



**UNIVERSIDAD DON BOSCO
VICERRECTORÍA DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
INGENIERÍA ELÉCTRICA EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE:
TENDENCIAS Y APLICACIONES.**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
MASTER EN GESTION DE ENERGIAS RENOVABLES.**

**ASESOR:
MTR. MARIO CACERES RODAS.**

**PRESENTADO POR:
AXEL ANTONIO AMAYA GRANADOS**

**Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, Centroamérica,
SEPTIEMBRE 2013**

Índice General

Índice General	ii
Índice De Figuras.....	vii
Índice De Tablas.....	viii
NOMENCLATURA.....	ix
1. RESUMEN.	1
2. Introducción.....	2
3. Objetivos	3
3.1 Objetivo General.....	3
3.2 Objetivos Específicos.....	3
4. Metodología.....	4
5. Marco teórico.....	5
5.1 Desarrollo sostenible.	5
5.2 Energías renovables.	6
5.2.1 Energía solar.....	6
5.2.1.1 Energía solar térmica.....	7
5.2.1.2 Energía solar fotovoltaica.	7
5.2.2. Energía eólica.	7
5.2.3 Energía hidráulica	7
5.3 Concepto de ingeniería verde	8
5.4 Prácticas de ingeniería verde	9
5.4.1 Ingeniería Química	9
5.4.2 Ingeniería Civil.....	10
5.4.3 Ingeniería Eléctrica.....	10
5.5 Aplicaciones de ingeniería eléctrica verde.	11

5.5.1	<i>Sistemas fotovoltaicos</i>	11
5.5.1.1	Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red de distribución.	13
5.5.1.2	Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red de distribución con banco de baterías	14
5.5.1.3	Sistemas fotovoltaicos aislados	15
5.5.2	<i>Sistemas solares Térmicos (SST)</i>	16
5.5.2.1	SST de caja.....	17
5.5.2.2	SST termosifón	18
5.5.2.3	SST forzado de lazo cerrado con drenaje.....	19
5.5.2.4	SST forzado de lazo abierto directo.....	21
5.5.2.5	SST forzado a glicol presurizado	22
5.5.3	<i>Sistemas micro-hidroeléctricos (SMH)</i>	22
5.5.3.1	SMH aislados sin banco de baterías	24
5.5.3.2	SMH interconectado con la red de distribución sin banco de baterías.	25
5.5.4	<i>Sistemas eólicos a pequeña escala (SEPE)</i>	25
5.5.4.1	SEPE aislados.	26
5.5.4.2	SEPE interconectados con la red de distribución con respaldo de baterías y sin respaldo de baterías.	27
5.5.5	<i>Componentes auxiliares de los sistemas de energía renovable</i>	29
6.	Generalidades de equipo de generación de energía renovable para uso residencial.	33
6.1	Sistemas de calentamiento de agua potable.....	33
6.1.1	<i>Capacidades</i>	33
6.1.2	<i>Costos</i>	33
6.1.3	<i>Instalación</i>	34
6.1.4	<i>Vida útil</i>	34
6.1.5	<i>Ventajas y desventajas de los SST</i>	35
6.2	Paneles fotovoltaicos.	35

6.2.1	<i>Capacidades</i>	35
6.2.2	<i>Costos</i>	35
6.2.3	<i>Eficiencia</i>	36
6.2.4	<i>Vida útil</i>	37
6.2.5	<i>Ventajas</i>	37
6.2.6	<i>Desventajas</i>	38
6.3	Aerogeneradores a pequeña escala	38
6.3.1	<i>Requerimientos de instalación</i>	38
6.3.2	<i>Tipos</i>	39
6.3.2.1	Por número de aspas	39
6.3.2.2	Por la forma en que se redireccionan respecto al viento	40
6.3.3	<i>Capacidades</i>	40
6.3.4	<i>Costos</i>	40
6.3.5	<i>Vida útil</i>	41
6.3.6	<i>Ventajas</i>	41
6.3.7	<i>Desventajas</i>	42
6.4	Mini-turbinas hidráulicas	43
6.4.1	<i>Requerimientos de instalación</i>	43
6.4.2	<i>Tipos</i>	43
6.4.2.1	Turbina Pelton.....	43
6.4.2.2	Turbina Turgo.....	44
6.4.2.3	Turbina Francis	45
6.4.2.4	Turbina de flujo radial o cruzado.....	45
6.4.2.5	Turbina Kaplan.....	46
6.4.3	<i>Capacidades</i>	46
6.4.4	<i>Costos</i>	47

6.4.5	<i>Ventajas</i>	47
6.4.6	<i>Desventajas</i>	48
6.5	<i>Baterías</i>	48
6.5.1	<i>Baterías de plomo-ácido</i>	49
6.5.1.1	Ventiladas de electrolito líquido (vaso abierto).....	49
6.5.1.2	Selladas	49
6.5.2	<i>Baterías alcalinas</i>	49
6.5.3	<i>Diseño de un respaldo de baterías</i>	50
6.5.4	<i>Capacidades</i>	51
6.5.5	<i>Precios</i>	51
6.6	<i>Inversores</i>	52
6.6.1	<i>Tipos de inversores</i>	52
6.6.1.1	Inversores de onda cuadrada.....	52
6.6.1.2	Inversores de onda cuadrada modificada	52
6.6.1.3	Inversores de onda sinusoidal	53
6.6.2	<i>Características estándar de los inversores</i>	53
6.6.3	<i>Características opcionales de los inversores</i>	53
6.6.4	<i>Capacidades</i>	54
6.6.5	<i>Precios</i>	54
7.	Especificaciones de equipo para sistemas autónomos de energía renovable para uso residencial	55
7.1	Estimación de la demanda total de la residencia a equipar	55
7.2	Aprovechamiento de la energía solar térmica	58
7.3	Aprovechamiento de las fuentes de energía solar, eólica e hidráulica para el abastecimiento de sistemas eléctricos residenciales	61
7.3.1	<i>Opción de un sistema micro-hidroeléctrico y solar fotovoltaico</i>	61
7.3.2	<i>Opción de un sistema fotovoltaico y eólico</i>	64

7.3.3	<i>Opción de un sistema fotovoltaico</i>	66
7.3.4	<i>Cálculo de los valores de baterías e inversores necesarios para los equipos especificados.</i> 67	
7.4	Análisis tarifario de la vivienda.....	68
7.5	Análisis de las tasas de retorno de la inversión para los tres casos estudiados	70
8.	Conclusiones y Recomendaciones.....	75
8.1	Conclusiones	75
8.2	Recomendaciones	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	78
	APÉNDICES.....	82

Índice De Figuras

Figura 5. 1 Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico interconectado con la red de distribución.	14
Figura 5. 2 Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico interconectado con la red de distribución con banco de baterías.....	15
Figura 5. 3 Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	16
Figura 5. 4 Esquema de funcionamiento de un SST de caja.	18
Figura 5. 5 Esquema de funcionamiento de un SST termosifón.	19
Figura 5. 6 Esquema de funcionamiento de un SST lazo cerrado con drenaje.	20
Figura 5. 7 Esquema de funcionamiento de un SST de lazo abierto directo.....	21
Figura 5. 8 Esquema de funcionamiento de un SST a glicol presurizado.	22
Figura 5. 9 Esquema de funcionamiento de un SMH.....	25
Figura 5. 10 Esquema de funcionamiento de un SEPE aislado.	27
Figura 5. 11 Esquema de funcionamiento de un SEPE interconectado a la red con respaldo de baterías.	28
Figura 5. 12 Esquema de funcionamiento de un SEPE interconectado a la red sin respaldo de baterías	28
Figura 5. 13 Esquema de funcionamiento de un SEPE de suministro directo.	29
Figura 6. 1 Rodete de una mini-turbina Pelton.	44
Figura 6. 2 Rodete de una mini-turbina Turgo.	44
Figura 6. 3 Rodete de una mini-turbina Francis.	45
Figura 6. 4 Rodete de una mini-turbina de flujo cruzado.[46].....	45
Figura 6. 5 Rodete de una mini-turbina Kaplan.[47]	46
Figura 7. 1 SST tipo termosifón.	56
Figura 7. 2: SST termosifón a utilizar en la vivienda para el calentamiento de agua potable.	59
Figura 7. 3: Diagrama de ubicación del SST termosifón en la vivienda.	60

Índice De Tablas

Tabla 5. 1 Componentes auxiliares de los sistemas de energía renovable.	29
Tabla 6. 1 Precios aproximados de paneles fotovoltaicos en la actualidad ⁴	36
Tabla 6. 2 Precios aproximados de aerogeneradores eléctricos en el mercado en la actualidad ⁵	41
Tabla 6. 3 Tipos de mini-turbina hidráulicas a utilizar según el valor de la caída neta	46
Tabla 6. 4 Precios aproximados de baterías en el mercado actual.	52
Tabla 6. 5 Precios aproximados de inversores en el mercado actual.	54
Tabla 7. 1 Estimación de consumo de electricidad de una residencia habitada por dos personas.	57
Tabla 7. 2: Especificaciones generales del grupo turbina-generador Kaplan	62
Tabla 7. 3 Especificaciones básicas del panel fotovoltaico Kyocera KD210GX- LP.....	63
Tabla 7. 4: Especificaciones generales del aerogenerador Fortis Montana	64
Tabla 7. 5 Especificaciones básicas del panel fotovoltaico Kyocera KD210GX- LP.....	65
Tabla 7. 6 Montos a cancelar de acuerdo a la empresa de distribución asociada considerando un consumo de 168 kWh por mes	69
Tabla 7. 7: Resumen de valores eléctricos de generación y precio de inversión para los tres tipos de aprovechamiento expuestos	70
Tabla 7. 8 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento fotovoltaico	72
Tabla 7. 9 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento micro- hidráulico y fotovoltaico.....	73
Tabla 7. 10 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento eólico y fotovoltaico.	74

NOMENCLATURA

Ah Amperios-hora *CD* Corriente directa *CA* Corriente alterna

k Costo promedio ponderado del capital *kW* kiloWatt

l/s Litros por segundo *m/s* Metros por segundo *PF* Panel fotovoltaico

SEPE Sistema eólico a pequeña escala

SMH Sistema micro-hidroeléctrico

SST Sistema solar Térmico

SSFV Sistema Solar Fotovoltaico

TIR Tasa interna de retorno

VAN Valor actual neto

1. RESUMEN.

El presente trabajo trata de brindar un panorama general de las tendencias de la ingeniería eléctrica y las aplicaciones disponibles en el mercado actual, para satisfacer las necesidades energéticas de una residencia a pequeños niveles de una manera limpia y amigable con el ambiente, aunque también no es de olvidar que las diferentes aplicaciones de energía renovable pueden también ser utilizadas para resolver y satisfacer las diferentes necesidades que existan para pequeños comercios. Para esto se realizó una investigación bibliográfica acerca de las diferentes fuentes renovables con posibilidades de ser explotadas a pequeña escala, como lo son los ríos, la radiación solar y los vientos. Se detallan las diferentes configuraciones para cada tipo de sistema, las cuales pueden adecuarse a las necesidades e intereses del usuario según sea el caso. Para el caso de la alternativa de la vivienda existen las opciones de conectarse a la red de servicio eléctrico para vender sus sobrantes de energía, para respaldar su producción en caso de no generar la totalidad que se consume o simplemente mantenerse aislado del sistema de potencia y producir en su totalidad toda la energía demandada por la vivienda, es de recalcar que la opción de interconexión con la red eléctrica existente dependerá mucho de la ubicación geográfica de la vivienda. Una vez reconocidas las diferentes formas de conversión de energía a nivel residencial, se abarcan los temas relacionados con la vida, útil, eficiencia, capacidades y costos de cada equipo asociado a las distintas fuentes de energía renovable. También se discute acerca de las ventajas y desventajas que puede tener el uso de una alternativa u otra. Finalmente, se hace un breve análisis de un caso hipotético de una vivienda en un lugar remoto y se plantean dos alternativas para cubrir la demanda de electricidad de la misma. Es posible ver que las combinaciones no son limitadas, sino que existe una gran variedad de posibilidades para producir energía utilizando fuentes renovables con el fin de reducir el monto de la factura petrolera y los problemas de contaminación.

2. Introducción

El concepto de desarrollo sostenible ha cobrado importancia con el transcurrir de los últimos años. El crecimiento de la industria y de la población en el planeta, ha producido la aparición de problemas ambientales como el calentamiento global y la ruptura de la capa de ozono. Como consecuencia, el mal manejo de los recursos ha contribuido con el aumento de las enfermedades debido a la excesiva contaminación resultante.

Muchas disciplinas se encargan de crear planes y métodos que permitan hacer más sostenible el desarrollo de la vida diaria. La ingeniería se hace presente en casi todas sus áreas para contribuir a la solución de la problemática ambiental actual por medio de tendencias y aplicaciones disponibles en el mercado.

El interés de este trabajo está en estudiar cómo se involucra la ingeniería con el desarrollo sostenible en general y profundizar en las contribuciones de la ingeniería eléctrica a las prácticas actuales de ahorro y utilización eficiente de las fuentes de energía en el sector residencial, comercial e industrial

Con esta investigación se pretende analizar las actuales tendencias y aplicaciones de la ingeniería eléctrica que se están poniendo en marcha alrededor del mundo. Además, se elaborará una propuesta en detalle de aplicaciones que se pueden ejecutar en nuestro país para solucionar los problemas de consumo energético excesivo y alargar la vida de las instalaciones eléctricas en el sector vivienda de una manera amigable con el ambiente.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General.

Establecer la situación actual de la ingeniería eléctrica en relación al aprovechamiento de los recursos naturales y estudiar así las diferentes aplicaciones para la generación de energía a pequeña escala.

3.2 Objetivos Específicos.

- Investigar sobre las aplicaciones que ya se desarrollan alrededor del mundo y definir la factibilidad de aplicarlas en El Salvador. Las aplicaciones que se va a investigar son los sistemas de paneles fotovoltaicos, sistemas micro-hidroeléctricos, sistemas de generación eólica a pequeña escala y sistemas solares de calentamiento de agua.
- Elaborar una propuesta detallada de cuales tecnologías, tendencias y aplicaciones se pueden implementar en el sector residencial de El Salvador.
- Realizar un análisis técnico-financiero por medio del establecimiento de indicadores básicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) comparativo de los sistemas fotovoltaicos, micro-hidráulico y fotovoltaicos y sistema de Aprovechamiento eólico y fotovoltaico,

4. Metodología

Para la realización de este proyecto se llevará a cabo una investigación haciendo uso de diferentes fuentes. A continuación se explicarán cada una de ellas.

1. Investigación bibliográfica: Debido a que se trata de una temática relativamente nueva, la bibliografía existente es limitada. Por esta razón los libros de texto probablemente no sean las principales fuentes de información. Sin embargo, estos se utilizarán para las definiciones de conceptos básicos pero que no dejan de ser importantes para el interés del proyecto.
2. Investigación sitios web: Se aprovechará lo amplio de esta fuente para realizar la búsqueda de información de las aplicaciones y tendencias para el ahorro energético a nivel mundial. Esto se llevará a cabo siempre y cuando se cuente con páginas web confiables. Esta fuente será una de las más utilizadas para el desarrollo de la investigación correspondiente. Existe la ventaja de que muchas organizaciones de diferentes países del mundo cuentan con páginas de internet de fácil acceso las cuales ponen a disposición de todo el mundo información sobre lo último en conservación de la energía, diseño sostenible y prácticas de ingeniería verde recomendadas.
3. Estudio de casos: Se investigará acerca de proyectos de ingeniería eléctrica verde en el país y el resto del mundo. Para esto se contactaron empresas con experiencia en el diseño e instalación de tecnologías de energía renovable de Costa Rica que hayan participado en diversos proyectos a nivel nacional e internacional.
4. Entrevistas con expertos o instituciones relacionadas al tema de energías renovables.
5. Desarrolladores de proyectos en otros países de la región centroamericana.

5. Marco teórico

5.1 Desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible surgió como tema principal en la primera conferencia global de aspectos ambientales organizada por las Naciones Unidas en Estocolmo en el año 1972. De ésta se originó los primeros cimientos para el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Posteriormente, se creó la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo cuyo primer reporte estableció que el desarrollo de los países es importante para poder suplir las necesidades del hombre, pero este desarrollo debe considerar los límites ecológicos del planeta. Basándose en ese postulado, se acoge el término de desarrollo sostenible como un concepto de índole universal que promueve satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades propias¹.

El desarrollo sostenible no se centra exclusivamente en las cuestiones ambientales. En términos generales, el desarrollo sostenible contiene tres componentes que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. Estos actúan como pilares interdependientes que se refuerzan entre sí.

Actualmente el desarrollo industrial, agrícola y urbano genera contaminaciones inmediatas y pospuestas que tienen consecuencias negativas como la lluvia ácida, el cambio climático y la explotación excesiva de los recursos naturales que conlleva al agotamiento de los combustibles fósiles y de recursos naturales vitales.

Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología de manera que el medio ambiente logre recuperarse al mismo ritmo con que es afectado por la actividad humana, por medio de la utilización de recursos renovables de energía.

1-Definición obtenida de la página web: <http://ccqc.pangea.org/cast/sosteni/soscast.htm>

5.2 Energías renovables.

La producción de energía eléctrica es una industria que contribuye a la contaminación del medio ambiente. Además, los recursos del planeta se están consumiendo aceleradamente y esto produce el agotamiento de los mismos. Dada esta situación, se hace necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de energía que contribuyan a la mantención de un planeta limpio y a la creación de un estilo de vida que depende de la energía limpia o energía verde.

Para lograr estos objetivos se deben de crear sistemas que conlleven al ahorro energético y a la reutilización de los recursos y materiales disponibles en la naturaleza. Las energías renovables representan una ayuda para alcanzar un desarrollo cada vez más sostenible de la mano con la naturaleza.

Las energías renovables son aquellas que son obtenidas de fuentes inagotables y que pueden ser reutilizadas indefinidamente para satisfacer las necesidades energéticas existentes en un espacio y tiempo determinados. Para fines de este proyecto se estudiarán las fuentes energéticas renovables más comunes que se utilizan actualmente en los sectores residencial y comercial a nivel mundial y nacional; el sol, el viento y el agua.

Las fuentes renovables de energía son recursos abundantes y limpios que ayudan a disminuir la contaminación ambiental reduciendo las emisiones de gases, pues pueden reemplazar la generación eléctrica con plantas termoeléctricas a base de combustibles fósiles.

5.2.1 Energía solar.

La energía solar es la que se obtiene a partir de la radiación emitida por el Sol. También es la base de otras fuentes energéticas renovables como el viento, las mareas y las corrientes marinas. Es una de las fuentes energéticas inagotables de energía limpia en el planeta.

La energía solar puede ser aprovechada de 2 formas: como energía térmica y energía fotovoltaica.

5.2.1.1 Energía solar térmica.

El aprovechamiento de la energía solar térmica consiste en capturar el calor de la radiación solar por medio de un dispositivo colector para así poder transmitirlo y utilizarlo en sistemas de calefacción, sistemas de agua caliente, sistemas de potabilización de agua, cocinas solares, entre otros.

5.2.1.2 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica se obtiene mediante paneles formados por la alineación de celdas fotovoltaicas, hechas a partir de materiales semiconductores, principalmente de silicio. Estos paneles aprovechan la naturaleza de los materiales semiconductores para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica.

5.2.2. *Energía eólica.*

La energía eólica se considera derivada de la energía solar, debido a que el viento es un movimiento de la masa atmosférica producido a causa del calentamiento desigual de la superficie del planeta.

El viento es uno de los potenciales naturales de mayor explotación en zonas montañosas y a nivel del mar en muchas partes del mundo. La energía contenida en el mismo se aprovecha por medio de máquinas eólicas, que se encargan de transformar la energía cinética del aire en movimiento en energía eléctrica.

5.2.3 *Energía hidráulica*

La energía hidráulica es aquella que se obtiene mediante el aprovechamiento de la energía mecánica del agua ya sea en forma potencial o cinética. Este tipo de energía se puede obtener de los ríos, las mareas y los saltos de agua.

La transformación de energía mecánica a eléctrica se da por medio del acople de una turbina hidráulica y un generador eléctrico mediante un eje. Las instalaciones en donde se realiza esta conversión de energía se llaman centrales hidroeléctricas. Las centrales hidroeléctricas de represa son el uso más significativo que se le da a esta fuente energética; sin embargo, también existen centrales micro-hidroeléctricas, que son una réplica de las hidroeléctricas a una escala menor de energía generada. Estas últimas pueden ser abastecidas por un río o una quebrada.

Este tipo de centrales se pueden clasificar según su capacidad de generación de la siguiente manera:

- Microcentrales: generación menor de 100 KW
- Minicentrales: 101 KW a 2.000 KW
- Pequeñas Centrales: 2.001 KW a 10.000 KW
- Pico Centrales: 0,2 KW a % KW

5.3 Concepto de ingeniería verde

La ingeniería verde es el diseño, comercialización y uso de infraestructura, procesos y productos que además de ser viables y económicos, minimizan la contaminación y el riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Abarca el concepto de que las decisiones para proteger la salud humana y del medio ambiente tienen un mayor impacto positivo y son más efectivas cuando se aplican desde la etapa de diseño de un proceso o un producto.

Las prácticas de ingeniería verde están regidas por doce principios básicos²:

1. Los diseñadores deben esforzarse por asegurar que todas las entradas y salidas de materia y energía sean tan inherentemente inocuas como sea posible.
2. Es mejor prevenir la contaminación que tratar o limpiar el residuo ya producido.
3. Las operaciones de separación y purificación deberían diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.
4. Los productos, procesos y sistemas deberían diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia, energía y espacio.
5. Los productos, procesos y sistemas deberían estar orientados hacia la “producción bajo demanda” (“output pulled”) más que hacia el “agotamiento de la alimentación” (“input pushed”).
6. La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final.
7. Diseñar para la durabilidad, no para la inmortalidad.
8. Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.
9. Minimizar la diversidad de materiales.
10. Cerrar los ciclos de materia y energía del proceso tanto como sea posible.
11. Diseñar para la reutilización de componentes tras el final de la vida útil del producto.
12. Las entradas de materia y energía deberían ser renovables.

