



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNA PARA
ALIMENTACIÓN DE BOMBA DE AGUA

AUTOR

Luis Fernando Vinueza Torres

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNA PARA ALIMENTACIÓN
DE BOMBA DE AGUA

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información

Profesor Guía

Ms.C. Jean Michel Clairand Gómez

Autor

Luis Fernando Vinuesa Torres

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación"

Jean Michel Clairand Gomez

Diplome d Ingenieur

C.I: 1714736681

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación"

Héctor Fernando Chinchero Villacís

Master en Domótica

C.I: 1715451330

DECLARACIÓN DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes".

Luis Fernando Vinuesa Torres

C.I: 1716756083

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y a mi hermano por siempre brindarme su apoyo y estar presentes en cada logro obtenido, también deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi profesor Msc. Jean Michelle Clairand quien me ha guiado y acompañado a lo largo de este trabajo de titulación

DEDICATORIA

A mis padres ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible, a mis abuelitos que me acompañan y guían siempre, y a todas las personas que me han apoyado y ayudado a conseguir este logro.

RESUMEN

En la actualidad existen diferentes tipos de energías ya sean energías limpias o de combustibles fósiles, dentro de las energías limpias se subdividen en varias categorías dependiendo de qué tipo de recurso se esté aprovechando, se realizó una comparación entre ellas para determinar cuál es más óptima para un sistema de bombeo de agua en caso de que exista algún corte de energía ya sea por desastre natural o cualquier circunstancia. Mediante este análisis comparativo entre energías limpias se llegó a la conclusión de que la energía solar es la más conveniente, por lo cual se elaboró el diseño del sistema tomando en cuenta variables tales como las horas de insolación que reciben los paneles en los lugares donde se instalará el sistema, también se tomó en cuenta el consumo de agua promedio en los hogares y en base a esto fue posible el cálculo del régimen de bombeo el cual facilitó la elección de la bomba. Una vez que se obtuvo la bomba se procedió a calcular la energía necesaria para alimentar a la misma y posteriormente el número de paneles solares para satisfacer la energía requerida. También es necesario para el continuo funcionamiento del sistema una batería la cual será capaz de almacenar energía, se hace uso de un regulador y controlador de carga inteligente para que sea el encargado de regular el voltaje entregado por los paneles y a su vez en caso de que la bomba se encuentre apagada toda la energía que sea captada por los paneles se almacene en la batería y no sea desperdiciada. Finalmente en caso de existir energía excedente este regulador se encarga de disipar la misma para evitar cualquier daño en algún componente, convirtiéndolo en un sistema autónomo y sin que requiera de mantenimientos continuos.

ABSTRACT

Currently there are different types of energy, whether clean energy or fossil fuels, within the clean energies there are others more that can be subdivided into several categories depending on the type of resource that is being used, a comparison was made between them to determine which one of them is the most optimal to work with a system of water pumping, in case there is a power outage due to natural disaster or any circumstance. Through this comparative analysis between clean energies it was concluded that solar energy is the most convenient, so the design of the system was elaborated taking into account different variables such as: the hours of insolation that the panels receive in the places where the system will be installed, also this analysis took into account the average water consumption in households and based on this it was possible, to calculate the pump rate which facilitated the choice of the pump. Once the pump was obtained, the next step was to calculate the energy required by it, and subsequently the number of solar panels needed to satisfy the required energy. It is also necessary, to guarantee the continuous operation of the system a battery which will be able to store energy, using a regulator and intelligent charge controller to be in charge of regulating the voltage delivered by the panels and. in case that the pump is shut down, all the energy coming from the panels will be store in the battery and won't be wasted. Finally in case, there is an excess of energy in the system this regulator is responsible for dissipating it, to avoid any damage in some of the components, making it an autonomous system and without requiring continuous maintenance

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Alcance	2
1.3.	Justificación	3
1.4.	Objetivos	5
2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Tipos de energías renovables	6
2.1.1.	Energía Eólica	7
2.1.2.	Energía Fotovoltaica	8
2.1.3.	Energía hidroeléctrica	8
2.1.4.	Energía geotérmica	9
2.1.5.	Biomasa	10
2.2.	Comparación de las energías	11
2.3.	Las energías en el Ecuador	13
2.4.	Energía Solar Fotovoltaica	15
2.4.1.	Radiación solar	17
2.4.2.	Aplicaciones de la energía fotovoltaica	18
2.4.3.	Instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica	19
2.5.	Consumo de agua	35
2.6.	Bombeo de Agua	37
2.6.1.	Conceptos sobre el bombeo de agua	37
2.6.2.	Tipos de bombas	39
3.	DISEÑO DEL SISTEMA	44
3.1.	Dimensionamiento de la bomba	44
3.1.1.	Régimen de bombeo y carga dinámica total	46
3.2.	Dimensionamiento de paneles	49
3.3.	Diseño del sistema de potencia	54

