70	1.52	.68	
3.40				50	21.90	5.25	1.70	.75	
3.60				56	24	5.80	1.90	.84	.20
3.80				62	26	6.30	2.10	.90	.22
4				69	29	7	2.30	1	.24
4.50					36	8.80	2.80	1.20	.30
5					44	10.50	3.50	1.50	.37
5.50					62	12.50	4.20	1.75	.44

C-2. Factores de Pérdida por Fricción en acero galvanizado

Los flujos se representan en litros por segundo.

Flujo	TAMAÑO DE TUBERÍA								
	.5"	.75"	1"	1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"
.10	5.90	1.58	.38	.12					
.15	12.25	3.40	.82	.26					
.20	21.45	5.65	1.40	.44	.19				
.25	31.65	8.50	2.10	.68	.28				
.30	44.91	11.90	2.90	.92	.40				
.35	58.20	15.80	3.80	1.20	.52				
.40	75.50	19.90	4.80	1.55	.67				
.45	91.90	25	6	1.93	.84				
.50		30	7.30	2.35	1	.25			
.55		36	8.70	2.75	1.20	.30			
.60		42	10.20	3.25	1.40	.35			
.65		48	11.90	3.80	1.63	.40			
.70		55	13.6	4.35	1.82	.46			
.75		63	15.40	4.90	2.15	.52	.17		
.80			17.40	5.55	2.40	.59	.19		
.85			19.40	6.15	2.65	.68	.21		
.90			21.80	6.90	2.90	.74	.23		
.95			24	7.50	3.25	.82	.28		
1			26.20	8.20	3.60	.80	.28	.12	
1.05			28.50	9	3.90	.97	.31	.13	
1.10			31	9.80	4.20	1.05	.34	.15	
1.15			34.60	10.60	4.80	1.15	.37	.16	
1.20			36	11.50	5	1.25	.39	.17	
1.30			42.50	13.30	5.70	1.45	.45	.20	
1.40			48	15.30	6.60	1.65	.52	.23	
1.50			55	17.50	7.65	1.90	.59	.26	
1.60			62	19.50	8.45	2.10	.67	.29	
1.70			69	22	9.50	2.35	.75	.33	
1.80				24.20	10.50	2.60	.82	.36	
1.90				24.50	11.70	2.85	.90	.40	
2				29.50	12.80	3.20	1	.44	
2.20				35	15.30	3.80	1.20	.52	
2.40				42	17.90	4.45	1.40	.61	
2.60				48.50	20.50	5.15	1.60	.71	.17
2.80				55	24	5.95	1.85	.82	.20
3				62.50	26.70	6.70	2.10	.92	.22
3.20					30	7.60	2.35	1.02	.25
3.40					34	8.40	2.65	1.15	.28
3.60					38	9.40	2.95	1.28	.32
3.80					41	10.30	3.25	1.42	.35
4					45	11.20	3.55	1.55	.38
4.50					56	14	4.45	1.95	.46
5						17	5.45	2.25	.56