5.4 Prácticas de ingeniería verde

5.4.1 Ingeniería Química

Las nuevas tendencias de la ingeniería química se basan en el concepto de la “Química Verde”. Ésta se ocupa de diseñar procesos y productos químicos que disminuyen cada vez más el uso de sustancias o agentes peligrosos.

La Química Verde ha llegado a formar parte integral de la ingeniería verde ya que además, promueve la seguridad de los procesos mediante el uso de sustancias que son inherentemente más seguras en el diseño de los procesos y en la selección de materias primas, reactivos y solventes; tratando siempre de obtener un producto final inofensivo con el medio ambiente para prevenir la contaminación y saciar las necesidades económicas de lograr un desarrollo cada día más sostenible.

La Química Verde parte de dos principios de eficiencia para prevenir la contaminación a causa de la elaboración de productos químicos:

1. Se deben de diseñar productos nuevos que sean útiles y además que sean comercialmente viables con un nivel mínimo de toxicidad.
2. Para los productos que ya existen se deben de diseñar pasos sintéticos alternativos que no consuman ni generen compuestos tóxicos para el ambiente o el ser humano.

Tradicionalmente la ingeniería química se encargaba de monitorear el entorno con el fin de detectar los contaminantes y así poder buscar cómo eliminarlos o minimizar su efecto negativo. Ahora a esa labor se le suman las tareas de idear y poner en marcha mecanismos que permitan a los productos químicos operar efectivamente sin dañar al medio ambiente

² Definición obtenida de la página web:

<http://www.inese.es/html/files/pdf/amb/iq/458/13ARTICULOABR.pdf>

5.4.2 Ingeniería Civil

La ingeniería civil se ha incorporado a la ingeniería verde por medio de la construcción sostenible.

La construcción sostenible está definida como aquella que tiene respeto y compromiso con el ambiente; implica además el uso eficiente de la energía, del agua, los recursos y los materiales no perjudiciales para el medio y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales negativos.

Abarca no sólo las edificaciones en sí, sino también toma en cuenta el entorno y la manera cómo éstos se integran para formar las ciudades. El desarrollo de ciudades sostenibles, tiene el objetivo de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, que proporcione recursos urbanísticos suficientes, no solo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también para su funcionalidad sin comprometer la calidad de vida.

Los objetivos de la construcción sostenible se basan en priorizar el reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales constructivos, así como el uso óptimo de la tecnología y fomentar la utilización de procesos constructivos y energéticos basados en productos y en energías renovables. Para ello, la tecnología del concreto se ha interesado en desarrollar investigaciones en temas como lo son la utilización de materiales de desecho para la construcción, y el uso de materiales que transforman las sustancias que ensucian los edificios o contaminan el aire en productos sin impacto alguno para el medio ambiente y la salud de las personas.

5.4.3 Ingeniería Eléctrica

La ingeniería eléctrica también lleva a cabo prácticas para contribuir con un medio ambiente más sano. Estas prácticas se basan en principios de conservación y eficiencia aprovechando cada vez más las fuentes renovables de energía y reduciendo el uso de fuentes energéticas no renovables. Esto se debe a que en muchos países del mundo se han utilizado por muchos años sólo combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Como consecuencia, se produce mucha contaminación del medio ambiente a causa de la emanación de gases de combustión tóxicos a la atmósfera.

Actualmente en los sectores industrial, comercial y residencial se ha optado por la

utilización de energías renovables en sus diferentes tipos para un sin fin de aplicaciones de la vida diaria. En la mayoría de los casos se busca adquirir independencia energética que proporcione además una reducción en la factura energética del usuario.

La ingeniería eléctrica verde se manifiesta en los sectores residencial con el uso de calentadores solares de agua, sistemas de paneles fotovoltaicos, sistemas micro-hidroeléctricos y sistemas eólicos a pequeña escala.

En la siguiente sección de este proyecto se detallarán los tipos de sistemas de energía renovable más utilizados a nivel mundial en pro del medio ambiente y el desarrollo sostenible para residencias y comercios.

5.5 Aplicaciones de ingeniería eléctrica verde.

5.5.1 Sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de generación de electricidad que convierten en energía eléctrica la energía contenida en la radiación solar. Esto se logra por medio de paneles fotovoltaicos. De esta manera, la radiación que incide sobre los paneles es convertida en corriente directa.

Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

Los paneles fotovoltaicos se dividen en:

- Cristalinas
 - Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si).
 - Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y costo. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas

puede no llegar al 10%, sin embargo su costo y peso es muy inferior.

Esencialmente un sistema fotovoltaico consta de los siguientes elementos:

- Un generador solar, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- Un acumulador, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un regulador de carga, cuya misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- Un inversor (opcional), que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en el acumulador, en corriente alterna de 230 V.

Una vez almacenada la energía eléctrica en el acumulador hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de 12 ó 24 Vcc o bien transformar la corriente continua en alterna de 230 V a través de un inversor.

Básicamente el proceso de generación de energía por medio de la luz solar se puede resumir en los siguientes procesos:

Generación: Los paneles fotovoltaicos son los encargados de la generación eléctrica. El número de ellos dependerá de varios factores, los principales son:

- * El valor promedio de la insolación del lugar (DS),
- * La carga (régimen y tipo),
- * La máxima potencia nominal de salida del panel seleccionado.

Acumulación: El banco de baterías usa un tipo especial de batería llamada batería solar. Estas baterías se ofrecen en versiones desde 4V hasta 24V. Una batería solar es una batería diseñada para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga.

Requisito es el uso de un control de carga de las baterías el cual evita la descarga de las baterías a través de los paneles durante la noche, cuando la tensión de salida del panel fotovoltaico es nulo y a su vez impide la sobrecarga de las baterías, suministrando el régimen de carga más apropiado para un dado tipo de acumulador.

Transformación: Si bien se puede utilizar la energía suministrada, directamente

(previamente regulada), la electricidad se presenta como Corriente Continua (+/- 24VCC), los artículos eléctricos con este tipo de energía son escasos. Por este motivo se requiere de un componente (Inversor), el cual transforma esta electricidad en 110-200 VAC y de esa forma hacer un uso eficaz de la Planta Fotovoltaica.

Consumo/Carga/Distribución: Un método eficiente de utilización de la energía generada es la apropiada distribución de la electricidad. Cuando se utiliza la electricidad de la red, habitualmente no se hace un equilibrado y optimizado procedimiento de distribución. En el caso de las Plantas fotovoltaicas se debe realizar una revisión del esquema de distribución y de esa forma minimizar sus pérdidas. Igualmente es recomendable el uso de una distribución en Corriente Continua y de esa forma ganar en la eficiencia del consumo.

Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida. Al analizar el diseño veremos que el costo del sistema se incrementa cuando el balance energético debe mantenerse durante períodos de insolación baja o nula.

Pérdidas y Diseño: Cuando un tipo de energía (luz solar) se transforma en otro tipo (energía eléctrica) la transformación no puede llevarse a cabo sin que ocurran pérdidas. Las pérdidas ocurren en toda las etapas del Sistema Fotovoltaico, por ello en el diseño se debe estimar las pérdidas del sistema y agregarlas a la parte generadora, a fin de no perder el balance entre generación y consumo.

Luego de esta conversión, la energía puede fluir hacia las cargas necesarias o hacia la red de distribución local según sea el tipo de sistema implementado.

5.5.1.1 Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red de distribución.

Esta clase de sistemas fotovoltaicos son capaces de interactuar con la red de distribución eléctrica ya que la energía generada por los paneles puede ser inyectada a la red en caso de que exista más de la que necesiten las cargas conectadas al arreglo solar- eléctrico. En algunos países al usuario de esta clase de sistemas se le acredita en su factura eléctrica el monto correspondiente a la energía entregada al sistema de distribución. La retribución puede ser acumulada y utilizada para comprarle energía a la empresa de distribución en aquellas épocas en que no se produce mucha energía con los paneles como en el caso de países con inviernos oscuros y nublados.

Este tipo de sistemas tiene la ventaja de que cuando se le necesita dar mantenimiento u ocurre una falla en el mismo, se puede seguir alimentando las cargas necesarias en el lugar por medio de la red de distribución local. En la figura 5.1 se puede observar la secuencia de conexión de los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico interconectado con la red de distribución.

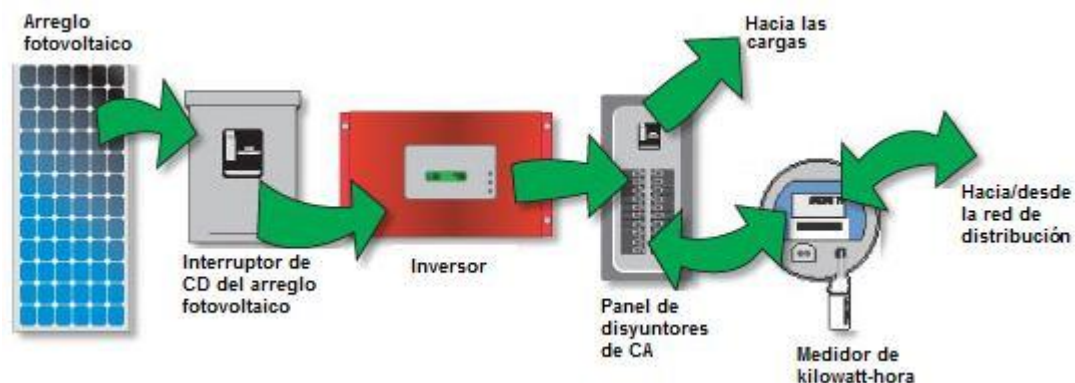


Figura 5. 1 Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico interconectado con la red de distribución.

El arreglo fotovoltaico debe estar comunicado con el inversor por medio de un interruptor de CD con el fin de poder aislarlo en caso de una falla en los módulos o en la red de distribución o para realizar labores de mantenimiento si se desea. Luego del inversor se debe de instalar un panel de disyuntores de CA para así poder proteger las diferentes cargas a alimentar por el sistema. Finalmente el panel o caja de disyuntores se debe de conectar con el medidor de kilowatt-hora para así poder registrar los valores de energía de la red consumida por las cargas y también los montos de energía inyectada a la red como sobrante de generación del sistema fotovoltaico. Todos estos detalles se pueden observar en la figura 5.1.

5.5.1.2 Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red de distribución con banco de baterías

Los sistemas fotovoltaicos interconectados con la red que no poseen banco de baterías están sujetos a los apagones producto de fallas en el circuito de distribución local. Es decir si no hay tensión eléctrica en la red, tampoco la habrá en la vivienda o el comercio conectado. No obstante, para solucionar este problema, se puede instalar un banco de baterías con el fin de almacenar energía de exceso generada que pueda ser usada como respaldo eléctrico cuando se dan interrupciones en la red. El incorporar las baterías requiere

el uso de más componentes en el sistema fotovoltaico; por lo tanto, el mismo se vuelve más caro y reduce su eficiencia. Sin embargo, este sistema se vuelve muy útil en lugares que constantemente experimentan salidas de servicio de la red de distribución. En la figura 5.2 se puede ver el esquema de cómo está compuesta esta aplicación.

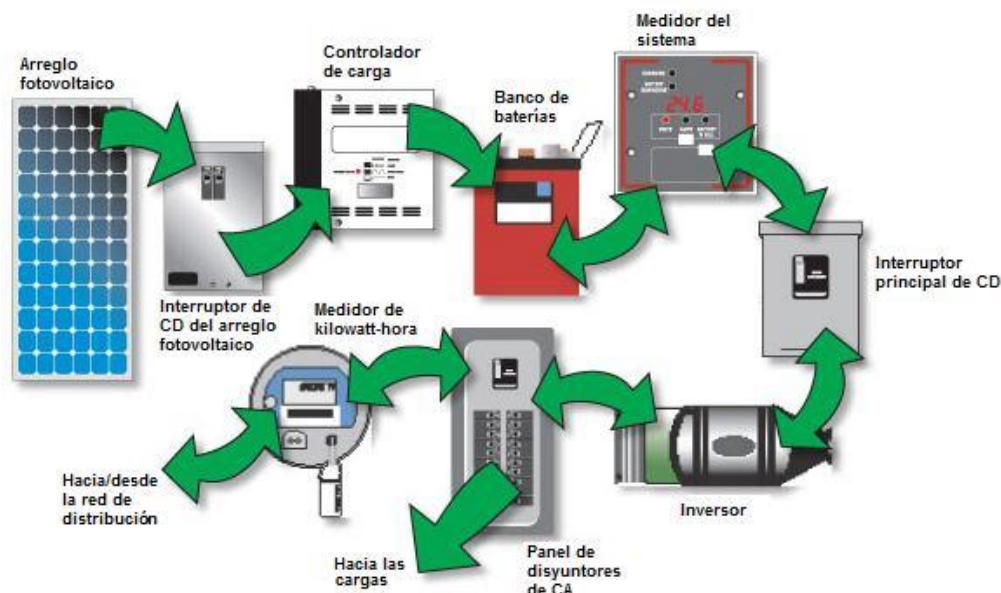


Figura 5. 2Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico interconectado con la red de distribución con banco de baterías.

En este tipo de sistemas se incluyen dos interruptores de CD, estos permiten seccionar el circuito en varias etapas. Luego de los arreglos fotovoltaicos se debe instalar un controlador de carga antes de las baterías para tener la seguridad de que estas se cargaran a niveles deseados de tensión y que no se descargarán por debajo de un límite establecido por el usuario. Seguido de las baterías se encuentra un medidor de sistema que registra los valores de tensión a que se están cargando las baterías y el porcentaje de carga del banco en general. Posteriormente, se comunica el medidor del sistema con un inversor por medio de otro interruptor de CD y de ahí en adelante continúan el panel de disyuntores de CA y el medidor de kilowatt-hora para realizar la interconexión con la red.

5.5.1.3 Sistemas fotovoltaicos aislados

Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el costo de la conexión a la red, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco

accesible: ya a partir de distancias de más de 3Km de la red eléctrica, podría resultar conveniente instalar un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda.

Los sistemas aislados, suelen estar equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula.

En la figura 5.3 es posible ver los componentes que forman el sistema fotovoltaico aislado.

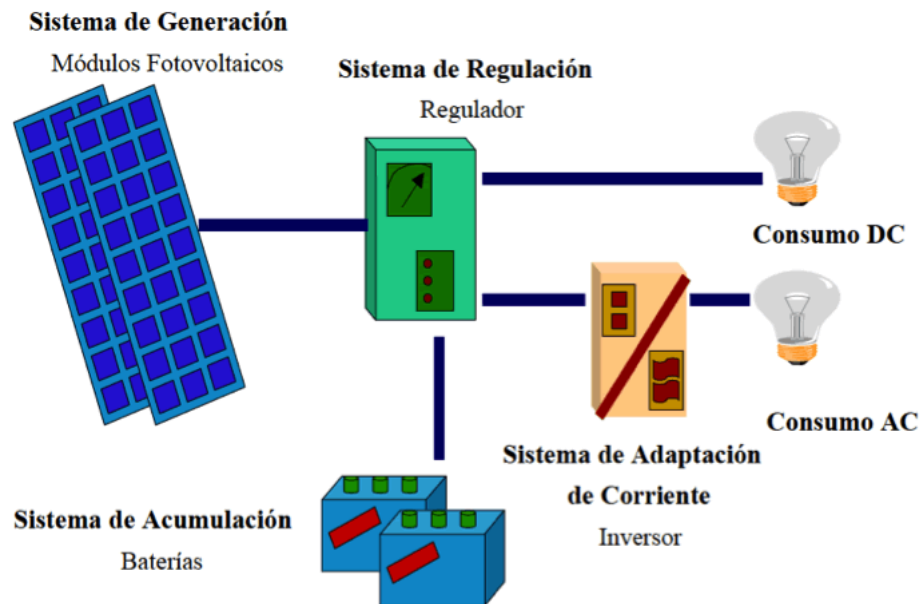


Figura 5.3 Esquema de conexión de componentes de un sistema fotovoltaico aislado.

En la figura 5.3 se puede ver un esquema similar en funcionamiento al de un sistema fotovoltaico interconectado con la red con respaldo de baterías. A diferencia de este último, este tipo de sistema no se conecta con la red por lo que no se hace necesario el uso de un medidor de kiloWatt-hora.

5.5.2 Sistemas solares Térmicos (SST)

Los sistemas solares de agua caliente capturan la energía contenida en la radiación solar por medio de un colector, el cual puede ser de tipo placa, de tubos al vacío, de serpentín y de

tipo caja, y la utiliza para elevar la temperatura de un fluido que circula por su interior. Este fluido de trabajo puede ser agua potable directamente o alguna sustancia con propiedades anticongelantes según sean las condiciones climáticas del lugar en que se localice el sistema. En caso de uso de otro fluido de trabajo, éste mismo cederá el calor por medio de un intercambiador al agua que ingrese al sistema para su posterior uso doméstico o comercial. Esta tecnología de calentadores de agua ofrece una larga vida útil acompañada de un mínimo mantenimiento del equipo utilizado. Sin embargo, para esto es necesario un buen diseño que sea acorde con las condiciones climáticas del lugar de instalación.

Hoy en día los 5 tipos principales de sistemas solares de agua caliente que se aplican en diferentes partes del mundo son los siguientes:

- SST de caja
- SST termosifón
- SST lazo cerrado con drenaje
- SST lazo abierto directo
- SST con glicol presurizado

Los sistemas solares de agua caliente pueden ser activos o pasivos; según utilicen o no bombas para hacer circular los fluidos a través de ellos. También, pueden ser de lazo abierto o lazo cerrado; esto depende de si el agua se calienta directamente en el colector o si se usa algún líquido de transferencia como el glicol para transferir el calor al agua posteriormente usando un intercambiador.

5.5.2.1 SST de caja

Esta clase de sistemas se caracteriza porque el colector y el tanque en el que se acumula el agua caliente constituyen una misma unidad. Esto se debe a que el almacenamiento de agua se lleva a cabo en un recipiente ubicado en el interior de una caja de madera aislada térmicamente. La caja debe tener un color oscuro en su interior para aumentar la absorción de radiación solar y cuenta con una tapa de vidrio que constituye la superficie colectora.

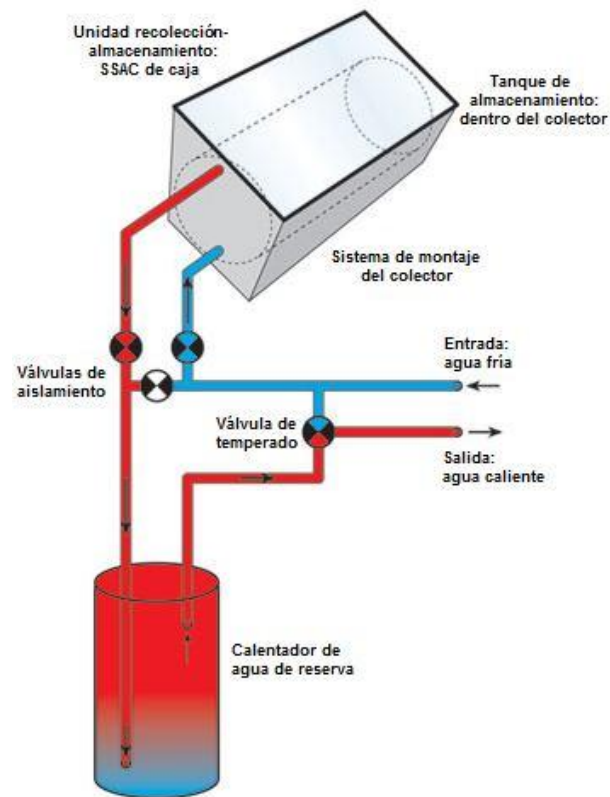


Figura 5. 4 Esquema de funcionamiento de un SST de caja.

En este tipo de calentador solar, el agua fría entra por la base del tanque a la misma presión de la red hidráulica local y el agua caliente es tomada de la parte superior del tanque. Es decir, cada vez que se demanda agua caliente al sistema, la misma presión de la red impulsa el agua caliente hacia afuera del tanque mientras el mismo es reabastecido en su base con agua fría. Por ser el agua la que atraviesa el colector, se trata de un sistema de lazo abierto, y a su vez, es un sistema pasivo pues no se usa ningún tipo de bomba para impulsar el agua a través de él.

Estos sistemas son útiles en lugares en los que no hay posibilidades de congelación del agua dentro del sistema pues podría quedar inhabilitado.

Comercialmente tienen un bajo costo y además son fáciles de construir de manera casera.

5.5.2.2 SST termosifón

Los SST termosifón, también llamados sistemas de circulación natural, constituyen otro tipo de sistemas pasivos. Su funcionamiento se basa en las corrientes de convección de los

fluidos, en los que las partes de los mismos que se calienten tienden a ascender.

Son muy comunes en todo el mundo y son fáciles de reconocer ya que el tanque de almacenamiento del agua caliente se ubica sobre el extremo superior del colector.

Esta topología de calentador se debe a que en cuanto el agua fría que entra por la parte inferior del colector se calienta, empezará a ascender hasta irse depositando en el tanque de almacenaje. A diferencia de los calentadores solares de caja, este presenta la ventaja de que el agua caliente es almacenada en un tanque mejor aislado térmicamente, por lo que se mantiene disponible a altas temperaturas la mayoría del tiempo sin tener pérdidas considerables de calor durante las noches.