3.4. Escenario probable cálculo del CDT	55
3.5. Mejor escenario cálculo del CDT	56
3.6. Peor escenario cálculo del CDT	57
4. ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS	62
5. PROTOTIPO DE PRUEBA Y RESULTADOS	68
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1 Conclusiones	74
6.2 Recomendaciones	76
REFERENCIAS	78
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura de agua por red pública de la provincia de Manabí por cantones.....	4
Figura 2. Cobertura de agua por red pública de la provincia de Esmeraldas por cantones.....	5
Figura 3. Radiación solar en Manta.....	11
Figura 4. Radiación solar en Esmeraldas.....	12
Figura 5. Energías del Ecuador.....	14
Figura 6. Tipos de radiación.....	18
Figura 7. Instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica	19
Figura 8. Potencia Máxima.....	22
Figura 9. Conexión en paralelo	24
Figura 10. Conexión en serie	24
Figura 11. Conexión Mixta	25
Figura 12. Regulador de voltaje	28
Figura 13. Celdas de la batería	31
Figura 14. Curva característica de una batería de ciclo profundo.....	32
Figura 15. Consumo de agua potable zonas urbanas y rurales.....	36
Figura 16. Ahorro de agua en los hogares	37
Figura 17. Bombeo de agua.....	38
Figura 18. Bomba Volumétrica.....	40
Figura 19. Bomba Centrifuga	41
Figura 20. Bombas sumergibles de Diafragma.....	42
Figura 21. Bombas sumergibles de cilindro.....	43
Figura 22. Consumo mensual de agua (m ³).....	45
Figura 23. Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema	61
Figura 24. Diseño del sistema.....	62
Figura 25. Panel solar 24 voltios	68
Figura 26. Bomba de agua de 12 voltios.....	69
Figura 27. Regulador de voltaje	69
Figura 28. Batería	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coste total de energías renovables	12
Tabla 2. Las energías en el Ecuador	14
Tabla 3. Comparación energía Termo solar y Fotovoltaica	17
Tabla 4. Datos técnicos Reguladores de Voltaje	27
Tabla 5. Configuración de voltaje del cargador para baterías de electrolito liquido de ciclo profundo.....	31
Tabla 6. Equipos electrónicos conexión a sistemas solares	33
Tabla 7. Consumo aproximado de agua por persona/día	35
Tabla 8 Comparación de Bomba Centrifuga Sumergible vs. Bomba Centrifuga por Succión.	43
Tabla 9. Bombas recomendadas según tipo de fuente	44
Tabla 10. Lista de elementos del sistema para Esmeraldas	58
Tabla 11. Lista de elementos del sistema para Manabí	59
Tabla 12. Presupuesto referencial del sistema para Manabí	63
Tabla 13. Presupuesto referencial del sistema para Esmeraldas	64
Tabla 14. Pruebas con prototipo	71

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar o también conocida como energía fotovoltaica, lo que hace es transformar la energía solar en energía eléctrica esto se lo realiza con la utilización de células solares que sean capaces de captar la energía irradiada por el sol.

La tierra se encuentra a 146 millones de km de distancia del sol y pese a este gran trayecto es la principal fuente de energía, es capaz de entregar $3.8 * 10^{20}$ MW pero al encontrarnos tan lejos solo nos llega al planeta tierra el 40% de esta energía (Sitiosolar, 2014). La energía solar que llega a la tierra puede ser aprovechada de dos maneras diferentes las cuales son en forma de calor o en forma de electricidad, para que sea aprovechada en forma de calor es necesario el uso de colectores térmicos pero por otro lado se usa módulos fotovoltaicos para poder aprovechar en forma de electricidad.

El efecto fotoeléctrico es muy importante al momento de la transformación de energía solar a energía eléctrica ya que este es el cual indica que cuando sobre un objeto conductor tales como células solares reciben radiación electromagnética la cual puede provenir del sol, se produce el movimiento de electrones.

1.1. Antecedentes

El disponer de agua en el sitio donde se requiere para su aprovechamiento implica casi siempre el traslado de la misma. Hoy en día existen un sinnúmero de opciones las cuales tienen un punto en común el cual es el consumo energético, es decir se debe tener una fuente de energía que sea capaz de satisfacer las necesidades de mover el volumen de agua requerido.