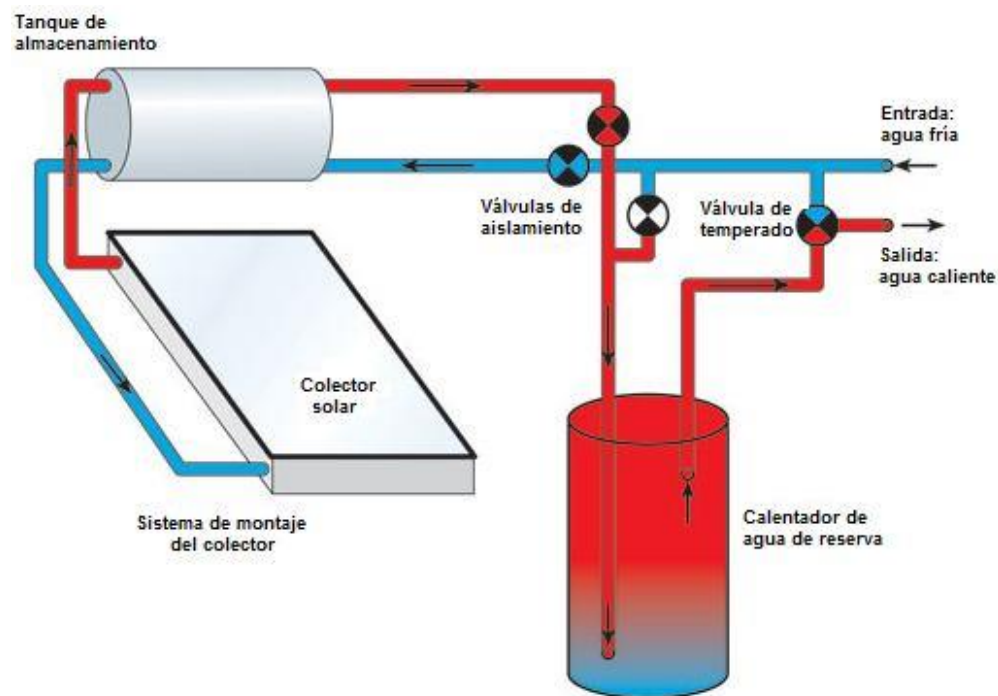


Figura 5. Esquema de funcionamiento de un SST termosifón.

5.5.2.3 SST forzado de lazo cerrado con drenaje.

Los SST lazo cerrado con drenaje trabajan generalmente con agua destilada que atraviesa un circuito cerrado al igual que los sistemas que utilizan mezcla de agua y propilenglicol. Esta agua destilada requiere ser cambiada periódicamente como mantenimiento del sistema.

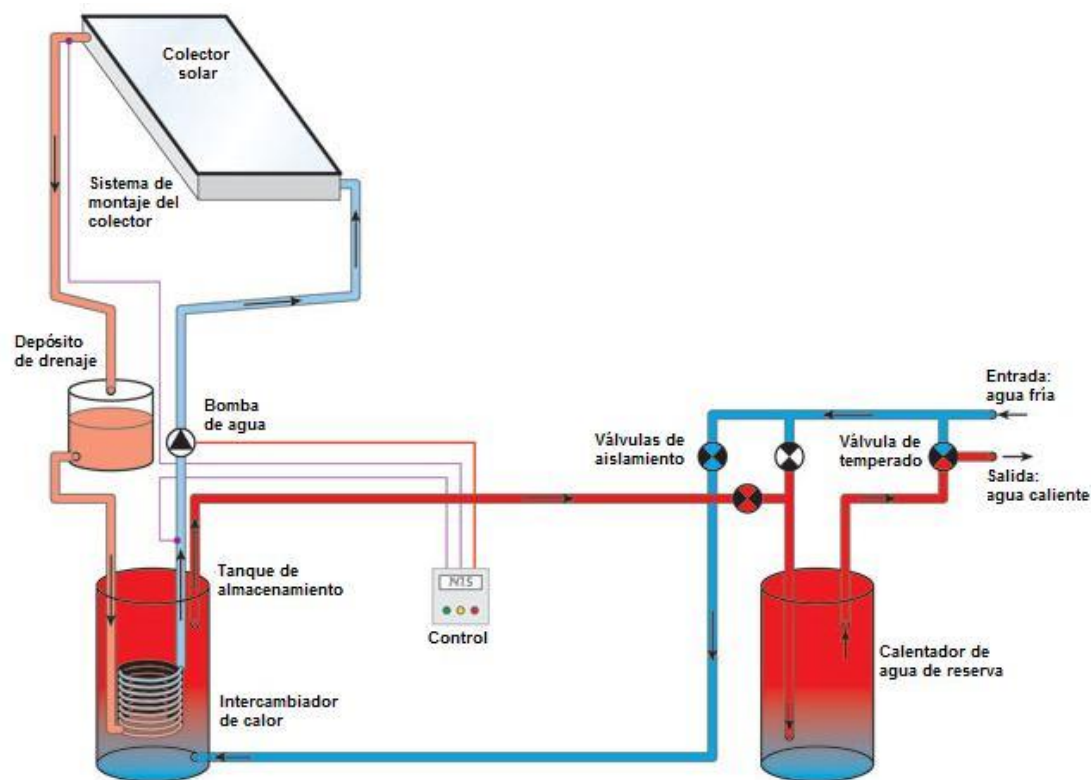


Figura 5. 6Esquema de funcionamiento de un SST lazo cerrado con drenaje.

Básicamente el drenaje este SST funciona de la siguiente manera. Cuando la bomba se apaga, el agua destilada es drenada toda a un reservorio o depósito del drenaje colocado usualmente sobre el tanque de almacenamiento de agua potable y cuya capacidad depende del tamaño del sistema. Cuando se enciende la bomba de nuevo, el agua destilada vuelve a su recorrido habitual. El colector debe estar siempre en una altura superior que el tanque de almacenaje y debe de haber una suficiente pendiente entre ambos para evitar que se congele la misma en la tubería.

Estos SST son efectivos y confiables tanto en épocas frías como cálidas; además, son capaces de trabajar durante 20 años si necesitan reparaciones. La única desventaja radica en que se necesita utilizar bombas de mayor potencia especialmente si se requiere bombear a dos o más pisos de altura.

Una manera de resolver el problema de la altura es colocar el reservorio de drenaje cerca del colector, lo cual es muy útil en las casas o negocios que tienen ático. También se debe de considerar que si las tuberías corren el riesgo de congelarse, debe de agregarse propilenglicol a la mezcla.

5.5.2.4 SST forzado de lazo abierto directo

Es el sistema solar de agua caliente activo de mayor sencillez y debe ser utilizado en zonas cálidas en los que nunca se dan congelaciones, por ejemplo en los trópicos.

El tanque de almacenamiento de este sistema no se encuentra sobre el colector ni forma una misma unidad con él como en los casos mencionados anteriormente; sino, que se puede colocar en cualquier otro lugar a conveniencia. Esto se debe a que si el agua en el tanque requiere ser recalentada, un control activará una bomba eléctrica que enviará agua del tanque al colector para elevar de nuevo su temperatura a la previamente ajustada. El monitoreo de temperaturas se realiza colocando sensores de temperatura a la salida del colector y en la base del tanque de almacenamiento.

También se puede limitar la temperatura del agua del tanque mediante un sensor que active un interruptor e impida el ingreso de agua más caliente al tanque, es decir, cierre la salida del colector. Por otra parte, la bomba puede ser impulsada por electricidad obtenida de un sistema fotovoltaico en cualquiera de sus modalidades.

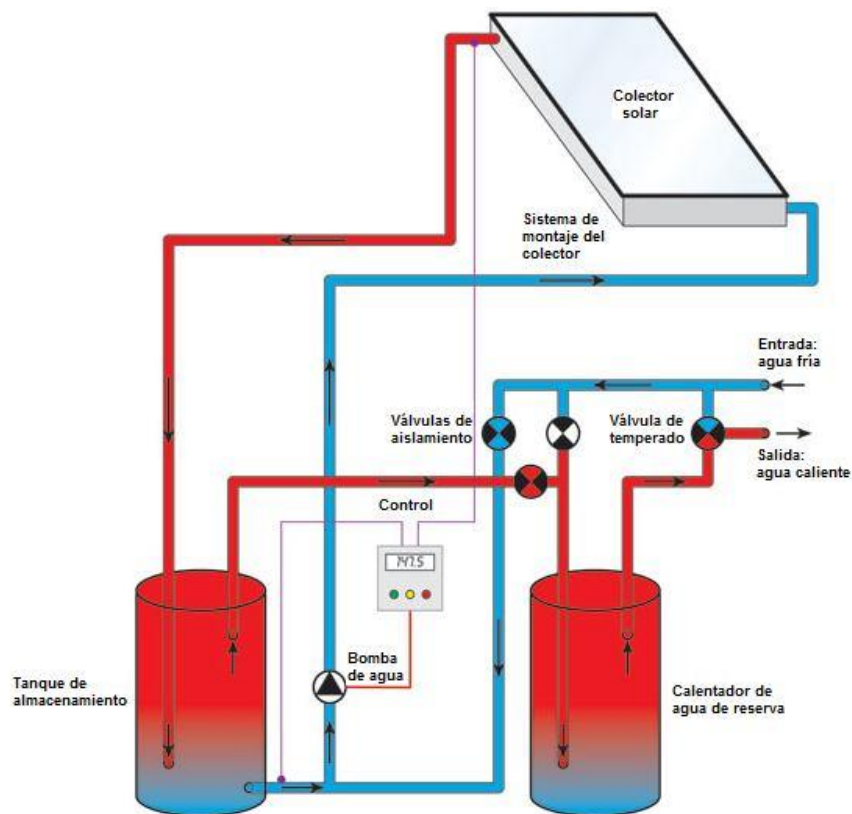


Figura 5. 7 Esquema de funcionamiento de un SST de lazo abierto directo.

5.5.2.5 SST forzado a glicol presurizado

Los sistemas de glicol presurizado son sistemas lazo cerrado que utilizan una mezcla de agua y propilenglicol como líquido de transferencia de calor. Por ser de lazo cerrado, esta mezcla recorre siempre el mismo circuito cerrado entre el intercambiador de calor que se ubica en el tanque de almacenamiento y el colector solar.

Este sistema requiere del uso de una bomba para impulsar el fluido de trabajo del tanque al colector por lo que forma parte de los sistemas activos. Además utiliza un tanque de expansión debido a que la mezcla aumenta su volumen cuando se expande y podría dañar la tubería que lo alberga. De este modo, el tanque asegura el volumen necesario por la mezcla al calentarse.

Es una modalidad de calentador muy utilizada en climas fríos y donde abundan épocas de congelación ya que la mezcla agua-propilenglicol tiene propiedades anticongelantes que garantizan el funcionamiento del sistema todo el año.

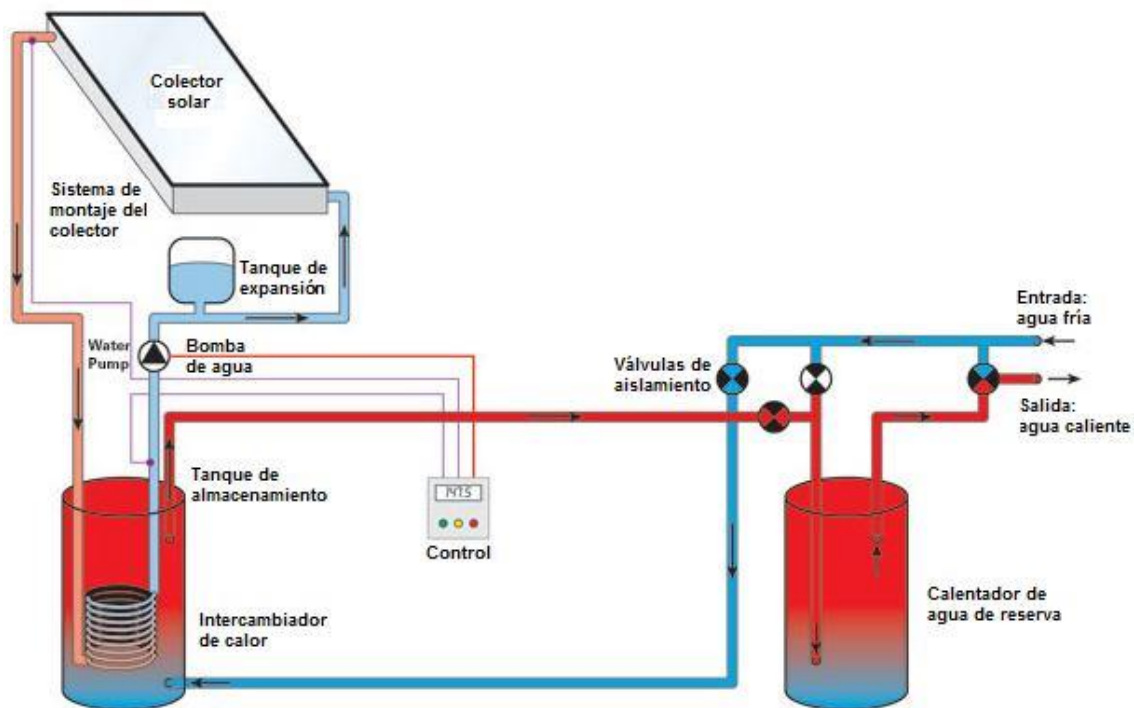


Figura 5. 8 Esquema de funcionamiento de un SST a glicol presurizado.

5.5.3 Sistemas micro-hidroeléctricos (SMH)

Los sistemas micro-hidroeléctricos son básicamente mini centrales hidroeléctricas que se utilizan para aprovechar la energía del agua de un riachuelo o una quebrada cercana. Generalmente son usados para suplir de electricidad hogares o pequeños comercios que

demandan energía en lugares donde no hay servicio eléctrico o que simplemente debido a su alta demanda de energía representan un ahorro para el usuario.

Para generar energía hidroeléctrica se necesita, un determinado caudal y una caída. Se entiende por caudal el volumen de agua que pasa en un tiempo determinado por una sección del río y se mide en m^3/s o L/s ($1 \text{ m}^3/\text{s} = 1000 \text{ L}/\text{s}$).

Cuando hablamos de caída, o salto bruto, nos referimos a la distancia medida en vertical que recorre el volumen de agua desde el punto de toma hasta el sitio de restitución del agua.

Existe otro término que se debe tener claro cuando nos referimos a proyectos de generación hidroeléctrica, este término es el de caída neta, el cual consiste en la medida vertical o diferencia de elevación existente entre el sitio de toma y el punto de ubicación la turbina, tomando siempre en cuenta las pérdidas de carga en el sistema.

Por tal motivo, para valorar el recurso hídrico y al mismo tiempo el desarrollo de un proyecto de este tipo se debe conocer:

1. La evolución del caudal a lo largo del año (un solo valor instantáneo del caudal no es significativo y esta medida se hace mucho más efectiva y acertada si el periodo de toma de muestra o medición es de un año)
2. El salto o caída neta con que se cuenta.

Si no existen datos hidrológicos del sitio donde se ubicara este tipo de sistemas, y se dispone de tiempo, se pueden medir los caudales a lo largo de un periodo, ya que, una serie de medidas instantáneas no tienen ningún valor. A continuación se presentan algunas formas prácticas de medir caudales.

Aforo por disolución: La utilización de este método resulta idónea en los pequeños arroyos de montaña, donde debido a la rapidez de la corriente y a la escasa profundidad del cauce no se puede utilizar con éxito un molinete. Para calcular el caudal se inyecta en el curso del agua una solución de un producto químico, de concentración conocida y aguas abajo, a una distancia suficiente para que el producto se haya mezclado completamente se recogen muestras de agua. La solución puede inyectarse a un ritmo constante, durante un lapso de tiempo, o en una única dosis.

Seguidamente las muestras del agua tomadas se analizan y se construye una curva concentración vs tiempo. Hasta hace unos años se utilizaban soluciones de sales de cromo y las muestras se analizaban por colorimetría, de esta forma el método es muy preciso, pero se

requiere de equipo costoso y personal calificado para la interpretación de los datos. Actualmente se trabaja con soluciones de cloruro de sodio (sal), y las mediciones tomadas aguas abajo se analizan de acuerdo a la variación de la conductividad eléctrica del agua, ya que existe una relación lineal entre esta última y la concentración en sal, a diferencia del anterior, el equipo necesario para medir la conductividad en estos casos es poco costoso.

Mediante un recipiente con volumen conocido: Este método es utilizado para medir caudales de hasta 20 o 30 Litros/seg. Aproximadamente. Instrumentos necesarios:

1. Recipiente con volumen conocido
2. Cronometro de precisión

Procedimiento Desviar el volumen de agua que se necesita medir hacia un recipiente grande de capacidad conocida y tomar el tiempo que tarda en llenarse.

$$Caudal (Q) = \frac{\text{Volumen (litros)}}{\text{Tiempo (segundos)}}$$

5.5.3.1 SMH aislados sin banco de baterías

Cuando se cuenta con un caudal constante y con suficiente potencial, se puede optar por utilizar sistemas de generación en CA directamente. Estos sistemas consisten en un acople turbina-generador que produzca una salida de tensión de 120 VCA o 240 VCA de la cual se pueden alimentar directamente las cargas necesarias.

En esta clase de SMH se puede hacer uso también de las cargas de vertedero para aprovechar las demasías de energía generada, al igual que en el SMH descrito anteriormente. El uso de las cargas de vertedero permite mantener constante la carga del generador. En la figura 5.9 se puede apreciar un esquema de funcionamiento de este tipo de SMH.

La única desventaja que tienen estos sistemas es que los picos de demanda de energía no pueden ser mayores que la capacidad nominal del generador ya que esta última depende de la caída natural del agua y del caudal que tenga la fuente de abastecimiento. Por lo tanto, estos sistemas necesitan ser de gran capacidad para lograr cubrir las demandas máximas generar suficiente energía para satisfacer todas las necesidades.

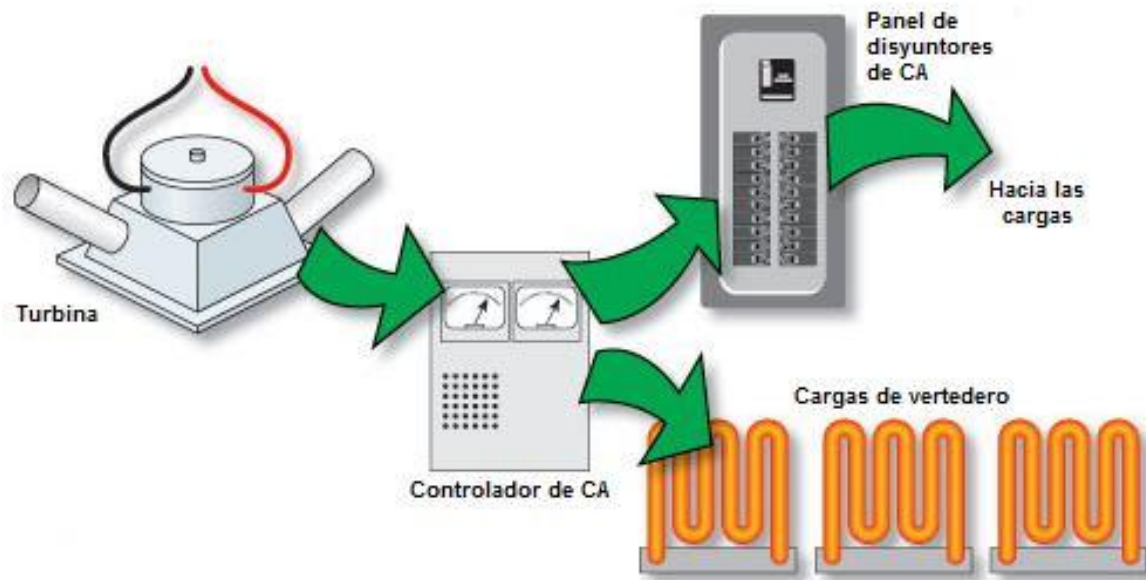


Figura 5. 9 Esquema de funcionamiento de un SMH.

5.5.3.2 SMH interconectado con la red de distribución sin banco de baterías.

Estos sistemas producen energía eléctrica que es directamente inyectada a la red de distribución y a la vez a las cargas necesarias. Pueden generar en CA o en CD; sin embargo, la corriente directa debe ser pasada a través de un inversor para poder ser inyectada a la red o alimentar aquellas de las cargas que consuman sólo corriente directa. Estos SMH funcionan de manera similar a los SMH aislados con banco de baterías o los SMH aislados sin banco de baterías según generen en CA o en CD.

La principal desventaja de esta clase de SMH es que están diseñados para que se apaguen en cuanto la red de distribución salga de servicio. Por esta razón, una vez que el circuito de distribución se abre, el sistema también deja de proveer electricidad a las demás cargas y queda fuera de servicio.

5.5.4 Sistemas eólicos a pequeña escala (SEPE)

Los sistemas eólicos a pequeña escala son capaces de brindar energía eléctrica tanto en lugares remotos como en la misma ciudad. Esta versatilidad los hace muy utilizados en muchas partes del mundo en que abundan los vientos de velocidades aptas para la generación.

Los aerogeneradores recogen la energía cinética del viento por medio de unas palas

fijadas a un rotor. Este rotor gira cuando el viento ataca las aspas y por medio de una flecha provoca el movimiento de un alternador de imanes permanentes que produce una tensión cuya magnitud y frecuencia dependen de la velocidad con que el viento ataque las palas del rotor del aerogenerador. En la mayoría de los casos el rotor va directamente conectado al generador con el fin de ahorrar tiempo de mantenimiento de engranajes. Sin embargo, para los sistemas eólicos con potencias mayores a los 20 kW se utilizan engranajes entre el generador y el rotor de la turbina para hacer el girar el generador a velocidades altas aun cuando el rotor gira a una menor.

Existen distintos tipos de sistemas eólicos de sistemas eólicos a pequeña escala. Estos se definen a continuación:

- Sistemas eólicos aislados
- Sistemas eólicos interconectados con la red de distribución sin banco de baterías
- Sistemas eólicos interconectados con la red de distribución con respaldo de banco de baterías
- Sistemas eólicos de suministro directo

5.5.4.1 SEPE aislados.

Este tipo de sistema eólico funciona guardando la energía generada en baterías para su posterior uso. No se encuentra interconectado a la red distribución por lo que toda la energía generada es consumida por el usuario. En caso de que se genere más energía de la que se puede almacenar, un controlador de carga se encarga de enviar esta energía a cargas de vertedero para evitar el daño de las baterías. Para alimentar las cargas en CA se utiliza un inversor a la salida del banco de baterías. La figura 5.10 ilustra cómo está compuesto esta clase de sistema eólico.

Estos sistemas están limitados por la capacidad del equipo utilizado para la generación de energía, las fuentes de abastecimiento y las baterías. Esto obliga al usuario a acomodar su consumo energético a la capacidad del mismo.

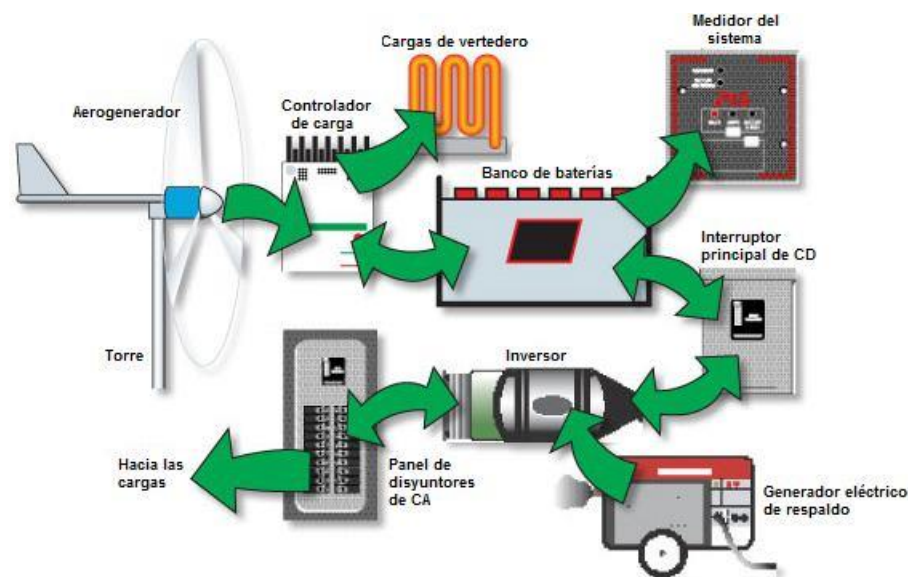


Figura 5. 10 Esquema de funcionamiento de un SEPE aislado.

5.5.4.2 SEPE interconectados con la red de distribución con respaldo de baterías y sin respaldo de baterías.

Los sistemas eólicos interconectados con la red funcionan de manera similar a otros sistemas interconectados a la red previamente explicados como los fotovoltaicos y los micro-hidroeléctricos; por lo tanto, sólo se comentarán sus ventajas y desventajas.

Los beneficios de interconectarse con la red de distribución local son numerosos; el principal de ellos es el hecho de que esta clase, al contar con un banco de baterías, puede siempre mantenerse en funcionamiento sin importar que la red salga de servicio. No obstante, en ausencia del servicio de distribución momentáneamente, se debe limitar el consumo a la capacidad del equipo con el cual se cuenta.

Por otra parte, el no utilizar banco de baterías presenta beneficios como el librar al usuario del mantenimiento de las mismas, hace más económico el sistema en cuanto a costos de inversión y aumenta la eficiencia del sistema. También es una manera de reducir los posibles desechos al final de la vida útil de las baterías. No obstante siempre está presente la desventaja de que si se interrumpe el servicio eléctrico el sistema se apagará automáticamente dejando sin energía las cargas correspondientes.

También el desempeño de los sistemas sin baterías puede aumentar debido a que la electrónica interna del inversor logra asociar la carga a la velocidad de la turbina con mayor exactitud haciéndola girar a una velocidad óptima para un máximo aprovechamiento de la

energía disponible.

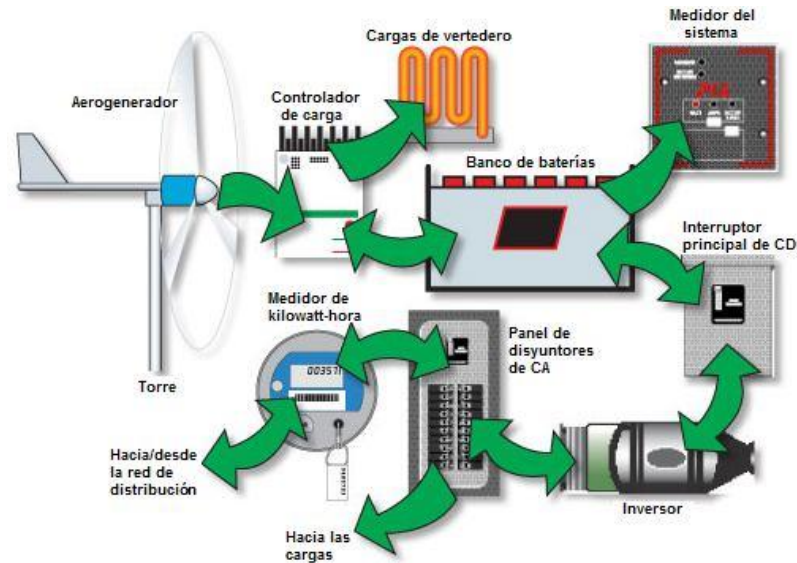


Figura 5. 11 Esquema de funcionamiento de un SEPE interconectado a la red con respaldo de baterías.

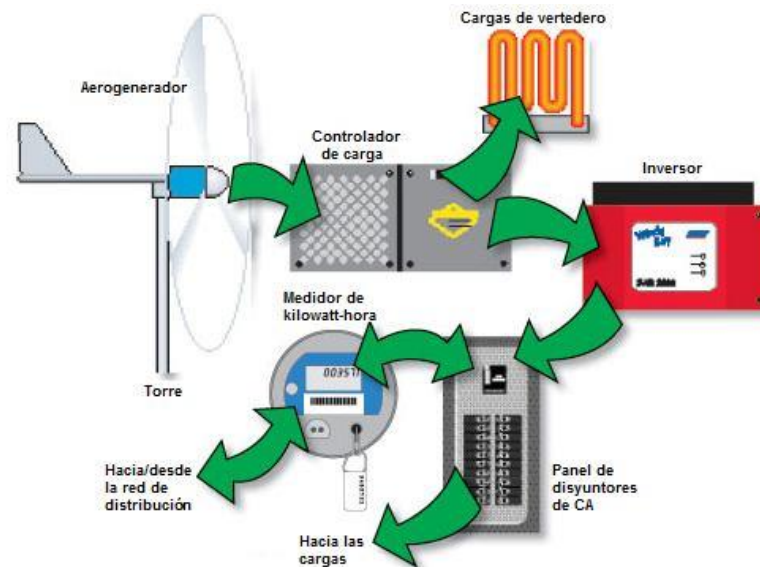


Figura 5. 12 Esquema de funcionamiento de un SEPE interconectado a la red sin respaldo de baterías

5.5.4.3 Sistemas eólicos de suministro directo

Es el tipo menos popular de los sistemas eólicos ya que no posee ningún medio de almacenamiento de la energía generada. Usualmente es simplemente controlada la potencia del generador para utilizarla directamente en funciones de riego o almacenamiento de agua en un tanque a cierta altura mediante la activación de una bomba. En la figura 5.13 se observa un diagrama de los componentes del sistema.

Algunos de los sistemas de energía renovable estudiados utilizan generadores eléctricos de respaldo. Estos simplemente son utilizados con el fin de brindar confiabilidad y asegurar la continuidad del servicio eléctrico en caso de que se presenten problemas en la red de distribución eléctrica local, averías del algún componente del sistema o quizá para sacar a mantenimiento preventivo un conjunto de componentes determinado.

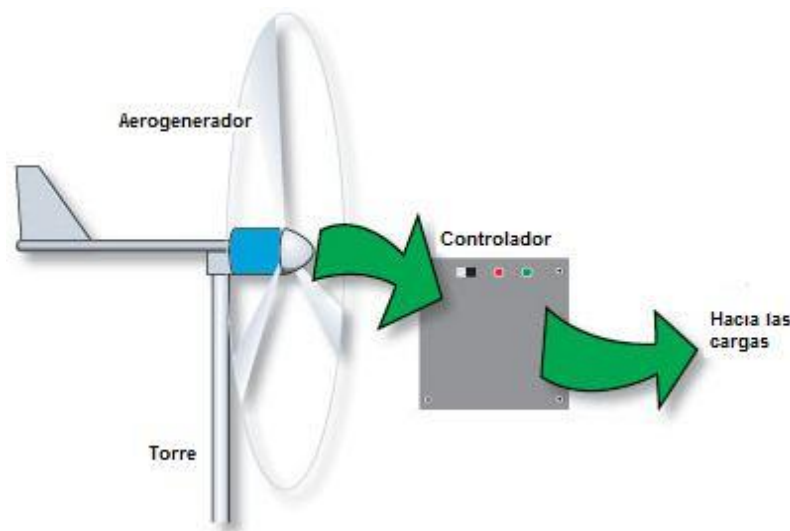



Figura 5. 13 Esquema de funcionamiento de un SEPE de suministro directo.

5.5.5 Componentes auxiliares de los sistemas de energía renovable





Los sistemas basados en fuentes de energía renovable incluyen diferentes componentes que realizan funciones adicionales a los procesos de conversión de energía. En la tabla 5.1 se pueden ver algunos detalles de funcionamiento de estos componentes y sus aplicaciones.

Tabla 5. 1 Componentes auxiliares de los sistemas de energía renovable.

Componentes	Aplicaciones
 <p>Interruptor de CD del arreglo fotovoltaico</p>	<p>Sistemas fotovoltaicos: Interruptor utilizado para la interrupción de manera segura del flujo de corriente desde el arreglo fotovoltaico hacia las cargas en caso de mantenimiento o falla del equipo.</p>

<p>Controlador de carga</p> 	<p>Sistemas fotovoltaicos: protege el banco de baterías de una sobrecarga o de una descarga muy profunda, cuando las baterías ya están cargadas completamente, desconecta los arreglos de las baterías.</p> <p>Sistemas eólicos: Cuando las baterías se cargan por completo, se encarga de mandar la energía sobrante a las cargas de vertedero. En muchos casos son fabricados para trabajar como inversores a la vez.</p> <p>Sistemas micro-hidroeléctricos: Mantiene el generador cargado a una potencia adecuada, previene la sobrecarga de las baterías, activa las cargas de vertedero, controla la tensión y la frecuencia en sistemas que generan en CA directamente.</p>
 <p>Banco de baterías</p>	<p>Sistemas fotovoltaicos: almacenan energía eléctrica para poder ser utilizada en las noches o en días nublados, Para sistemas aislados se diseñan usualmente para que funcionen durante 1 o 2 días. Para sistemas interconectados, proveen de energía eléctrica durante los fallos en la red.</p> <p>Sistemas eólicos: generalmente, se diseñan para almacenar energía suficiente para 3 días sin viento.</p> <p>Sistemas micro-hidroeléctricos: Almacenan la energía extra en momentos en que se genere más de lo que se produce.</p>
 <p>Medidor del sistema</p>	<p>Para todo tipo de sistemas de energía renovable, es utilizado para poder medir la carga de las baterías, la energía consumida y la energía generada por la aplicación.</p>
 <p>Interrupor principal de CD</p>	<p>Utilizado en sistemas micro hidroeléctricos y en sistemas eólicos para desconectar de manera segura el inversor del banco de baterías en caso de una falla o de mantenimiento preventivo.</p>

 <p>Inversor</p>	<p>Son usados en todo tipo de sistemas para la conversión de energía en CD a energía en CA.</p> <p>En el caso de sistemas interconectados, sirven también para sincronizar la aplicación de energía renovable con la red de distribución local.</p> <p>En algunos casos incluyen cargadores de baterías para poder cargar un banco con energía de la red o de un generador de respaldo.</p>
 <p>Panel de disyuntores de CA</p>	<p>Contiene todos los disyuntores que guían la electricidad desde la fuente de CA o el inversor, hasta los diferentes puntos de consumo de las viviendas. Permiten la desconexión de la alimentación a partir de funciones térmicas de protección en caso de falla del sistema por sobrecarga de algún circuito ramal y evita la propagación de incendios.</p>
 <p>Medidor de kilowatt-hora</p>	<p>Sirve para medir energía consumida por cargas determinadas o también para medir la energía generada o inyectada a la red en sistemas interconectados con la red de distribución.</p>
 <p>Generador eléctrico de respaldo</p>	<p>Son utilizados para satisfacer los faltantes de electricidad en períodos en que las aplicaciones de energía renovables ya mencionadas no puedan generar la energía suficiente para alimentar las cargas satisfactoriamente debido a las condiciones climáticas o geográficas.</p> <p>Pueden ser operados con gasolina, biodiesel, propano, gas LPG o diesel según sus especificaciones, además pueden conectarse a un rectificador para producir energía en CD que pueda ser utilizada para cargar un banco de baterías.</p>

 <p>Colector solar</p>	<p>Aparato formado por una red de tubos a través de los cuales circula el fluido de trabajo en un sistema solar de agua caliente. Existen diferentes tipos, de placa, planos, de caja, de tubos al vacío.</p>
 <p>Tanque de almacenamiento</p>	<p>Tiene como uso principal el almacenamiento del agua en sistemas solares de agua caliente y en la mayoría de los casos posee un calentador eléctrico de respaldo para casos en que no haya una cantidad considerable de radiación solar disponible y consecuentemente el colector no pueda capturar mucha energía térmica.</p>
 <p>Bomba de agua</p>	<p>Son utilizadas en los sistemas forzados o activos para hacer circular el fluido de trabajo del sistema entre el colector y el tanque de almacenamiento. Su potencia depende de la distancia entre estos últimos dos componentes y pueden ser alimentadas en CA o en CD.</p>
 <p>Intercambiador de calor</p>	<p>Son utilizados en los sistemas solares de calentamiento de agua a lazo cerrado debido a que el líquido de transferencia suele ser propilenglicol o agua destilada. Estos permiten la transferencia de calor evitando la mezcla de los fluidos interactuantes. Pueden encontrarse dentro de los tanques de almacenamiento si son de tipo interno o estar visibles si son de tipo externo.</p>

6. Generalidades de equipo de generación de energía renovable para uso residencial.

6.1 Sistemas de calentamiento de agua potable

Los sistemas solares de calentamiento de agua potable de uso residencial disponibles en el país básicamente son los de tipo termosifón y los de tipo forzado o activos.

6.1.1 Capacidades

Las capacidades varían dependiendo del tamaño de la vivienda y de la demanda de agua caliente que esta va a tener, principalmente por los diferentes usos de la misma que existen en la casa. Esto influye en el tamaño del tanque de almacenamiento y en la necesidad de utilizar una bomba de mayor o menor potencia para llevar el agua al lugar de uso final.

El sistema más básico disponible es el sistema termosifón. Cuenta con una capacidad de 53 galones de agua en su tanque y es capaz de abastecer las necesidades de agua caliente potable de 4 personas en una vivienda de reducidas dimensiones. Este sistema posee una resistencia de calefacción en el tanque para ser utilizada como respaldo en épocas frías o cuando la radiación solar no esté dando abasto para satisfacer la demanda de la casa.

Luego a este le sigue el sistema forzado que cuenta con mayor equipamiento eléctrico ya que posee una bomba de potencia variable, según el caso, para hacer llegar el agua al lugar determinado de la edificación. Existen en capacidades de 60 a 400 galones por tanque.

6.1.2 Costos.

Los costos de los sistemas más básicos, según sean termosifón o forzados, empiezan aproximadamente en los \$1800 y los \$3000³ respectivamente, incluyendo la instalación en cualquier parte del país.

Es posible ver que la inversión inicial es alta a pesar de ser los sistemas más básicos de su clase. Dependiendo del tamaño del suministro requerido de acuerdo a las dimensiones de la residencia y la cantidad de usuarios, puede ser necesario el acople de varios sistemas termosifón o de varios sistemas forzados con lo que el costo del sistema total crece aún más.

6.1.3 *Instalación*

Para asegurar la eficiencia de los SST se deben de colocar primeramente en un lugar adonde no les cubra una sombra de ningún tipo con el fin de mantenerlos expuestos a la radiación solar siempre. Además, es necesario que su ubicación tenga una orientación hacia el sur pues es esta la que va a garantizar mayor cantidad de radiación recibida durante el día, así como también una se sugiere una inclinación de 20°.

Es importante también considerar que la superficie del colector requiere de una limpieza cada cierto tiempo por la razón de que se llega a ensuciar con polvo, impurezas, hojas en algunos casos y en ocasiones se llega a formar musgo sobre él debido a las lluvias que ocurren en el lugar geográfico de ubicación del SST. Entre más limpio esté el colector, más radiación logrará capturar y ofrecerá un mejor suministro de agua caliente.

En el caso del tanque de almacenamiento, se debe de realizar el cambio de un ánodo de magnesio que se encuentra dentro de él para evitar que la corrosión ataque el recipiente. Esta pieza logra capturar la corrosión y evita que el tanque se deteriore; sin embargo, cada cuatro años es necesario reemplazarlo por uno nuevo para mantener el sistema de almacenamiento en buenas condiciones.

Para mayor eficiencia de los SST es necesario proveer al colector de una buena ubicación para que pueda capturar la mayor cantidad de radiación solar durante el día. Esta orientación en orden de prioridad se encuentra colocando el colector en dirección sur, sureste o en el peor de los casos hacia el este. La superficie colectora del SST debe de tener 20° de inclinación para así complementar la latitud del lugar geográfico adonde se encuentre instalado el sistema, esto para tratar de que siempre la radiación incida lo mayormente perpendicular sobre el colector.

6.1.4 *Vida útil*

Siempre y cuando se le brinde el correcto mantenimiento al sistema, este puede alcanzar a tener una vida útil de 25 años para el colector y de 12 años para el tanque de almacenamiento. Además, los fabricantes brindan 5 años de garantía para el colector y 2 años de garantía para el resto del sistema instalado.

3- Fuente: Verdipus. Costa Rica

6.1.5 Ventajas y desventajas de los SST

Los SST cuentan con la ventaja de no requerir un suministro eléctrico constante para calentar el agua debido a su eficiencia en la conversión de la energía de la radiación solar. Como se sabe, la energía solar es una energía limpia, renovable y gratis para cualquier ser humano. Además, los sistemas de calentamiento de agua potable constituyen una alternativa más a la reducción del consumo eléctrico en el hogar. Los SST son fabricados con materiales y tecnologías avanzadas por lo que son duraderos y aptos para cualquier tipo de vivienda.

Por otra parte esta aplicación recién cobra importancia y por lo tanto las tecnologías de fabricación son costosas; esto conlleva a que los sistemas no son accesibles para familias que cuentan con escasos recursos económicos.

6.2 Paneles fotovoltaicos.

6.2.1 Capacidades

Los paneles fotovoltaicos se encuentran disponibles una gran gama de capacidades. Generalmente para uso residencial o comercial, se pueden encontrar desde 1 W de potencia pico hasta los 210 W. Según el modelo, tienen diversas tensiones de operación desde los

6V siguiendo con 12V, 18V, 36V y 24V dependiendo también de la potencia entregada. Sin embargo, muchos fabricantes no distribuyen alrededor del mundo toda la variedad. Se encargan de distribuir los modelos de diferentes potencias en distintas zonas del planeta.

Usualmente en las viviendas, sin dejar de lado que depende de las cargas que se quieren alimentar, se utilizan paneles de 20 W en adelante.

6.2.2 Costos

Los costos de los módulos fotovoltaicos están asociados a muchos aspectos técnicos de los mismos; entre ellos la eficiencia, la tecnología a la que pertenecen (mono-cristalinos, policristalinos o amorfos), la marca, la potencia pico y también el país en que se encuentre el consumidor. Esto último se debe a que no en todo lugar se pueden importar estos dispositivos con los mismos costos de transporte o impuestos y demás.

Para las diferentes potencias en Watts se pueden hallar diferentes intervalos. En la tabla 6.1 se pueden ver algunos intervalos de precios para diferentes paneles fotovoltaicos.

Como es posible ver en algunos casos hay variabilidad en los precios de los módulos

disponible en el mercado. Esto se debe a diferencias en las tensiones nominales, fabricantes, tecnologías y otros aspectos.

Tabla 6. 1 Precios aproximados de paneles fotovoltaicos en la actualidad⁴.

Capacidad [W]	Precio aproximado [\$]
20	230-235
30	228
40	260
50	275-420
60-65	370-385
75	690-700
80-85	420-780
120-130	610-625
165	745-769
170-175	870-895
180-185	815-820
200-210	927-965

6.2.3 Eficiencia

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos variará según la tecnología de fabricación de los mismos, principalmente la eficiencia se verá afectada por la calidad de los materiales con los que ellos son elaborados. No se profundizara en las diferentes tecnologías de fabricación de estos equipos pues no es el alcance real del proyecto.

Generalmente la eficiencia de los módulos fotovoltaicos se encuentra entre un 10% y un 20%. Esta cualidad varía considerablemente el costo de los mismos debido a que obviamente entre más eficiente sea el panel, más energía será capaz de generar y por lo tanto más costoso será.

4- Precios obtenidos de la página web: <http://www.house-energy.com/Solar/Prices-PV.htm>

Se debe de considerar que los módulos fotovoltaicos, también vienen especificados para una cantidad de radiación solar y una temperatura. Según la teoría, los paneles suelen reducir la eficiencia a como aumenta la temperatura de las celdas; sin embargo, resulta irónico pensar que en los techos, lugar de usual instalación de los mismos, no se eleve la temperatura de los paneles. En realidad los techos aunque reciben mucha luz solar, por estar en lugares altos reciben también una gran cantidad de ventilación; esto permite que las celdas se mantengan a una temperatura aceptable y por lo tanto no se reduzca demasiado su capacidad de generación.