El ser humano a través de los años ha hecho uso de todo tipo de fuentes de energía disponibles para el traslado del agua, incluso realizando diferentes

formas de conversión de energías, pero en el caso de lugares aislados el número de fuentes de energía se reducen considerablemente y nos deja solo como recursos el empleo de combustibles fósiles y en pocos casos los diferentes tipos de energía renovable. Dentro de las energías renovables la opción que más se pretende impulsar en la actualidad es la energía fotovoltaica.

El 16 de abril del 2016 muchas familias perdieron sus hogares, negocios e incluso a sus seres queridos, ha existido ayuda para las personas afectadas tanto del sector privado como del gobierno, mucha gente hoy en día se encuentra en albergues lo cual genera una gran necesidad de alimentos y de agua. Cuando suceden catástrofes naturales como estas por seguridad de los habitantes se suele cortar el servicio de luz eléctrica lo cual a su vez genera escases de agua ya que la mayoría de hogares en la costa ecuatoriana usan bombas tanto para extracción de agua subterránea o para aumentar la presión de la misma que se recibe a través del servicio de agua potable.

Los sistemas de bombeo solar o también conocidos como bombeo fotovoltaico han demostrado ser una opción económicamente rentable, son rentables ya que sus necesidades de mantenimiento son mínimos y el costo de operación nulos.

1.2. Alcance

En este trabajo de titulación se busca diseñar un sistema de alimentación alterna para el bombeo de agua el cual funcionará mediante el aprovechamiento de energía solar como respaldo a la bomba. Este trabajo se realizará mediante estándares internacionales con el fin de obtener un producto autosuficiente y de buena calidad para que sea aprovechado correctamente en caso de corte eléctrico.

Este sistema de bombeo se lo realizará con la utilización de paneles fotovoltaicos, los cuales serán capaces de captar la radiación solar para posteriormente ser transformada en corriente continua para su posterior utilización.

1.3. Justificación

Un sistema de bombeo fotovoltaico es un sistema autónomo, en el cual se tiene una carga y del que se espera un funcionamiento confiable. Estos sistemas deben ser robustos, sencillos de instalar y operar.

El presente proyecto de titulación está enfocado en mejorar de alguna manera la calidad de vida de las familias de los sectores rurales del Ecuador, esto se logrará bombeando agua a los hogares donde la presión del agua potable no sea la suficiente para entregar una cantidad considerable de líquido vital, por lo tanto este proyecto estará más enfocado a las provincias de Esmeraldas y Manabí, ya que en estas es donde más dificultad existe para la población al momento de acceder a fuentes de agua.

En los últimos años los sectores rurales han mejorado los sistemas de captación y suministro de agua, por este motivo a través de los años se ha buscado diferentes fuentes de agua que satisfagan la necesidad de al menos 20 litros de agua diarios por persona.

Adicionalmente este sistema puede ser implementado cuando suceden catástrofes naturales ya que al funcionar con energía renovable asegura una dotación de agua mientras existan cortes de energía eléctrica.

La mayoría de hogares en la costa ecuatoriana usan bombas tanto para extracción de agua subterránea o para aumentar la presión de la misma que se recibe a través del servicio de agua potable, debido a esto es que el sistema alternativo de alimentación es muy útil porque la bomba de agua podría entrar en funcionamiento ayudando a la gente a tener este recurso.

Según el análisis presentado por la SEMPLADES en el año 2014 en cuanto al acceso a agua potable y alcantarillado en el Ecuador las provincias de Manabí y

Esmeraldas poseen un porcentaje de 42 al 55% en cuanto al acceso de agua potable y 22 al 40% con respecto a cobertura de alcantarillado.

La provincia de Manabí refleja 52.4% de cobertura provincial de agua potable. Adicionalmente en la siguiente imagen se puede observar más detalladamente el porcentaje de cobertura por cantón.

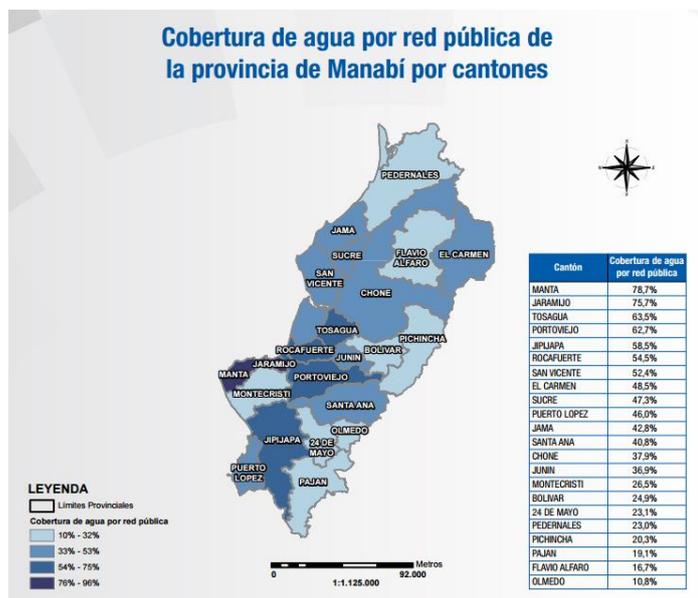


Figura 1. Cobertura de agua por red pública de la provincia de Manabí por cantones