Asociado también al tema de la eficiencia se encuentra la orientación de los arreglos fotovoltaicos; estos dispositivos tienen que ser orientados preferiblemente de la misma manera que se discutió para los aparatos colectores de los SST. Esto proporcionará a las celdas fotovoltaicas mayor radiación disponible durante el día y por lo tanto mejorará la cantidad y calidad de la potencia entregada a las cargas. También, se le debe de dar el mínimo mantenimiento requerido para su buen funcionamiento; este consta de una limpieza periódica de la superficie de las celdas colectoras.

6.2.4 Vida útil

Generalmente los paneles fotovoltaicos, son fabricados bajo tecnologías que los hacen perdurar cerca de 25 años operando de manera satisfactoria para el cliente. Hay aun así casos en que los mismos llegan a operar por períodos más largos que los esperados debido al buen mantenimiento que se les ha dado y a la calidad de los módulos adquiridos desde el principio.

6.2.5 Ventajas

Fiabilidad: Los arreglos fotovoltaicos impiden las fallas de energía en situaciones donde se necesita una operación continua de las cargas alimentadas.

Durabilidad: A pesar de ser garantizados para una operación de 25 años, los módulos fotovoltaicos pueden operar durante mayores intervalos de tiempo sin necesidad de ser reemplazados; esto siempre y cuando se le brinde el mantenimiento requerido.

Bajos costos de mantenimiento: En comparación a los sistemas que utilizan combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, estos sistemas requieren solamente de inspecciones periódicas y mantenimiento ocasional para su funcionamiento. Esto resulta en un menor costo para el usuario de esta aplicación. No hay costo asociado a consumo de combustible: Como el sistema no necesita de ningún combustible para funcionar, los costos de

adquisición son nulos. Además, el no consumir combustibles fósiles ayuda a preservar el ambiente sano ya que es un sistema cero emisiones.

Reducción de la contaminación sonora: los sistemas fotovoltaicos operan de manera silenciosa y con movimientos mínimos.

Modularidad fotovoltaica: Los módulos fotovoltaicos se pueden añadir de forma gradual al sistema, de forma que se pueda aumentar capacidad instalada y la energía disponible

Independencia: Este tipo de generación es apta para lugares remotos en lo que se quiera o se tenga una independencia de la red de suministro eléctrico.

Desempeño en grandes alturas: El incremento de la radiación solar a grandes alturas sobre el nivel del mar optimiza la salida de energía, y por lo tanto crea una ventaja para el uso de sistemas fotovoltaicos. A diferencia de los módulos fotovoltaicos, los generadores disminuyen su capacidad conforme aumenta la altura de su ubicación por lo que resulta más eficiente un arreglo fotovoltaico que una planta de emergencia.

6.2.6 Desventajas

Costo inicial: Al tratarse de una tecnología relativamente nueva, los sistemas fotovoltaicos requieren de una inversión inicial alta y en algunos casos es inaccesible para familias de escasos recursos económicos con necesidades de energía eléctrica.

Variabilidad de la radiación solar disponible: Los cambios de clima afectan en gran medida este tipo de sistema energético por encontrarse basado en la energía solar muchas veces no disponible en épocas del año.

Almacenamiento de energía: algunos sistemas fotovoltaicos, especialmente los pertenecientes a sistemas autónomos, utilizan baterías para el almacenamiento de energía, con lo cual se incrementa el tamaño, costo y complejidad del sistema.

Aumento de la eficiencia: El uso de la tecnología fotovoltaica requiere de un consumo eficiente de energía, haciendo necesario el reemplazar los dispositivos ineficientes de la vivienda para disminuir el costo de la inversión inicial.

6.3 Aerogeneradores a pequeña escala

6.3.1 Requerimientos de instalación

Para instalar una turbina eólica de uso residencial en un lugar determinado, se deben de

cumplir ciertas condiciones físicas en la zona para que el proyecto sea viable. La principal de ellas consiste en la disponibilidad del recurso eólico a velocidades mayores o iguales a los 5 m/s en alguna dirección. Esta característica se puede cumplir a algunos metros de altura sobre el terreno dependiendo de la localidad en que se desee ubicar el aerogenerador.

También, se debe de contar con espacio suficiente para el levantamiento de la torre que mantendrá a una altura previamente determinada la turbina.

Para el estudio de la zona se puede recurrir a la colocación de anemómetros a diferentes alturas con el propósito de registrar el comportamiento durante varios meses del año y así poder sacar conclusiones sobre si se puede o no instalar un SEPE y de ser así, a qué alturas es recomendable colocar la turbina. Otro método utilizado consiste en un análisis de la vegetación del área en que se quiere producir la energía para así observar las deformaciones que los árboles sufren debido a las velocidades del viento que sopla en una dirección dada. Por medio de estimaciones se puede calcular la velocidad y dirección del viento disponible así como la máxima potencia a aprovechar con la aplicación.

6.3.2 *Tipos*

Los aerogeneradores pueden dividirse en distintos tipos, según sean de eje horizontal o vertical, el número de aspas que presentan o según la forma en que son capaces de redireccionar el viento. A continuación se da una breve explicación sobre las categorías en que se pueden encontrar las turbinas eólicas disponibles en el mercado.

6.3.2.1 Por número de aspas

De un aspa: Están constituidos por una única pala y un contrapeso. Este tipo de aerogenerador presenta velocidades de giro muy elevadas.

De dos aspas: Cuentan con dos palas. Son los más económicos y ligeros que existen en el mercado, sin embargo, necesitan una velocidad mayor para producir la misma cantidad de energía que el resto.

De tres aspas: La mayoría de los aerogeneradores presentan esta constitución, la principal razón es que presentan un 4% más de rendimiento que los de dos aspas.

Multipalas: Presenta múltiples palas y normalmente es utilizado para la extracción de agua en pozos. Este tipo de aerogeneradores no es muy común.

6.3.2.2 Por la forma en que se redireccionan respecto al viento

Mediante conicidad: Corresponden a aquellos que utilizan un motor para posicionar la góndola en cada momento, dependiendo de la dirección en la que sople el viento.

Mediante veleta: Utilizan una aleta en la parte anterior de la góndola, el viento choca transversalmente con este elemento, y mueve todo el conjunto. Este método solo es apto en pequeños equipos de poco peso.

Mediante molinos auxiliares: Se trata de construir varios molinos en distintas caras de la góndola, de esta manera se consigue que gire uno u otro dependiendo de la dirección del viento. Este es un sistema poco utilizado.

6.3.3 Capacidades

Los aerogeneradores eólicos son fabricados para diferentes tensiones nominales de operación en CD. Estas son similares a los valores utilizados para la generación con paneles fotovoltaicos, se pueden encontrar disponibles en 12, 24 o 48 V en la mayoría de los casos.

Para hablar en términos de potencias nominales disponibles se puede decir que el rango de valores de estas para uso residencial puede variar entre 40 W y 20 kW por aerogenerador.

6.3.4 Costos

El costo de una pequeña turbina eólica oscila entre \$1500 y \$3000 por kilowatt de potencia. A este valor del aerogenerador, se le deben agregar los costos de otros componentes a utilizar para la generación como la torre, el inversor, el controlador de carga, los materiales utilizados y la mano de obra en caso de que se contrate a personal para realizar la instalación del equipo en su totalidad. En general, el costo de la turbina puede representar entre 25% y un 50% del valor total del sistema; Un sistema completo típico cuesta entre US\$ 2000 y US\$ 4000 por kW disponible. En la tabla 6.2 se pueden ver algunos de los intervalos de precios para diferentes valores potencia de las turbinas disponibles en el mercado actual.

Tabla 6. 2 Precios aproximados de aerogeneradores eléctricos en el mercado en la actualidad ⁵.

Capacidad [W]	Precio aproximado [\$]	Capacidad [W]	Precio aproximado [\$]
40 - 60	563 - 981	1200 - 1300	6636 - 6875
100 - 120	870 - 2430	1400	10777
200 - 250	1403 - 2508	1500	16209
300 - 350	667 - 4066	1800	5069 - 20938
400 - 450	351 - 3835	2000	1830 - 11544
500	844 - 4623	2500	3872 - 25608
600	2348 - 16786	3000	5471 - 21123
750	1158 - 3901	5000 - 5800	7548 - 42239
800	1403 - 8753	6000	31327
900	5188	8000 - 8600	18727 - 20980
1000	1196 - 22236	10000	16889 - 37155

La variabilidad existente y notable de precios entre diferentes turbinas de la misma capacidad, radica plenamente en las diferencia de tecnologías con que son fabricadas ya que existen muchos fabricantes alrededor del mundo. También son variables los costos de estas aplicaciones debido a su diferencia entre los tipos de las mismas.

6.3.5 *Vida útil*

Un sistema eólico cuenta con una vida útil entre 15 y 20 años, siempre y cuando se le brinde un mantenimiento adecuado. Además, los fabricantes brindan de 1 a 3 años de garantía contra fallos de diseño y defectos de los materiales con que están contruidos.

6.3.6 *Ventajas*

Lo sistemas eólicos presentan varias ventajas, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

⁵-Precios obtenidos de la página web: www.allsmallwindturbines.com

Impacto mínimo al medio ambiente: este medio de generación de energía no emite sustancias tóxicas o gases, evitando la contaminación del aire, agua y del suelo. Además, la producción de energía por medios eólicos no contribuye al efecto invernadero ni al calentamiento global.

Utiliza el viento como recurso: Se estima que existe un potencial de energía eólica para suplir 15 veces la demanda actual de energía en el mundo, ya que el viento es una fuente de energía inagotable y abundante.

No utiliza combustibles: al abastecerse de un recurso natural que no tiene costo, se considera que es una de las fuentes más baratas para producir energía eléctrica. Es capaz de competir en rentabilidad económica con otras fuentes tradicionales como las centrales térmicas de carbón o con la energía nuclear, la cual tiene un impacto ambiental mucho mayor.

Operación simple: el sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica de las baterías, en caso de tenerlas, y una limpieza de las aspas en épocas secas.

Plazo de construcción relativamente rápido: si la etapa de pre-construcción ha sido cuidadosamente planificada y ejecutada, un parque eólico de 50 MW puede ser instalado en un año.

6.3.7 Desventajas

Entre las desventajas de un sistema eólico se presentan las siguientes:

Variabilidad del viento: para proyectos aislados se requiere de un mecanismo de almacenamiento en batería de la energía generada, para poder disponer de energía cuando no haya suficiente viento. Esto representa un costo adicional al sistema.

Alto costo inicial: en comparación con fuentes térmicas de generación, un sistema eólico tiene un alto costo inicial. A pesar de que puede resultar más económico a largo plazo por sus bajos costos de operación y mantenimiento, la inversión inicial requerida puede ser una barrera para la realización del proyecto.

Cantidad de viento: los aerogeneradores son una opción factible y rentable sólo en sitios con suficiente viento, por lo cual no pueden ser aplicados en cualquier lugar.

Impacto visual: desde el punto de vista estético, producen una alteración sobre el paisaje, ya que por sus características deben ser ubicados en cerros, colinas o litorales, en donde la

presencia de los aerogeneradores puede resultar molesto para las personas.

6.4 Mini-turbinas hidráulicas

6.4.1 Requerimientos de instalación

Para instalar una mini-turbina hidráulica se deben de cumplir ciertos requerimientos geográficos en la zona en que se desea construir la mini-central de generación. Se prefiere que existan ríos empinados o con un caudal considerable de forma cercana a la localización de las obras civiles, esto con el fin de ahorrar dinero en tuberías para llevar el agua hacia la toma del sistema. En general, es importante e imprescindible que el recurso hídrico se mantenga constante durante todo el año, o que por lo menos no deje de existir un caudal aprovechable para la conversión. Todas estas condiciones se dan usualmente en lugares montañosos en los que las lluvias constantemente aparecen o abundan.

Antes de instalar la mini-turbina se debe realizar un estudio de los recursos hídricos de la zona para calcular la cantidad de potencia disponible para generar la electricidad. Para esto es necesario hacer mediciones de caída y caudal del río, riachuelo o quebrada que se quiere aprovechar. Cabe resaltar que para cada combinación de caída con caudal existen valores distintos de potencia eléctrica que se pueden producir; sin embargo, hay valores mínimos de caída y de flujo de agua que merecen ser explotados. Estas medidas son 1m y 0.60 l/s respectivamente. Idealmente se deben realizar medidas durante un año para lograr conocer los parámetros del río de manera segura; no obstante, esto no es práctico ni económico para un usuario residencial, por lo tanto, se puede recurrir a datos registrados por entes municipales o de algún organismo encargado de realizar mediciones hidrográficas del país.

6.4.2 Tipos

6.4.2.1 Turbina Pelton

Es muy parecida a las turbinas Pelton utilizadas a las turbinas que son utilizadas en las grandes centrales. Puede ser de eje vertical u horizontal y suele ser utilizada en lugares con caídas de algunos centenares de metros y caudales pequeños. Su velocidad puede ser regulada por medio de inyectores que dirigen los chorros de agua hacia los pequeños álabes de la turbina. Sus álabes están formados por cucharas dobles (Ver figura 6.1).



Figura 6. 1 Rodete de una mini-turbina Pelton.

Ocupa por lo general poco espacio en casa de máquinas y tiene una alta eficiencia. Son el tipo más utilizado en las mini-centrales, porque son las más adecuadas para aprovechar el potencial de caudales reducidos.

6.4.2.2 Turbina Turgo

Es un tipo de turbina similar a una Pelton con la diferencia de que su rodete cuenta con una cuchara simple por álabe. Es decir, como si se hiciera un corte transversal a un rodete tipo mencionado anteriormente. (Ver figura 6.2) La mini-turbina Turgo puede manejar caudales más grandes que la mini-turbina Pelton con el inconveniente de ser un poco menos eficiente.



Figura 6. 2 Rodete de una mini-turbina Turgo.

Este tipo de turbinas está hecho para trabajar con caídas de agua desde 30 m hasta 300 m y caudales desde 3.7 l/s hasta 19 l/s.

6.4.2.3 Turbina Francis

La mini-turbina Francis es una turbina de reacción mayormente usada para mini- centrales de tamaño medio. Son un modelo a escala de las turbinas del mismo tipo usadas en las grandes centrales hidroeléctricas. La ventaja de esta mini-turbo máquina consiste en que logra el aprovechamiento de toda la caída disponible.

La construcción compleja, la alta velocidad de rotación que provoca fricción y desgaste, y algunos problemas de estanqueidad, hacen problemática la instalación de estas turbinas en las centrales pequeñas. Está hecha para caídas menores de 100 m y para caudales de 380 l/s a 3000 l/s.



Figura 6. 3 Rodete de una mini-turbina Francis.

Usualmente es usada en mini-centrales de al menos 100 kW de potencia instalada.

6.4.2.4 Turbina de flujo radial o cruzado

Se trata de una turbina de entrada radial del agua que se caracteriza por una doble acción del fluido sobre las palas o álabes (Ver figura 6.4). La transmisión del movimiento al generador se debe a una correa dentada. Generalmente los componentes metálicos están hechos de acero inoxidable.

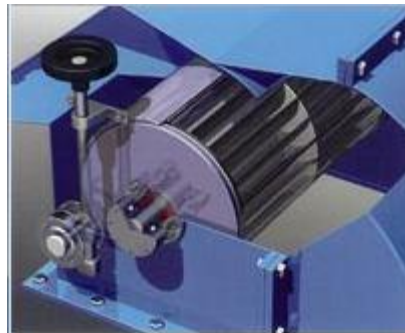


Figura 6. 4 Rodete de una mini-turbina de flujo cruzado.[46]

Es una maquina utilizada exclusivamente para centrales de potencia reducida. Es apta para

saltos máximos de 100 m y para caudales de 20 l/s a 1000 l/s.

El rendimiento de las turbinas de flujo cruzado es menor que el de las turbinas Pelton; sin embargo, tienen una mayor facilidad constructiva y una mejor adaptabilidad a caídas bajas.

6.4.2.5 Turbina Kaplan

Este tipo de turbinas son turbinas de reacción y se componen básicamente de una cámara de entrada, un distribuidor fijo, un rodete de 4 o 5 álabes fijos en forma de una hélice de barco y un tubo de aspiración. Usualmente son utilizadas en caídas de agua muy pequeñas (menores a 5 metros) con caudales altos. (Ver figura 6.5)

En resumen, la tabla 6.3 explica muestra los diferentes tipos de turbinas que se pueden usar en cada intervalo de caídas posibles.



Figura 6. 5 Rodete de una mini-turbina Kaplan.[47]

Tabla 6. 3 Tipos de mini-turbina hidráulicas a utilizar según el valor de la caída neta

Alta caída (más de 100 m)	Mediana caída (de 20m a 100 m)	Baja caída (de 5m a 20 m)
Pelton de un inyector Turgo	Flujo cruzado Turgo Pelton de varios inyectores	Flujo cruzado Turgo de varios inyectores
-	Francis	Kaplan

6.4.3 Capacidades

Básicamente, estos sistemas de mini-turbinas vienen acoplados directamente a un generador de CD o a uno CA. Es decir, se venden los grupos turbina-generador prediseñados. Las potencias disponibles también dependen de la altura y el caudal de los que se dispongan. Sin embargo, usualmente la mayor potencia que se instala para uso residencial son grupos de

lo más 100 kW cuando se trata de varias viviendas conectadas a una misma mini-central. Cuando se quiere aprovechar una pequeña quebrada o riachuelo, se acoplan las turbinas en su mayoría Pelton o Turgo con generadores de capacidades que van desde los 300 W a 12 V CD hasta 5 kW en tensiones de 220V CA y de 110V CA. Según sea el caso se necesitará de un inversor para convertir la energía de CD a su homóloga en CA. Los niveles de tensión de CD son 12 V, 24 V y 48V.

6.4.4 *Costos*

En los aprovechamientos de energía hidráulica los costos aumentan a como disminuye la potencia instalada, siendo inversamente proporcionales los costos del sistema a la escala del proyecto. Los precios de los grupos pueden andar entre \$3000/kW y el \$5000/kW para muchas de las turbinas, habiendo sus excepciones también ya que se pueden encontrar grupos turbina-generator en \$2000; sin embargo, estos poseen valores de eficiencia del orden del 60%. Es importante siempre tener en claro que se desean sistemas lo más eficientes posibles pero ese aspecto siempre conllevará al alza de los precios de los equipos de generación.

6.4.5 *Ventajas*

Fuente limpia y renovable de energía: No consume agua sino que sólo la utiliza. Tampoco emite gases de efecto invernadero y los impactos locales no son significativos. Además, se trata de un recurso inagotable, en tanto y cuando el ciclo del agua perdure y se conserve la cuenca de los ríos aprovechados.

Disponibilidad del recurso: Este recurso está disponible en muchas partes de América Central.

Bajos costos de operación: No consume combustibles para su funcionamiento y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas por lo que los gastos de operación resultan ser bajos.

Disponibilidad de energía: La generación de energía generalmente es continua y su disponibilidad es predecible.

Funciona a la temperatura ambiente: No necesita de sistemas de refrigeración o enfriamiento ni calderas que pueden ser elementos contaminantes.

Eficiencia: La tecnología tiene una alta eficiencia en la conversión de la energía potencial o cinética del agua a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%), mayor que la eficiencia

de otras tecnologías de generación.

Solidez: La tecnología es robusta y tiene una vida útil larga. Los sistemas pueden funcionar 50 años o más sin requerir mayores inversiones que para reemplazar algunos componentes.

6.4.6 Desventajas

Alto costo inicial: La inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto, como por ejemplo en la ejecución de estudios, construcción de la obra civil, y la compra del equipo electromecánico.

Disponibilidad local: La tecnología depende de las condiciones topográficas e hidrológicas, entonces no está disponible en cualquier sitio.

Potencia máxima: Ésta es limitada y está definida por el recurso natural en un sitio.
Variabilidad del caudal: Los caudales de agua pueden variar considerablemente durante las diferentes temporadas secas o lluviosas lo que tiene impacto en la generación de energía.

Necesidad de estudios: Los pequeños proyectos hidroeléctricos, en particular las pequeñas centrales, requieren de estudios técnicos elaborados para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica. Esto implica un costo y un plazo significativo en la puesta en marcha del proyecto.

6.5 Baterías

Las baterías utilizadas en las aplicaciones residenciales de energías renovables sirven para almacenar la energía producida en forma de corriente directa de una manera química con el fin de utilizarla posteriormente. Principalmente en los sistemas fotovoltaicos, son útiles ya que la energía se necesita también por la noche y durante períodos nublados.

Los bancos de baterías pueden brindar una fuente relativamente constante de energía cuando las aplicaciones de generación instaladas producen cantidades mínimas, por ejemplo períodos de insolación reducida, ausencia de vientos o disminución del caudal de los ríos.

En sistemas de energía renovable se utilizan comúnmente los siguientes tipos de baterías.

6.5.1 *Baterías de plomo-ácido*

6.5.1.1 Ventiladas de electrolito líquido (vaso abierto)

Las baterías de vaso abierto son similares a las de automóvil. Están hechas de placas de plomo positivas y negativas sumergidas en una solución electrolítica de agua y ácido sulfúrico. Poseen una tapa por medio de la cual se tiene acceso al electrolito, esto se debe a que con cada carga y descarga las baterías emanan hidrógeno gaseoso por lo que van perdiendo el agua interior y deben ser rellenadas periódicamente. Necesitan de un controlador de tensión eléctrica con el fin de monitorear la tensión de la batería.

6.5.1.2 Selladas

Estas baterías se consideran libres de mantenimiento pues no hay manera de acceder al electrolito. Los dos tipos de baterías selladas son la de celda de gel y la de lana de vidrio absorbente.

En las de celda de gel el electrolito se lleva a estado coloidal por medio de la adición de sílice gel a la mezcla. En las de lana de vidrio, se utiliza una tela de vidrio de sílice cuya fibrosidad ayuda a mantener el electrolito. Esta tela suministra los depósitos necesarios para ayudar a recombinar los gases generados durante la carga y así limitar la cantidad de hidrógeno gaseoso producido.

La ausencia de mantenimiento de este tipo de baterías las convierte en una buena elección para aplicaciones ubicadas en lugares remotos donde el mantenimiento regular no resultaría económico.

6.5.2 *Baterías alcalinas*

Generalmente las placas de este tipo de baterías están hechas de níquel y cadmio o de níquel y hierro y están inmersas en un electrolito de hidróxido de potasio.

Muchas veces son caras; sin embargo, tienen la ventaja de que no son afectadas por la temperatura como otros tipos de baterías, sólo son usadas para aplicaciones comerciales e industriales en las que se den temperaturas muy frías.

Para la mayoría de las aplicaciones de energía renovables residenciales, la opción más acogida es usar baterías de plomo ácido. Estos componentes pueden constituir la mayor parte del costo de mantenimiento de un sistema de energía renovable debido a que su vida

útil se encuentra entre los 5 y 6 años, sin embargo son necesarias para darle confiabilidad y flexibilidad al sistema en sí.

A la hora de diseñar un banco de baterías se deben de tomar en cuenta las siguientes variables que lo pueden afectar:

- Días de autonomía deseados
- Capacidad de las baterías en Amperios-Hora (Ah)
- Profundidad de la descarga
- Esperanza de vida útil
- Condiciones del ambiente de la instalación
- Precio y garantía
- Mantenimiento

6.5.3 *Diseño de un respaldo de baterías*

Para dimensionar un respaldo de baterías se deben de tomar en cuenta ciertas características de las mismas como los días de autonomía que el usuario quiere tener en caso de que su sistema de energía renovable no le genere la suficiente energía necesaria, el régimen de descarga de las mismas, la tensión del sistema que se quiere respaldar y la capacidad nominal en Amperios-hora [Ah] de las baterías que se desean instalar.

Para el diseño del respaldo, se deben de utilizar las siguientes ecuaciones siguiendo una serie de pasos que se detallan a continuación.

Paso 1: Determinar tanto los valores de carga promedio en W/día tanto para CA como para CD. Además se debe de conocer la eficiencia del inversor y la tensión del sistema a alimentar. Con estos datos se puede utilizar la ecuación 1 para obtener la cantidad de amperios-hora promedios consumidos por día (Ah/día).

$$\frac{\text{Ah promedio}}{\text{día}} = \frac{\left[\left(\frac{\text{carga diaria promedio CA}}{\text{eficiencia del inversor}} \right) + \text{carga diaria promedio CD} \right]}{\text{Tensión del sistema}} \quad (1)$$

Paso 2: Conociendo la cantidad de amperios-hora promedio por día calculados en el paso 1, escogiendo la cantidad de días de autonomía que se desea tener, qué tanto se le permitirá a las baterías descargarse (en términos de porcentaje, por ejemplo: 20%, 30%, 50%), y la

capacidad de las baterías que se quisieran utilizar, se puede calcular el número de baterías que se deben de conectar en paralelo en el banco. Este cálculo se lleva a cabo utilizando la ecuación 2.

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\frac{\text{Ah promedio}}{\text{día}} \times \text{días de autonomía}}{\text{Limite de descarga} \times \text{Capacidad de la batería en Ah deseada}} \quad (2)$$

Paso 3: Para este paso se debe de conocer la tensión nominal de las baterías que se desean utilizar en el respaldo y la tensión del sistema a alimentar. Haciendo uso de las ecuaciones 3 y 4 se puede calcular el número de baterías en serie y finalmente el número total de baterías que conformarán el banco.

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Tensión en CD del sistema}}{\text{Tensión nominal de cada batería en CD}} \quad (3)$$

$$\text{Total de baterías del banco} = \text{Baterías en serie} \times \text{Baterías en paralelo} \quad (4)$$

6.5.4 Capacidades

Las baterías para uso residencial están disponibles para distintos valores de tensión CD, generalmente 2V, 6V y 12V.

También, se pueden encontrar de acuerdo a su capacidad de brindar una cantidad de corriente eléctrica por un número de horas determinado, esto significa que mientras más grande sea su capacidad en Ah, más energía podrán suministrar por más tiempo y por lo tanto su precio será cada vez mayor. Los valores de Ah que hay disponibles para las baterías son 105Ah, 110Ah, 120Ah, 150Ah y 250Ah.

6.5.5 Precios

Los valores de las baterías se encuentran entre los \$234 y \$715 según su capacidad. La tabla 6.4 contiene algunos precios para las baterías disponibles en el país. Como se puede apreciar los precios pueden variar significativamente de acuerdo al fabricante de las mismas.

Tabla 6. 4 Precios aproximados de baterías en el mercado actual.

Capacidad [Ah]	Precio [\$]
105	386
110	259
120	539
150	445
250	715

6.6 Inversores

El propósito fundamental del inversor es cambiar la corriente directa producida por una fuente determinada a corriente alterna para alimentar cargas de este tipo de consumo.

6.6.1 Tipos de inversores

Los inversores se pueden clasificar por la forma de onda de salida que producen. Entre ellos están los siguientes.

- Onda cuadrada
- Onda cuadrada modificada
- Onda sinusoidal

6.6.1.1 Inversores de onda cuadrada

Estos cambian la entrada de corriente directa en una salida de corriente de forma cuadrada. Ellos brindan poco control de la tensión de salida, capacidad de sobretensión limitada y una distorsión armónica considerable. Son apropiados solo para pequeñas cargas de calentamiento resistivo, aparatos eléctricos pequeños y bombillos incandescentes. Son inversores baratos pero pueden llegar a quemar los motores de ciertos equipos y no se usan normalmente en los sistemas residenciales.

6.6.1.2 Inversores de onda cuadrada modificada

Este tipo de inversores utiliza transistores de efecto de campo (FET) o rectificadores de control de silicio (SCR) para cambiar la entrada de corriente directa en una salida de corriente alterna. Pueden manejar grandes sobretensiones y producir salidas con mucha menos distorsión

armónica. Sin embargo, ciertos aparatos eléctricos pueden sacar el ruido del inversor cuando trabajan con un inversor de onda cuadrada modificada.

6.6.1.3 Inversores de onda sinusoidal

Se utilizan para operar dispositivos electrónicos sensibles que requieren una forma de onda de alta calidad. Estos inversores están diseñados específicamente para producir salidas con poca distorsión armónica por lo que pueden operar aun los más sensibles equipos electrónicos. Tienen una alta capacidad de sobretensión y pueden arrancar muchos tipos de motores sin ningún problema. Para aplicaciones acopladas a la red debe usar un inversor de onda sinusoidal. Son los inversores más comunes en las aplicaciones residenciales.

6.6.2 Características estándar de los inversores

Alta eficiencia: En la actualidad, la mayoría de los inversores convierten el 90% o más de la corriente directa de entrada en corriente alterna de salida. Sin embargo, solo son eficientes cuando se operan con algunos valores de salida o cercanos a esos previamente determinados. Debido a que con frecuencia el inversor se usa para alimentar cargas por debajo de su capacidad nominal, es acertado escoger una unidad certificada como de alta eficiencia para un intervalo amplio de cargas.

Bajas pérdidas de espera o stand-by: Debe de comportarse de manera muy eficiente en los momentos en que no hayan cargas operando.

Regulación de frecuencia: El inversor debe siempre mantener 60 Hz o 50 Hz a la salida a pesar de que varíen las condiciones de entrada según sea el caso.

Distorsión armónica: Debe poder suavizar los picos de salida indeseables para minimizar efectos de calentamiento que puedan ser dañinos para los aparatos conectados.

Facilidad de reparación y mantenimiento: El inversor debe contener circuitos de tipo modular que sean fácilmente reemplazables en el campo en caso de averías.

Fiabilidad: Debe brindar la confianza de un bajo mantenimiento a largo plazo. Usualmente la vida útil de estos aparatos está entre 10 y 15 años.

6.6.3 Características opcionales de los inversores

Además, estos dispositivos pueden tener la capacidad de operar en serie en sistemas de inversores múltiples o en paralelo con el fin de poder operar cargas a mayor tensión o mayor

cantidad de cargas a la vez.

6.6.4 Capacidades

Los inversores usualmente se clasifican de acuerdo a la potencia nominal de los mismos. Usualmente para uso residencial se utilizan inversores de onda senoidal, los cuales existen en capacidades de 300W, 400W, 600W, 750W, 1200W, 1500W, 2500W, 2800W,3000W, 3600W, 3900 y en adelante hasta los 6000W. Se debe de tener claro que también se pueden hallar de acuerdo a su tensión de operación en CD, por ejemplo 12V, 24V, 48V y más, aunque en aplicaciones para uso en viviendas los más comunes son los que convierten de 12V en CD a 120V en CA. En caso de que se necesite una tensión de operación mayor o trasegar una potencia mayor, se puede proceder a conectar varios en serie o en paralelo respectivamente.

6.6.5 Precios

El valor económico de estos dispositivos varía según la potencia que es capaz cambiar el aparato. En la tabla 6.5 se pueden ver algunos valores de los precios que pueden tener los inversores en el mercado actual.

Tabla 6. 5 Precios aproximados de inversores en el mercado actual.

Capacidad [W]	Precio [\$]
300	216
400	350
600	700
750	850
1200	1030
1500	1094
2500	2200
2800	2040
3000	3705
3600	2600
3900	2163
6000	3974

7. Especificaciones de equipo para sistemas autónomos de energía renovable para uso residencial

En este capítulo se plantea un cálculo detallado de las cargas que podrían instalarse en una vivienda ubicada en un lugar remoto o a alguien que desea autoabastecer sus necesidades energéticas, suponiendo que es posible aprovechar los recursos eólicos, solares e hídricos disponibles para abastecer las cargas eléctricas y las cargas térmicas, por ejemplo la cocción y el calentamiento del agua potable. Se realizará un breve análisis de las opciones energéticas disponibles para suplir las necesidades eléctricas de la residencia a suplir.

7.1 Estimación de la demanda total de la residencia a equipar

En general, la carga total de una residencia usualmente está compuesta por la iluminación, el calentamiento de agua y la demanda de electrodomésticos tales como aparatos de entretenimiento, cocina, limpieza, entre otros.

Para el caso a analizar se tomará una serie de consideraciones iniciales, entre ellas: se prescindirá de una cocina eléctrica, partiendo del hecho de que el problema de cocción de los alimentos en una zona aislada de la red de servicio eléctrico, se puede solucionar utilizando una estufa a gas. El calentador eléctrico de agua se sustituirá por una solución más ecológica, un sistema solar de agua caliente (SST) de tipo termosifón con calentador resistivo de respaldo de 4500W⁶ como el de la figura 7.1, con la idea de destinar la menor cantidad de electricidad para tal función. Con este cambio se produce un ahorro de aproximadamente 270 kWh, que corresponde al consumo de energía promedio mensual de un calentador eléctrico convencional. Sin embargo, se tomará en cuenta el uso del calentador de respaldo para períodos en que la radiación solar disminuya considerablemente.

6- Valor de potencia disponible para un calentador eléctrico de respaldo de un SST termosifón marca ECOSUN®.



Figura 7. 1 SST tipo termosifón.

Previo al dimensionamiento de los sistemas necesarios de abastecimiento de energía, se debe conocer de qué manera están dispuestas las cargas en la vivienda para así conocer su potencia nominal, los períodos de utilización de cada una y como dato importante cuales son aquellas que demandan más potencia. Estos datos ayudan al cálculo de la demanda total de la vivienda y el consumo de energía en distintos períodos de tiempo.

Se tomaran en cuenta cantidad y tiempo de uso de equipos de iluminación, cocina, entretenimiento y equipos para la limpieza del hogar.

La fuente utilizada para estimar los datos de potencia nominal de los diferentes equipos, ya sean de cocina, entretenimiento o limpieza, son tomados del documento “Micro Hydropower Systems: A Buyer’s Guide”⁷.

La tabla 7.1 muestra un resumen de los equipos a utilizarse en la residencia con sus respectivos datos de potencia nominal, horas de uso al mes y energía consumida total mensual.

Ahora, sabiendo la demanda total de la vivienda (11477 kW) se puede plantear una solución elaborada a partir de tecnologías que utilicen fuentes de energía renovables para satisfacer las necesidades del hogar durante todo el año.

7 Ver Apéndice A.1

Tabla 7. 1 Estimación de consumo de electricidad de una residencia habitada por dos personas.

Tipo de Carga	Potencia [W]	Horas de uso al día	Horas de uso al mes	Energía consumida por mes [kWh]
Iluminación (8 lámparas fluorescentes compactas de 15 W)				
4 lámparas	60	3	90	5,40
2 lámparas	30	2	60	1,80
2 lámparas	30	1	30	0,90
Cocina				
Horno Microondas	900	10 min	5	4,50
Tostador	1200	10 min	4	4,80
Coffeemaker	800	0.5	15	12,00
Refrigerador	500	7	210	105,00
Licuadaora	300	3 min	1,5	0,45
Batidora	150	3 min	1,5	0,23
Lavandería				
Lavadora	1450	4 min	2	2,90
Calentador de respaldo	4500	2 min	0,5	2,25
Plancha	1000	8 min	1,5	1,50
Entretenimiento				
Televisor 21"	130	2	60	7,80
Radio	120	1	30	3,60
Cargador de celular	7	1	30	0,21
Computadora de escritorio	300	1.5	45	13,50
Demanda total	11477	Total consumido por mes		166,84

No obstante, se sabe que para poder ser independiente de la red local de electricidad durante los 365 días del mismo, se deben de tomar en cuenta los cambios de clima de la zona; por ejemplo es necesario considerar que en el verano es probable que el caudal de los ríos disminuya un cierto porcentaje y la radiación solar aumente de manera notable. Por otra parte, en la estación de invierno o lluviosa puede aumentar el caudal de los ríos volviendo el recurso hídrico más aprovechable que el recurso solar. Para el caso del recurso eólico se supondrá que la velocidad del viento tiene un valor mínimo de 15 m/s (este es un valor intermedio entre el cut-in-speed y el cut-out-speed los están entre los 4 m/s y los 20 m/s respectivamente) a partir de los 15 metros de altura durante todo el año.

Además, se debe tener en cuenta que no en todo momento se estarán utilizando todas las cargas de la vivienda; por lo tanto, se puede aplicar un factor de demanda del 70% (valor típico para instalaciones residenciales) como criterio de diseño. El uso de este porcentaje permite calcular cuánto será la máxima potencia requerida por la residencia en un momento dado.

Para saber este valor de potencia se utiliza la ecuación 5.

$$P_{mr} = P_{total} \times \text{Factor de demanda} \quad (5)$$

Donde P_{mr} es la potencia máxima requerida y P_{total} es la demanda total de la residencia. Por lo tanto, utilizando la ecuación 5 se obtiene P_{mr} de la siguiente manera

$$P_{mr} = 11477 \times 0.7 = 8034 \text{ W}$$

Con base en ese valor de P_{mr} ya se puede proceder a dimensionar el equipo de generación necesario para abastecer esa potencia, basándose siempre en el uso eficiente de la energía y la conservación de la misma.

A continuación, se procederá a escoger las aplicaciones que se podrían utilizar para abastecer de energía la vivienda planteada.

7.2 Aprovechamiento de la energía solar térmica

La radiación solar disponible en el lugar se puede aprovechar con el fin de extraer de ella la energía calórica y utilizarla para calentar agua potable. Esto ayuda al ahorro de electricidad en el calentamiento de agua para la preparación de alimentos o para el aseo diario.

Para satisfacer estas necesidades, es posible utilizar un SST doméstico como los descritos en la sección 5.5.2. Al tratarse de una residencia de una sola planta, no es necesario utilizar un SST forzado o activo, como los mostrados en las secciones 5.5.2.3, 5.5.2.4 y 5.5.2.5. Para este caso se debe utilizar un SST pasivo de tipo termosifón similar al de la figura 5.4.

En el país, se encuentran disponibles estos sistemas con la única diferencia de que para el calentador de respaldo no se necesita de otro tanque sino que en el mismo recipiente de almacenamiento del SST se halla una resistencia de calefacción controlada por un termostato,

el cual permite activar el calentador de respaldo en épocas frías y de pobre radiación solar evitando que el usuario pierda el suministro de agua caliente.

El sistema a utilizar en el diseño es semejante al de la figura 7.2. El colector está formado por una caja de metal que contiene una tubería de cobre por la cual circulará el agua. Esta caja está cubierta por una lámina de vidrio solar y tiene un aislamiento de lana de piedra de 3 cm para garantizar su eficiencia y minimizar las pérdidas de calor en períodos de ausencia de Sol. Colector y tanque se colocarán en el techo de la vivienda (Ver figura 7.3) preferiblemente en dirección sur para así lograr aprovechar en la mayor cantidad posible la radiación solar. La inclinación del colector debe ser de al menos 20° sobre la latitud del lugar geográfico para así lograr la máxima eficiencia del mismo.



Figura 7. 2: SST termosifón a utilizar en la vivienda para el calentamiento de agua potable.

Para la instalación de SST se debe de cumplir con los siguientes requerimientos, una prevista para agua fría de PVC de 3/4", una prevista para agua caliente de CPVC que puede ser de 3/4" y finalmente tres líneas de alambre #8AWG para una instalación de 220V con su respectivo disyuntor doble de 30A.

El tanque a utilizar para esta aplicación es de 53 galones (200 L aproximadamente) que es uno de los sistemas más pequeños que se puede encontrar en el mercado actual. Este sistema es suficiente para satisfacer la demanda de agua caliente de 4 a 6 personas según las especificaciones del fabricante. La totalidad del sistema tiene un peso de 120 kg vacío y 320 kg a su máxima capacidad y cubre un área de 3.61 m^2 . Lo anterior para diseño de instalación ha realizarse completamente nueva.

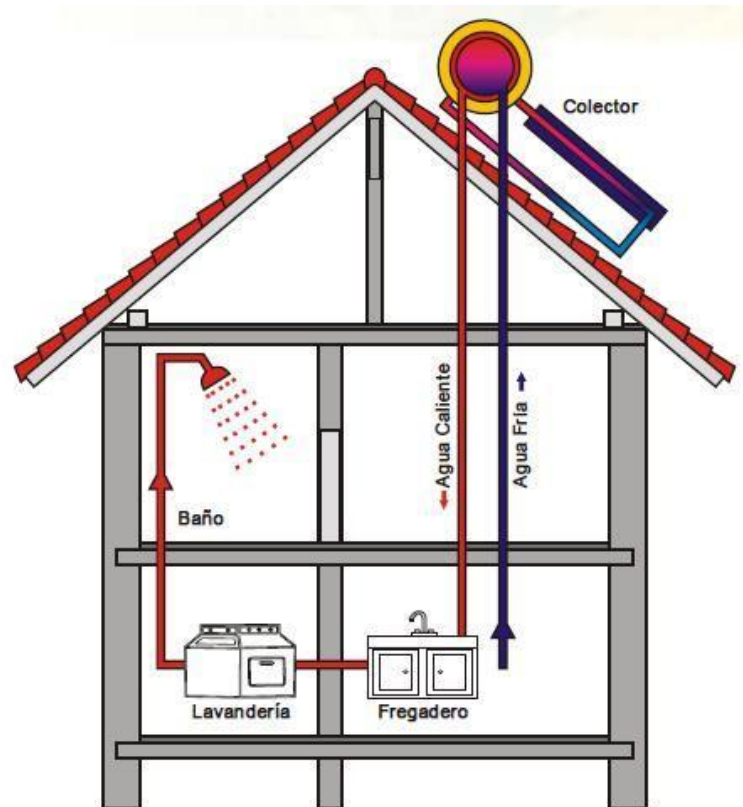


Figura 7. 3: Diagrama de ubicación del SST termosifón en la vivienda.

El SST cuenta con un termostato que activará el calentador de respaldo una vez que se detecte que el agua dentro del tanque tiene una temperatura por debajo de los 60° para lograr mantener una temperatura de agua caliente aceptable. Además en la parte trasera inferior del tanque existe un termo-válvula que se abrirá cuando la temperatura del agua del tanque sobrepase los 90° y liberará una cierta cantidad de agua para que esta sea reemplazada por agua fría de la red hídrica y así volver a alcanzar un valor de temperatura dentro del recipiente.

Esta aplicación logra eliminar el gasto de electricidad en el calentamiento de agua que usualmente consumiría un calentador eléctrico convencional de la misma capacidad (aproximadamente 270kWh/mes) utilizando una fuente muy limpia de energía con ayuda de equipo eficiente.

A continuación se presentan dos posibles maneras de aprovechar los recursos energéticos naturales de la zona para la generación de electricidad con fines residenciales.

7.3 Aprovechamiento de las fuentes de energía solar, eólica e hidráulica para el abastecimiento de sistemas eléctricos residenciales

Como es de suponerse, no son pocas las posibles opciones de explotación de los recursos de una zona determinada con fines energéticos. Existen muchas maneras de combinar las potencias a extraer de diferentes medios como el viento, la energía fotovoltaica y la energía hidráulica.

Todo depende de las condiciones originales del lugar en que se quieran implementar las aplicaciones de energía renovable. Es muy probable que en algunos lugares del país sólo valga la pena explotar el recurso hidráulico o sólo el recurso solar debido a la pequeña demanda eléctrica de la carga principal o de la cantidad de recurso disponible en el lugar. Sin embargo, existen usuarios que podrían preferir la utilización de dos fuentes distintas a la vez o sitios donde la explotación de varias fuentes sea factible, esto permite construir sistemas híbridos que se puedan respaldar entre sí de acuerdo al cambio en las condiciones climáticas del área a lo largo del año y/o a las fluctuaciones de potencia demandada, la cual puede también variar.

Siempre es necesario que se cuente con un plan de ahorro energético en la residencia de manera que no se desperdicie energía ya que este problema en ocasiones puede llevar a sobrecargar los circuitos alimentadores y por lo tanto estaría sobrecargando el equipo que se esté utilizando para la producción de la energía ya sean paneles fotovoltaicos, mini-turbinas hidráulicas o generadores eólicos.

A continuación, se presentan dos alternativas para el aprovechamiento de recursos renovables con el fin de demostrar que existen varias maneras de cubrir una demanda eléctrica haciendo uso de varias fuentes a la vez.