Tomado de (Senplades, 2014)

Provincia de Esmeraldas presenta una cobertura provincial de 57.8%. En la siguiente imagen se puede observar más detalladamente el porcentaje de cobertura por cantón. (Senplades, 2014)

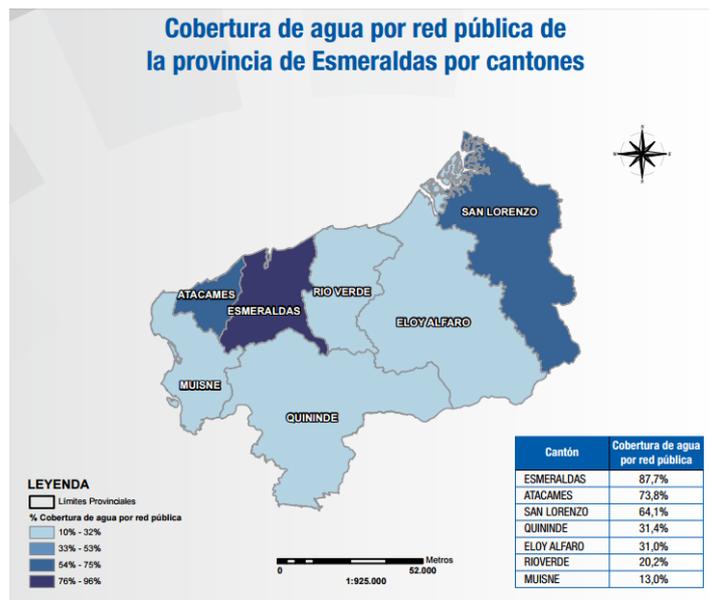


Figura 2. Cobertura de agua por red pública de la provincia de Esmeraldas por cantones

Tomado de (Senplades, 2014)

1.4. Objetivos

Objetivo general

- Diseñar un sistema alternativo de alimentación para una bomba de agua mediante el aprovechamiento de energía solar fotovoltaica con el fin de satisfacer las necesidades de los hogares.

Objetivos específicos

- Obtener y analizar las diferentes variables de energía solar de la región.
- Realizar un análisis estadístico de las necesidades de agua de la población.
- Diseñar un sistema eléctrico alternativo a partir de paneles fotovoltaicos para una bomba de agua que permita abastecer en caso de corte eléctrico.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tipos de energías renovables

Las energías limpias son las que pueden ser producidas con un mínimo o casi nada de daños para la salud y el medio ambiente, estas también son conocidas como energía renovable porque pueden ser producidas a partir de fuentes inagotables tales como viento, caídas de agua, biogás, biomasa y rayos del sol.

Al utilizar energía renovable reducimos el uso de energía producida por combustibles fósiles y otras tecnologías contaminantes y que causan daños tanto a la salud humana como al medio ambiente, gracias a este tipo de energía las grandes ciudades, fábricas y zonas rurales pueden abastecerse de energía eléctrica sin causar efectos secundarios.

Para la elección de una de las energías limpias se debe tomar en cuenta principalmente las condiciones del lugar donde se va a implementar como por ejemplo la energía eólica no puede ser implementada en algún lugar donde la intensidad del viento no sea la suficiente o la energía solar en zonas donde la duración e intensidad del sol es baja.

Los sistemas de energía limpia son costosos de instalar pero luego de ser instalados su costo de funcionamiento y mantenimiento son realmente bajos y esta es una gran ventaja de este tipo de energías ya que incluso son autosustentables.