7.3.1 Opción de un sistema micro-hidroeléctrico y solar fotovoltaico

Para cubrir la demanda de los 8034 kW necesarios en la vivienda se procedió a dividir este monto de potencia entre las fuentes solar e hidráulica. Antes de asignar la potencia se debe de tomar en cuenta que en períodos en que un recurso escasee, como por ejemplo la radiación solar en invierno, la fuente energía alterna debería ser capaz de compensar el faltante de la potencia ausente para no sacrificar el confort del usuario.

Fue difícil hallar especificaciones de mini turbinas hidráulicas debido a que en realidad en el mercado se venden contra pedido en la mayoría de los países y son fabricadas luego de que

el productor haya recibido las especificaciones del comprador sobre sus requerimientos. Para esta opción se acude a una turbina de potencia de 4000W pues es la única para la cual se encontraron algunas pocas especificaciones y precio a la vez. En la tabla 7.2 se pueden observar algunas especificaciones del grupo turbina-generador.

Tabla 7. 2: Especificaciones generales del grupo turbina-generador Kaplan

Hydro Turbines

Marca	HYDRO TURBINES
Potencia nominal (W)	4000
Tensión nominal (V)	220/110
Caída recomendada (m)	2
Caudal recomendado (l/s)	300
Frecuencia (Hz)	60
Fases	1

Este grupo turbina generador al tener una capacidad de 4 kW es capaz de suministrar una energía diaria de 96 kWh a una tensión se 220V en CA si opera durante 24 horas diarias. Esta energía se genera de una vez como corriente alterna por lo que no es necesario un inversor a menos de que se quiera rectificar y almacenarla como corriente directa para su posterior uso. Por la tensión y la frecuencia nominal, 220V y 60 Hz respectivamente, produce energía compatible con la mayor parte de las aplicaciones de uso residencial que se utilizan en el país. Además, esta máquina genera la energía suficiente para satisfacer las necesidades primordiales como refrigeración, iluminación, comunicación y lavado de ropa; en caso de que no exista mucha radiación solar incidente sobre los módulos o que el sistema fotovoltaico falle. Sin embargo, usualmente los arreglos fotovoltaicos están asociados a unas baterías que permiten almacenar energía en forma de corriente directa para su uso en ocasiones en que los módulos no operen a su máxima capacidad o presenten alguna avería.

En total, si se explotan los recursos hídricos con el grupo turbina generador para asegurar 4kW de la demanda máxima instantánea, se debe de acudir a otra fuente que supla la potencia instalada necesaria para ajustar los 8034W que se pueden presentar en ocasiones como carga de la vivienda. En esta ocasión se acude a la tecnología fotovoltaica.

Para averiguar la potencia necesaria a instalar a base de módulos fotovoltaicos, se realiza el siguiente cálculo:

$$P_{fv} = 8034W - 4000W = 4034W$$

Para este sistema se tratará de instalar la menor cantidad de paneles fotovoltaicos posibles con el propósito de no saturar un lugar determinado con los mismos. Por lo tanto, se utilizarán módulos de 210W los cuales corresponden a la mayor potencia nominal actual disponible en el mercado. Entonces, se debe calcular el número total de paneles a montar en la residencia. Este cálculo se lleva a cabo así:

$$\# \text{ de paneles} = \frac{4034W}{210W} = 19.2 \text{ paneles} \approx 20 \text{ paneles}$$

Entonces, al utilizar 20 módulos de 210W la potencia instalada a partir de aprovechamiento solar debe ser calculada así:

$$P_{fv} = 20 \times 210 = 4200W$$

Para determinar el modelo se buscó una marca de módulos fotovoltaicos que fuese distribuida en el país y esa resultó ser la marca Kyocera. El modelo que corresponde a la capacidad de 210W es el KD210GX-LP. Las especificaciones básicas del mismo se pueden ver en la tabla 7.3 y más detalles se pueden observar en su hoja del fabricante en el apéndice A.3.

Tabla 7.3 Especificaciones básicas del panel fotovoltaico Kyocera KD210GX- LP.

Marca	Kyocera
Potencia nominal (W)	210
Tensión nominal (V)	26.6VCD
Corriente nominal (A)	7.90
Tensión de circuito abierto (V)	3
Corriente de cortocircuito (A)	2.35
Número de celdas por módulo	54
Peso (kg)	18
Dimensiones (largo x ancho x alto)(mm)	1500x990x36
Eficiencia (%)	16

Esta se encuentra en corriente directa (la que proviene de los módulos fotovoltaicos) y en corriente alterna (la generada por el aprovechamiento hidráulico de la zona).

El precio de la turbina es de \$22,250 y el cada uno de los paneles fotovoltaicos es de \$772. Por lo tanto, el costo de la inversión total en el equipo de generación se calcula de esta manera:

$$\text{Precio total}_{H-FV} = 22250 + 20 \times 772 = \$37690$$

Como se puede ver en este caso la inversión inicial es de \$37,690 y se asegura que la demanda de la residencia está abastecida durante el año; es decir, se entregarán los 166.84kWh demandados mensualmente y se puede cubrir una potencia instantánea máxima de 8200W a tensiones de 220V CA y 120V CA.

7.3.2 Opción de un sistema fotovoltaico y eólico

Para utilizar un sistema eólico y uno fotovoltaico se hizo inicialmente la suposición de que se dan las condiciones de viento necesarias para una óptima generación de energía; esto para el caso del aerogenerador eólico, para el fotovoltaico se tomó las mismas consideraciones del caso anteriormente expuesto. Además, se asume que el viento óptimo tiene una duración de al menos 15 horas al día a niveles de velocidad adecuados a partir de los 15 metros de altura sobre la superficie del terreno.

La cantidad de potencia a entregar por cada una de las fuentes quedó distribuida de la siguiente manera. Para el aerogenerador se buscó una capacidad de entregar 5800W con el fin de abarcar la mayoría de la potencia de la residencia según el factor de demanda tomado al principio de este capítulo. Además, con los 5800W ya se podrían cubrir las necesidades más básicas como la iluminación, la refrigeración, y los medios de comunicación como el teléfono celular cuya batería podría ser cargada sin problema, también se podrían utilizar aparatos de cocina como el horno microondas, el percolador y aparatos de limpieza como la lavadora y la plancha. Las especificaciones más importantes del generador de 5800W modelo MONTANA se muestran en la tabla 7.4 y para otros detalles se puede consultar el apéndice A.4.

Tabla 7. 4: Especificaciones generales del aerogenerador Fortis Montana

Marca	Fortis America
Potencia nominal	5800W a 17m/s
Tensión nominal	24VCD
Diámetro del rotor (m)	5
Número de palas	3

Longitud de las palas (m)	2.35
Velocidad máxima (rpm)	450
Tipo de generador	Imanes permanentes

Para hallar la potencia requerida a instalar en sistemas fotovoltaicos se resta a la potencia máxima real la potencia del aerogenerador de la siguiente manera.

$$P_{FV} = 8034 - 5800 = 2234W$$

Se puede ver que la otra parte de la potencia necesaria se podría abastecer con el uso de paneles solares cuya capacidad instalada total sea de 2234W aproximadamente. Con el propósito de utilizar el menor número de paneles se puede optar por instalar paneles de la mayor capacidad posible. Esto se puede llevar a cabo con los paneles Kyocera KD210GX- LP cuyas especificaciones básicas se muestran en la tabla 7.3. La hoja del fabricante se puede consultar en el apéndice A.3.

Este modelo se escogió basándose en su valor de eficiencia, ya que presenta un 16% mientras otras marcas de paneles se hallan entre un 12% y un 14% de rendimiento en la conversión de la energía solar.

Tabla 7. 5Especificaciones básicas del panel fotovoltaico Kyocera KD210GX- LP.

Marca	Kyocera
Potencia nominal (W)	210
Tensión nominal (V)	26.6VCD
Corriente nominal (A)	7.90
Tensión de circuito abierto (V)	3
Corriente de cortocircuito (A)	2.35
Número de celdas por módulo	54
Peso (kg)	18
Dimensiones (largo x ancho x alto)(mm)	1500x990x36
Eficiencia (%)	16

Ahora para saber la cantidad de paneles necesarios se debe calcular de esta forma.

$$\# \text{ de paneles} = \frac{2234W}{210W} = 10.63 \text{ módulos} \approx 11 \text{ módulos}$$

Se aproxima a once el número de paneles debido a que si se aproximara a diez se estaría dejando por fuera parte de la demanda de la vivienda. Entonces, la potencia nominal en módulos fotovoltaicos instalados es de 2310W, es decir, el sistema fotovoltaico es capaz

entregar 2310W de potencia instantánea.

Por otra parte, los precios del equipo seleccionado para esta alternativa son los siguientes: \$22,250 para el aerogenerador (casualmente coincide con el de la turbina hidráulica) y \$772 para un módulo fotovoltaico del modelo seleccionado. En total el precio del arreglo fotovoltaico tiene un costo de \$8,492 y sumado al costo de la turbina eólica, resulta en una inversión de \$30,742. No obstante, es necesario tomar en cuenta que a este costo de inversión se le debe de sumar el equipo adicional como el inversor, que transforme la tensión directa de 24V a una señal alterna de 120V o 240V la cual es el la tensión más común de alimentación una residencia, los controladores de carga, que permitan la alimentación de las cargas y el cargado de las baterías a un nivel de tensión adecuado y las baterías a utilizar para almacenar la energía deseada por el usuario. En resumen la potencia nominal de este aprovechamiento es de 8110W (incluyendo la del aerogenerador eólico).

7.3.3 Opción de un sistema fotovoltaico

A continuación, se dimensiona un sistema meramente fotovoltaico con el propósito de compararlo con los dos casos anteriormente expuestos. Para esta opción se realizan los cálculos para que el arreglo fotovoltaico que se instale sea capaz de brindar los 8034W de potencia instantánea en un momento dado.

Se planea instalar paneles del mismo modelo considerado en los dos casos anteriores ante las condiciones de eficiencia y potencia instantánea presentadas por el fabricante. También se desea colocar el mínimo número de módulos. El cálculo a realizar para averiguar el número de paneles es el siguiente:

$$\# \text{ de paneles} = \frac{8034W}{210W} = 38.25 \text{ paneles} \approx 39 \text{ paneles}$$

La potencia nominal del sistema se puede calcular así:

$$P_{fv} = 39 \times 210 = 8190W$$

El precio total de la inversión a realizar en la compra de los módulos se calcula a continuación:

$$\text{Precio total}_{FV} = 39 \times 772 = \$30108$$

Este sistema logrará entregar la potencia instantánea requerida en el momento en que se le

demande a una tensión de 24V de CD. Posteriormente se debe de instalar un inversor que eleve y cambie el valor de la tensión a 220V de CA.

7.3.4 Cálculo de los valores de baterías e inversores necesarios para los equipos especificados.

Para calcular los valores del banco de baterías a utilizar en los casos de estudio expuestos será necesario calcular la cantidad de amperios-hora promedio consumidos por la vivienda diariamente. Para realizar este cálculo se debe conocer el valor de la carga promedio en CA por día en Watts ya que todas las cargas de la vivienda son en CA. El valor de potencia que se utilizó fue el de la potencia máxima requerida $P_{mr} = 8034W$ y además se supuso un valor de eficiencia del 90% para el inversor ya que es el valor aproximado de estos aparatos actualmente.

Utilizando la ecuación 1 se procede de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Ah promedio}}{\text{día}} = \frac{\left(\frac{8034W}{0.9}\right)}{24} = 371.95Ah$$

Luego sabiendo la necesidad de la corriente diaria, se procede a calcular el número de baterías en paralelo con la ecuación 2. Para ello se supone que el usuario desearía tener 6 horas de autonomía, un límite de descarga del 30% y que se desea usar baterías de 150Ah de capacidad nominal con un tensión nominal de 12V.

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{371.95 \times \frac{6}{24}}{0.3 \times 150} = 2.06 \approx 2 \text{ baterías en paralelo}$$

Finalmente, si se tienen 2 baterías en serie y 2 en paralelo se sabe que se contará con un banco de baterías de 4 unidades de 150Ah a 24V en CD. Este respaldo podrá satisfacer una demanda de la vivienda de 8034W por 6 horas en caso de que se dé una falla en alguno de los equipos de generación de la residencia o en caso de un simple mantenimiento preventivo. No obstante, en caso de que se tenga una falla, será necesario racionar el uso de electricidad en la vivienda, de esta manera se podría gozar de más tiempo de autonomía mientras se corrige el problema o se terminan las labores de mantenimiento. Si se toma el dato del costo para las baterías de 150Ah (\$445 cada una), se puede obtener que el total de dinero a invertir en las baterías sea de \$1,780.

Luego, para el inversor se deberá de buscar un inversor de 24V que convierta a 220V en CA para así tener la certeza de que se podrán satisfacer las demandas de todos los equipos tanto en 220V de CA como los de 120V en CA. Muchos inversores son fabricados de manera que se pueda tomar energía a ambos niveles de tensión. Por lo tanto, para los tres casos estudiados se debe de tomar en cuenta que el dispositivo debe de contar con estas características de manera que se puedan alimentar todas las cargas de la manera adecuada.

Para escoger la potencia del inversor, se tomó el dato de la potencia máxima requerida por la vivienda (8034W) y con base en ese valor se llegó a la conclusión de que para poder satisfacer la demanda se deben de colocar 2 inversores en paralelo que operen al mismo nivel de tensión CD (24V) y que sumadas sus capacidades den un total aproximado de 8034W o mayor. En esta situación se podría utilizar un inversor de 6000W en paralelo a uno de 2500W para un total de 8500W de potencia máxima. El costo aproximado de los dos inversores según la tabla 6.5 es de \$3,974 y \$2,200 respectivamente, lo cual suma un total de \$6,174 en este equipo.

En total, al costo de cada uno de los equipos de generación de los 3 casos anteriores se le debe sumar un costo adicional de \$6,174 para los inversores y \$1,780 para las baterías de respaldo.

En la siguiente sección se hace un breve cálculo del ahorro económico que representa mensualmente cada uno de estos sistemas respecto al consumo estimado de la residencia planteado en la tabla 7.1.

7.4 Análisis tarifario de la vivienda

Para calcular el monto económico ahorrado por mes en energía eléctrica se han tomado la consideración de que el estudio se ha hecho en El Salvador y por lo mismo los datos son basados en el país mencionado. Se recurrió a pliego tarifario autorizado por la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) que rige desde el mes de Julio 2013. Tomando en cuenta que las tarifas varían según la ubicación de la vivienda, se calculó un promedio entre todas y las empresas distribuidoras de electricidad en el país.

En la tabla 7.6 se muestra el costo de los 166.84kWh consumidos durante un mes para cada una de las diferentes empresas distribuidoras del país y el valor promedio de lo que se pagaría por ese total de consumo. Se tomó el precio de los primeros 200kWh consumidos

ya que la residencia planteada tiene un consumo menor a ese valor en períodos de un mes.

Tabla 7. 6 Montos a cancelar de acuerdo a la empresa de distribución asociada considerando un consumo de 168 kWh por mes

Empresa	Tarifa residencial (\$)
CAESS	180.096
DEL SUR	203.28
CLESA	171.36
EEO	193.2
DEUSEM	193.2
EDESAL	383.208
Promedio	220.724

Como se puede ver en la tabla 7.6 el monto ahorrarse por mes en el consumo de energía de la red es de \$220.72

Ahora se puede comparar los tres casos de inversión haciendo uso de la tabla 7.7.

Con respecto al costo de la inversión inicial de los tres distintos proyectos se puede concluir que el más barato resulta ser el sistema fotovoltaico. Sin embargo, es obvio que instalar 39 módulos solares en una vivienda no resulta para nada viable ni práctico.

Tabla 7. 7: Resumen de valores eléctricos de generación y precio de inversión para los tres tipos de aprovechamiento expuestos.

	Sistema de aprovechamiento fotovoltaico	Sistema de aprovechamiento micro-hidráulico y fotovoltaico	Sistema de aprovechamiento eólico y fotovoltaico
Energía entregada [kWh]	166.84	166.84	166.84
Potencia nominal [W]	8190	8200	8110
Tensión nominal [V]	24 CD	220 CA/110 CA y 24 CD	24 CD
Vida útil (años)	25	25 para el arreglo fotovoltaico y 50 para la turbina	25 para el arreglo fotovoltaico y 20 para el aerogenerador
Precio del equipo]	\$ 38,062.00	\$ 45,644.00	\$ 38,696.00

Por otra parte la diferencia entre las potencias instaladas de los tres sistemas no es notoria por lo que no aumenta mucho su respectiva capacidad de satisfacer la demanda total. Sin embargo, resulta más caro el sistema que incluye una mini turbina ya que el costo de las mismas es muy elevado en el mercado actual.

Se debe saber que no sólo estas combinaciones son útiles; sino, que existe mucha variedad entre los sistemas que se pueden mezclar para crear aplicaciones híbridas. Esto va muy ligado a las posibilidades tanto geográficas de la zona como económicas del usuario y muy especialmente a la demanda de potencia eléctrica que se deba satisfacer.

7.5 Análisis de las tasas de retorno de la inversión para los tres casos estudiados

Basándose en el costo y la vida útil de los diferentes equipos cotizados, se calculó el valor en el mercado (VM) que tendrían los equipos al final de los diez años para los cuales se realizó el análisis de rentabilidad. Para estos cálculos se utilizó un valor de inflación del 8.2% anual y un costo promedio ponderado de capital (k) del 10% del total de la inversión.

Para averiguar si cada una de las aplicaciones es rentable, se calcularon los ahorros en

costos por cada año con respecto a la tarifa eléctrica promedio calculada en la tabla 7.6. Además se representan los diferentes flujos netos de efectivo (FNE) para cada período.

Luego de calculados los valores mencionados anteriormente se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR) con el fin de compararla con el valor de k . También se calculó el Valor Actual Neto (VAN) de cada inversión a realizar según el sistema de energía renovable estudiado. En las tablas 7.8, 7.9 y 7.10 se muestran los valores calculados para la TIR, el VAN y los FNE para los tres casos estudiados. Como se puede observar en los resultados, el valor del TIR es menor al de k , lo cual indica que la inversión no es recuperable en los diez años para los que se realiza el análisis. Más bien, cada 5 años se debe invertir más dinero en el reemplazo de las baterías y cada 15 años se deberá cambiar el inversor, lo cual incrementará más los gastos de mantenimiento del sistema.

Además, los valores del VAN para cada una de las inversiones son negativos, lo cual representa un claro indicio de que la inversión no generará ningún beneficio económico con respecto al ahorro en costos de servicio público de electricidad. Sin embargo, este tipo de sistemas presentan beneficios ambientales.

Tabla 7. 8 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento fotovoltaico.

	Costo	Vida Útil	Depreciación	VM
Arreglo fotovoltaico	\$30,134.09	25	\$1,204.32	\$39,728.83
Inversor	\$6174.00	15	\$411.6	\$4,526.04
Baterías	\$1,780.00	5	\$355.83	\$0.00
Total			\$1,971.75	\$44,254.87

Análisis corriente del Proyecto											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN Arreglo fotovoltaico											
Inversor	(\$30,134.09)										\$39,728.83
Baterías	(\$6174.00)										\$4,526.04
	(\$1,780.00)					(\$1,780.00)					\$0.00
Ahorro en costos											
FNE proy		\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	\$313.97	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$427.13
	(\$38,062.00)	\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	(\$ 1466.03)	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$43,827.74

k corriente	10%
VAN	(38,037.81)
TIR	2%

Tabla 7.9 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento micro- hidráulico y fotovoltaico.

	Costo	Vida Útil	Depre ciación	VM
Arreglo fotovoltaico	\$8.916.600	25	\$617.60	\$20,373.76
Grupo turbina-generador	\$12.849.375	50	\$445.00	\$39,146.47
Inversor	\$3.565.485	15	\$411.60	\$4,526.04
Baterías	\$1.027.950	5	\$356.00	\$0.00
Total			\$851.351	\$64,046.27

Análisis corriente del Proyecto											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN											
Arreglo fotovoltaico	(\$15,440.00)										\$20,373.76
Grupo turbina-generador	(\$22,250.00)										\$39,146.47
Inversor	(\$6,174.00)										\$4526.04
Baterías	(\$1,780.00)					(\$1,780.00)					\$0.00
Ahorro en costos		\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	\$313.97	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$427.13
FNE proy	(\$45,644.00)	\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	(\$ 1466.03)	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$63,619.14

k corriente	10%
VAN	(45,619.82)
TIR	4%

Tabla 7. 10 Resultados obtenidos del análisis de rentabilidad para el sistema de aprovechamiento eólico y fotovoltaico.

	Costo	Vida Útil	Depreciación	VM
Arreglo fotovoltaico	\$8,492.00	25	\$339.68	\$11,205.5
Aerogenerador	\$22,250.00	20	\$1,112.5	\$24,465.54
Inversor	\$6,174.00	15	\$411.60	\$4,526.04
Baterías	\$1,780.00	5	\$356.00	\$0.00
Total			\$2219.78	\$40,198.15

Análisis corriente del Proyecto											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN											
Arreglo fotovoltaico	(\$8,492.00)										\$11,205.57
Aerogenerador	(\$22,250.00)										\$24,466.54
Inversor	(\$6,174.00)										\$4,526.04
Baterías	(\$1,780.00)					(\$1,780.00)					\$0.00
Ahorro en costos		\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	\$313.97	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$427.13
FNE proy	(\$38,696.00)	\$239.91	\$260.78	\$277.42	\$295.13	(\$ 1466.03)	\$334.01	\$355.33	\$378.01	\$402.13	\$39,771.02

k corriente	10%
VAN	(38,671.82)
TIR	5%

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

1. La ingeniería eléctrica ha contribuido al desarrollo sostenible por medio de su introducción en materia de energías renovables y su aplicación a los sectores residencial, comercial e industrial. Disminuyendo los impactos negativos de las fuentes de energía convencionales.

2. Los sistemas híbridos de energía renovable constituyen una alternativa más para la generación de energía eléctrica en lugares en donde se hacen presentes dos o más características físicas y/o geográficas, que permiten el aprovechamiento de dos o más recursos naturales a la vez, permitiendo esto, flexibilidad en el diseño y en el abastecimiento.

3. Las aplicaciones basadas en energías renovables para uso residencial son tecnologías poco difundidas por lo cual sus costos de adquisición son muy elevados, sin embargo, en casos bien diseñados el retorno de la inversión se da en un tiempo mucho menor. Es de esperar también que con el pasar del tiempo se vuelvan cada vez más accesibles para los consumidores.

4. A pesar de que la inversión inicial en sistemas de energía renovable resulta ser muy alta, se obtienen beneficios económicos a mediano o largo según el uso que se dé a las aplicaciones, la forma en cómo se diseñen y los incentivos legales que puedan darse a futuro.

5. La ingeniería eléctrica realiza esfuerzos en materia del desarrollo sostenible por medio de la fabricación de aplicaciones de generación de electricidad a pequeña escala que permiten a los usuarios residenciales alcanzar independencia energética sin perjudicar el medio ambiente.

6. Alrededor del mundo se ha puesto en práctica la ingeniería eléctrica verde con el propósito de reducir y en la medida de lo posible eliminar el uso de fuentes no renovables de energía cuyos residuos tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente.

7. En El Salvador la aplicación de soluciones elaboradas a partir de fuentes de energías renovables, según los casos analizados en este proyecto, requiere de una muy alta

inversión que debido al bajo costo de las tarifas eléctricas del país no se hace rentable su utilización momentáneamente.

8. Las soluciones elaboradas a partir de fuentes de energía renovables se podrían volver más rentables tanto para el usuario como para el vendedor de la aplicación cuando exista una cultura de consumo hacia esta clase de sistemas. Esta se puede fomentar por medio de incentivos legales y económicos que las empresas del sector eléctrico nacional pueden brindar a los consumidores que decidan invertir en estas tecnologías.

9. A pesar de que los sistemas de energía renovable no son viables económicamente, no se debe dejar de lado el hecho de que representan un gran beneficio para el medio ambiente, ya que se reduce el uso de recursos no renovables para la producción de electricidad en el ámbito residencial.

8.2 Recomendaciones

1. Se deben continuar las investigaciones relacionadas con los materiales y tecnologías de fabricación de las aplicaciones de energía renovable para uso residencial con el fin de lograr abaratar los costos de los equipos.
2. Antes de realizar una inversión en un proyecto de energía renovable para una vivienda, se deben realizar siempre los estudios previos para así verificar las condiciones del sitio y poder determinar la viabilidad de la explotación de uno u otro recurso natural.
3. El uso racional y eficiente de la energía se debe de tomar en cuenta siempre que se diseñe un sistema de alimentación con fuentes renovables para llevar a cabo una explotación racional del recurso.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

1. Chiras D., “The Homeowner’s Guide to Renewable Energy”, 1 edición, New Society Publishers, 2006.
2. Da Rosa A., “Fundamentals of Renewable Energy Processes”, 1 edición, Stanford University, Estados Unidos, 2005.
3. Dell R.M., Rand D.A.J., “Clean Energy”, 1 edición, The Royal Society of Chemistry, Reino Unido, 2004.
4. Gevorkian P., “Sustainable Energy Systems Engineering: The Complete Green Building Design Source”, 1 edición, McGraw-Hill, Estados Unidos, 2006.
5. Munkund P., “Wind and Solar Power Systems”, 1 edición, CRC Press LLC, Estados Unidos, 1999.
6. Schlager N., Weisblatt J., “Alternative Energy Encyclopedia”, 1 edición, Thomson Gale, 2006.
7. Solar Energy International., “Photovoltaics: Design and Installation Manual”, 1 edición, New Society Publishers, 2004.
8. Van Hoof B., Monroy N., Saer A., “Producción más Limpia: Paradigma de gestión ambiental”, 1 edición, Universidad de los Andes, Colombia, 2008.

Páginas web:

1. Apex, “Solar batteries”, <http://www.apexbattery.com/> [17/07/13] Biomass Users Network (BUN-CA), “Manuales sobre energía renovable: Eólica”, <http://www.bunca.org/publicaciones/EOLICA.pdf> [29/06/13]
2. Comisión Nacional de Energía. “Fuentes energéticas”. http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/energeticas.php [04/05/13]
3. Confereracion de Consumidores y Usuarios, España, “Energía Mini-Hidráulica”, http://www.cecuc.es/campanas/medio_ambiente/res&rue/htm/guia/minidraulica.htm. LAS MAQUINAS MICRO HIDRÁULICAS. [27/06/13]
4. Consumer Eroski, “Una alternativa complementaria y renovable”, <http://revista.consumer.es/web/es/20050401/pdf/medioambiente.pdf> [15/06/13]

5. Cracco J.M., “Energía eólica”, <http://www.mailxmail.com/curso-energias-renovables-1/energia-eolica> [03/05/13]
6. Cracco J.M., “Energía hidráulica”, <http://www.mailxmail.com/curso-energias-renovables-1/hidraulica> [03/05/13]
7. Cracco J.M., “Energías renovables”, <http://www.mailxmail.com/curso-energias-renovables-1> [01/05/13]
8. Cunningham P., Woofenden I., “Microhydro Electricity Basics”, <http://www.homepower.com/basics/hydro/> [08/05/13]
9. Darling D., “The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living”, http://www.daviddarling.info/encyclopedia/T/AE_Turgo_turbine.html [26/07/13]
10. Departamento de Energía, EE.UU., “Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad: Una guía para consumidores en los EE.UU.”, www.windpoweringamerica.gov/.../small_wind_guide_spanish.pdf [29/06/13]
11. Departamento de Industria, Comercio y Turismo, Gobierno Vasco, “LA ENERGÍA EÓLICA. VENTAJAS E INCONVENIENTES”, http://www.industria.ejgv.euskadi.net/r44886/es/contenidos/informacion/plan_energia_eolica/es_8109/adjuntos/documentoI/3-energia-eolica_c.pdf [28/06/13]
12. EcoWorld., “Hydropower from Old Washing Machines”, <http://www.ecoworld.com/blog/editor/guest/tag/micro-hydro-turbines/> [26/07/13]
13. Fortis America, “Fortis Montana 5.8 kW Wind Turbine”, http://www.fortiswindenergy.us/Montana/Fortis_Montana_datasheet.pdf [08/07/13]
14. Environmental Protection Agency, “What is Green Engineering?”, http://www.epa.gov/oppt/greenengineering/pubs/whats_ge.html [07/05/13]
15. Grupo Hohm S.A, “Sistema termosifón”, <http://grupohohm.de/espanol/frames.html> [09/07/13]
16. Green Energy Technologies, “Wind Turbines”, http://www.greenenergytechnologies.ie/dom_t01.asp [08/07/13]
17. Hahn Y., “Energía solar térmica”, <http://www.solarweb.net/solar-termica.php> [02/05/13]

18. Hands-On Energy Discovery Centre, “Water Turbines”,
<http://www.hydro.com.au/handson/students/wateturb.htm> [26/07/13]
19. Hellebrand P. “Energía eólica”, <http://www.solarweb.net/energia-eolica.php>
[03/05/13]
20. Home of the small wind turbines, “All Small Wind Turbines”,
<http://www.allsmallwindturbines.com/> [04/06/13]
21. House Energy, “Market and Prices of Solar PV Electricity”, <http://www.house-energy.com/Solar/Prices-PV.htm> [28/06/13]
22. Hydro Turbines, “Hydro Equipment Cost”, <http://www.hydro-turbines.com/id78.html> [07/08/13]
23. Interdinámica, “Energía eólica”,
http://www.interdinamic.com/es/soluciones/e_eolica.php [03/05/13]
24. Interdinámica, “Energía hidráulica”,
http://www.interdinamic.com/es/soluciones/e_hidraulica.php [02/05/13]
25. L&R Ingeniería, “Sistemas Eólicos Domiciliarios”, www.lyr-ing.com/.../Eolica.../Sistemas_Domiciliarios_2002_rev1.pdf [24/06/13]
26. Livingston P., “Getting Started” <http://www.homepower.com/basics/started/>
[10/05/13]
27. National Instruments, “Qué es la ingeniería verde?”,
<http://www.ni.com/greenengineering/esa/whatis.htm> [06/05/13]
28. Natural Resources Canada, “Micro-Hydropower Systems: A Buyer’s Guide”,
<http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/fichier/79276/buyersguidehydroeng.pdf> [29/06/13]
29. 38. Patterson J., “Solar Electricity Basics”,
<http://www.homepower.com/basics/solar/> [09/05/13]
30. Patterson J., “Solar Hot Water Basics”,
<http://www.homepower.com/basics/hotwater/> [09/05/13]
31. Piggot H., “Wind Electricity Basics”,
<http://www.homepower.com/basics/wind/> [09/05/13]
32. 41. Portal Solar, “Energía solar”, <http://www.portalsolar.com/energia->

[solar.html](#) [02/05/13]

33. 42. Solar Inverters, “Products”, <http://www.solarinverters.com.au/product.php>

[17/07/13]

43. Swissol, “ECOSUN Termosifón”, <http://www.swissol.net/domestico.html> [07/06/13]

44. Swissol, “ECOSUN Forzado”, <http://www.swissol.net/domestico.html> [07/06/13]

45. Tosatado M., “Energía eólica”,

<http://www.mailxmail.com/curso-energia-eolica/aerogeneradores-tipos-segunda-parte>

[29/06/13]

46. Total Alternative Power, “Micro-Hydro”,

<http://www.totalalternativepower.com/faqwater.htm> [26/07/13]

47. UCM RESITA, “HYDRO POWER EQUIPMENT”,

<http://www.ucmr.com/galerii/imagepages/image-cap13.html> [08/07/13]

48. Varsavsky A., “Química verde y la prevención de la contaminación”,

<http://www.aqa.org.ar/iyq1.htm> [12/05/13]

49. WholeSale Solar, “Kyocera Model: KD210GX-LP 210 watt solar panel”,

<http://www.wholesalesolar.com/products.folder/module-folder/kyocera/KD210GX-LP.html>

[08/07/13]

APÉNDICES

A.1 Datos estimados de consumo de potencia de electrodomésticos

Typical Household Appliance Loads

Appliances	Power Rating (W)	Average Hours per Month	Energy Used (kWh) per Month
Kitchen			
Blender	350	3	1
Coffee maker	900	12	11
Deep fryer	1500	8	12
Dishwasher*	1300	20	26
Exhaust fan	250	30	8
Electric kettle	1500	10	15
Food freezer (15 cu. ft.)	350	240	84
Hot plate (one burner)	1250	14	18
Microwave oven (0.5 cu. ft.)	900	10	9
Microwave oven (0.8 to 1.5 cu. ft.)	1500	10	15
Mixer	175	6	1
Range	4000	25	100
Range and oven	3500	25	90
Refrigerator-freezer			
Frost-free (17 cu. ft.)	500	300	150
Non-frost-free (11.5 cu. ft.)	300	300	90
Toaster	1200	4	5
Laundry			
Clothes dryer (35 loads/month)	5000	28	140
Washing machine* (33 loads/month)	500	26	13
Front-loading washer*	160	26	4
Iron	1000	12	12
Electric water heaters			
Family of two	3800	80	304
Family of four	3800	140	532
Comfort and Health			
Air conditioner	750	74	56
Electric blanket	180	80	14
Electric heating	1000	250	250
Fan (portable)	120	6	1

* Excluding hot water requirements

Appliances	Power Rating (W)	Average Hours per Month	Energy Used (kWh) per Month
Hair dryer (hand held)	1000	5	5
Lights			
Incandescent bulb (60 W)	60	120	7
Incandescent bulb (100 W)	100	90	9
Fluorescent (4 ft.)	50	240	12
Compact fluorescent lamp (24 W)	24	240	6
Portable electric heater	1000	350	350
Telephone, portable	3	720	2
Telephone answering machine	6	720	4
Entertainment			
Computer (desktop)	250	240	60
Computer (laptop)	30	240	7
Laptop charger	100	240	24
Laser printer	600	60	36
Radio	5	120	1
Stereo	120	120	14
Television (colour)	100	125	13
Television (black and white)	60	120	7
Video cassette recorder	40	100	4
Outdoors			
Block heater	600	120	72
Lawn mower	1000	10	10
Workshop tools			
¼-inch drill	250	4	1
Circular saw	1000	6	6
Table saw	1000	4	4
Lathe	460	2	1

A.2 Hoja de fabricante de grupo turbina-generador micro hidráulico Kaplan

Kaplan / Tubular Turbines



Very Low head site - 4000 watt turbine (4kW)

Site conditions: 7 feet (2 meters) of head, and 5000 gallons per minute (315 liters/second)

Reaction Turbine - Kaplan style

This turbine will cost \$22,250.00 FOB Amsterdam, NY

Fuente: <http://www.hydro-turbines.com/id30.html>

A.3 Hoja de fabricante de panel fotovoltaico modelo KD210GX-LP



MODEL
KD210GX-LP



THE NEW VALUE FRONTIER



KD210GX-LP

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL
PHOTOVOLTAIC MODULE



LISTED

HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%. These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a potant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.

The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug-in connectors.



APPLICATIONS

KD210GX-LP is ideal for grid tie system applications.

- Residential roof top systems
- Large commercial grid tie systems
- Water Pumping systems
- High Voltage stand alone systems
- etc.

QUALIFICATIONS

- **MODULE** : UL1703 listed
- **FACTORY** : ISO9001 and ISO 14001

QUALITY ASSURANCE

Kyocera multicrystal photovoltaic modules have passed the following tests.

- Thermal cycling test
- Thermal shock test
- Thermal / Freezing and high humidity cycling test
- Electrical isolation test
- Hal impact test
- Mechanical, wind and twist loading test
- Salt mist test
- Light and water-exposure test
- Field exposure test

LIMITED WARRANTY

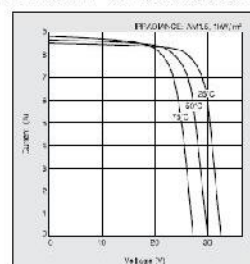
※1 year limited warranty on material and workmanship

※20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

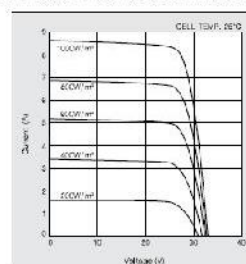
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic
Module KD210GX-LP at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics of Photovoltaic
Module KD210GX-LP at various irradiance levels



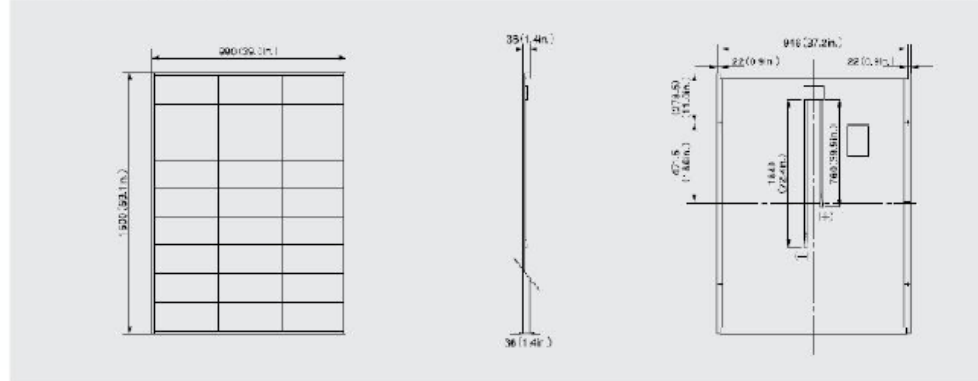
06/02

SPECIFICATIONS

KD210GX-LP

Physical Specifications

Unit: mm (in.)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (1STC)	
Maximum Power (P _{max})	21.0W (+5%/-5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpo})	26.6V
Maximum Power Current (I _{mpo})	7.90A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	33.2V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.53A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.120 V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	5.15x10 ⁻³ A/°C

*STC: Irradiance 1000W/m², AM 1.5 spectrum, cell temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m ² , *NOCT, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	14.6W
Maximum Power Voltage (V _{mpo})	23.5V
Maximum Power Current (I _{mpo})	6.32A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	29.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.93A

*NOCT: 1000W/m² operating cell temperature 45°C

Cells	
Number per Module	54

Module Characteristics	
Length x Width x Depth	1320mm(52.01in.)x990mm(39.37in.)x36mm(1.41in.)
Weight	18.5kg(40.8lb.)
Cube	14780mm ³ (599in ³)x1340mm ³ (52.4in ³)

Junction Box Characteristics	
Length x Width x Depth	100mm(3.94in.)x36mm(1.41in.)x36mm(1.41in.)
P Code	IP65

Others	
*Operating Temperature	-40°C~+90°C
Maximum Fuse	15A

*This temperature is based on cell temperature.

Please contact our office for further information.



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
F-1, Toray Tower 1st Floor
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL: (81)75-505-3478 FAX: (81)75-505-3479
<http://www.kyocera.com/>

● KYOCERA Solar, Inc.

2512 East Acorn Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL: (1)480-340-3003 or (800)223-9500 FAX: (1)480-483-6431
<http://www.kyocerasolar.com/>

● KYOCERA Solar do Brasil Ltda.

Av. Cotyram 161, Lote A
22790-200, Rio de los Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL: (55)21 3407 8195 FAX: (55)21 3437 3098
<http://www.kyocerasolar.com.br/>

● KYOCERA Solar Pty Ltd.

Level 5, 8-10 Tolmaches Road, North Ryde
NSW, 2114, Australia
TEL: (61)2 9470 3048 FAX: (61)2 888 8588
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

● KYOCERA Fineceramics GmbH

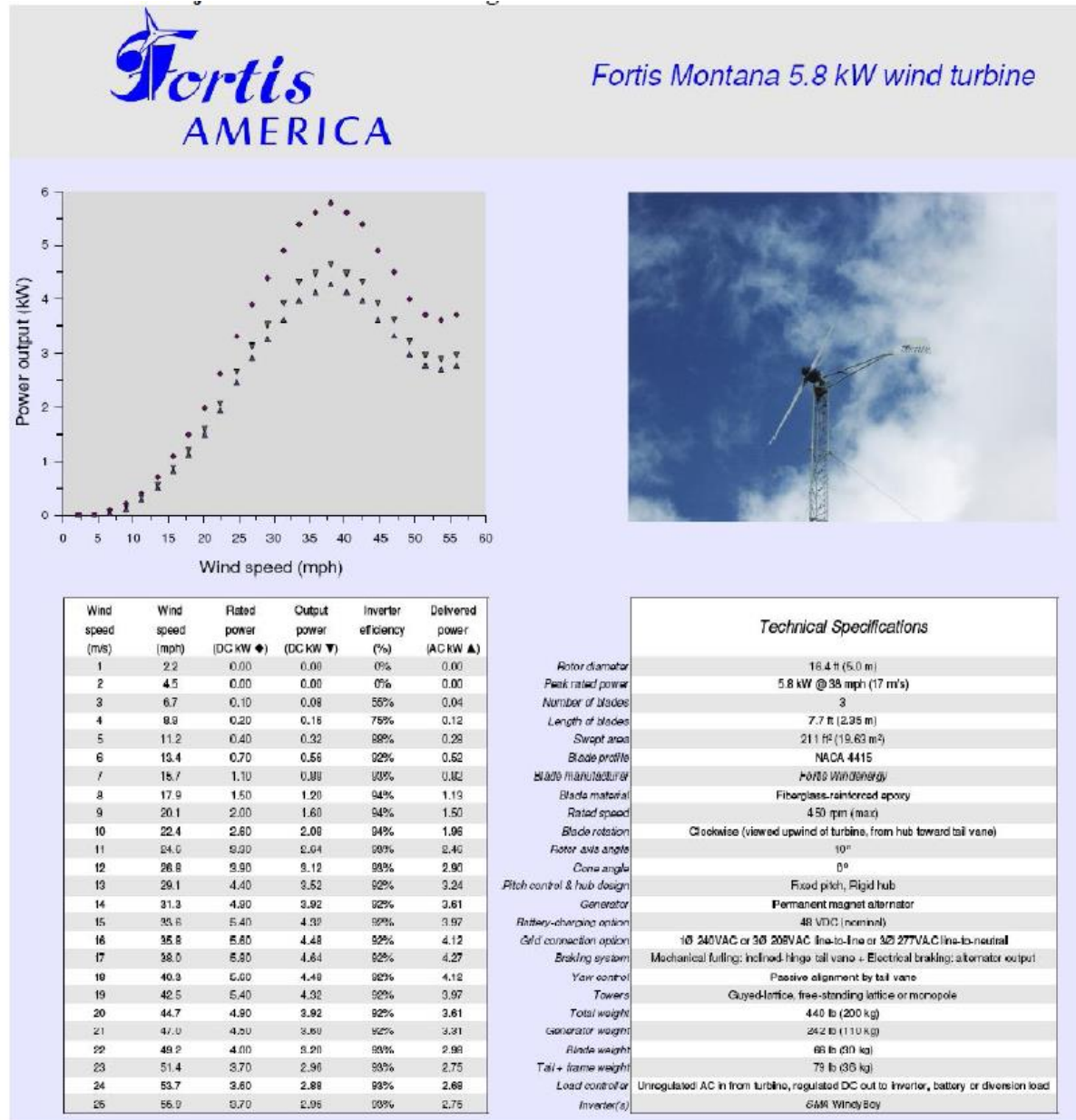
Post-Mueller-Strasse 107, 73200 Esslingen, Germany
TEL: (49)71 42034-000 FAX: (49)71 42034-050
<http://www.kyocerasolar.de/>
solar@kyocera.de

Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice.

U1310A07/11 S/K/M

Fuente: <http://www.wholesolar.com/products.folder/module-folder/kyocera/KD210GX-LP.html>

A.2 Hoja de fabricante de aerogenerador modelo Fortis Montana



Fuente: [www.fortiswindenergy.us/Montana/Fortis Montana datasheet.pdf](http://www.fortiswindenergy.us/Montana/Fortis_Montana_datasheet.pdf)