Una de las grandes ventajas de las energías renovables es que desarrolla la industria y la economía de la región o el lugar donde se las instala ya que cada fábrica puede generar la cantidad de energía que necesite sin aumentar costos, uno de los grandes beneficios de la energía solar es que contribuye a la diversificación y el autoabastecimiento. (Atom, 2011)

Este tipo de energías también tienen algunas desventajas que deben ser tomadas en cuenta como por ejemplo la fiabilidad de suministro, esto se refiere a que casi todos estos tipos de energía sufren disparidades en función del clima, es decir si no se dan las condiciones adecuadas para su funcionamiento estos sistemas lo sienten en su rendimiento, otra desventaja es que resulta difícil producir energía limpia en grandes cantidades, también se debe tomar en cuenta que representan una inversión inicial a pesar de que luego esta inversión se justifica, la gran mayoría de este tipo de energía necesitan grandes superficies para ser instaladas o funcionar.

2.1.1. Energía Eólica

Los sistemas de energía eólica transforman la energía cinética que se produce por el movimiento de aspas en energía eléctrica. Existe un fenómeno llamado masas de viento las cuales son el producto de la diferencia de presión en distintos lugares, estas masas de viento son las responsables de chocar contra las paletas de los aerogeneradores, produciendo energía mecánica debido al movimiento rotacional que se produce en el eje de las paletas, posteriormente esta energía es transformada en energía eléctrica la cual puede ser almacenada en sistemas de baterías para su posterior utilización o distribuida directamente.

Al no emitir gases ni contaminar de ninguna manera este sistema o tipo de energía se lo considera energía renovable y limpia pero a su vez tiene grandes desventajas tales como la necesidad de un gran espacio para su instalación ya que son equipos grandes y las paletas o aspas deben ser colocadas en lugares altos para poder aprovechar el viento, otra desventaja que se tiene es que al momento que giran las paletas para poder generar energía se produce ruido lo cual se empezaría a contar como contaminación auditiva. Pero la gran limitante de este tipo de energía es la dependencia de un flujo constante de aire ya que no puede ser demasiado viento por que podría exceder la capacidad del aerogenerador y tampoco puede ser una cantidad muy baja de viento ya que no sería suficiente para mover las turbinas lo cual nos dejaría sin energía.

Para un poco intentar evitar las desventajas anteriormente mencionados se crearon los campos eólicos los cuales se tienen más de una turbina para que el flujo de energía sea constante y para evitar temas de ruido a la población estos suelen estar ubicados en zonas alejadas de la población y lugares despejados donde existan corrientes de viento la mayor cantidad del tiempo.

Otro gran inconveniente que se tiene con este tipo de energía limpia es que las torres de energía eólica al ser muchas empiezan a generar contaminación visual lo cual molesta a mucha gente e incluso afecta a los paisajes naturales.

2.1.2. Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es un tipo de energía solar al igual que la energía solar térmica se caracteriza por su funcionamiento basado en paneles solares, los cuales se encargan de la recepción de la radiación luminosa del sol para después transformarlo en corriente eléctrica.

Los paneles solares están conformados por células fotovoltaicas en las cuales se ejecuta la transformación de la energía lumínica (fotones) en electricidad (electrones en movimiento).

El fundamento de este sistema energético es conocido como el efecto fotoeléctrico, el cual se basa en que la energía que es aportada a los paneles debe ser suficiente como para vencer la fuerza que permite que los electrones sigan unidos al átomo, cuando los electrones son liberados, forman una corriente de electrones lo cual a su vez es la electricidad (ElectricidadGratuita, 2015).

2.1.3. Energía hidroeléctrica

Este tipo de energía básicamente se produce gracias al agua, ya que esta genera energía cinética con la marea o las corrientes de la misma, esta es una

de las energías más antiguas, sus primeros pasos fueron los molinos de agua evolucionando a lo que ahora conocemos que son las centrales hidroeléctricas.

La energía hidroeléctrica también es generada por la lluvia o el agua de deshielo ya que generan movimiento en el agua lo cual puede ser aprovechado, este tipo de energía no es nueva ya que lleva años de ser explotada y es la más usada a nivel mundial, proporciona alrededor de un quinto de la energía de todo el mundo esto también se debe a que países como Estados Unidos, China, Rusia, Brasil y Canadá entre otros son los mayores productores.

La central hidroeléctrica más grande a nivel mundial es la de los tres cañones ubicados en China, esta es seguida de la represa de Estados Unidos en la zona norte del estado de Washington.

Una de las mayores desventajas de este tipo de energía es que al momento de la construcción de la presa puede destruir y afectar a la flora y a la fauna, también sucede muchas veces que algunas especies de peces no son capaces de nadar río arriba y muchas veces mueren cuando entran a las turbinas de la represa, para mitigar este problema se han creado métodos como la escalera de peces para que puedan pasar por encima de la represa y que no queden atrapados en las turbinas. Otro gran problema de las represas hidroeléctricas es que disminuyen los niveles de oxígeno en el agua lo cual afecta a los hábitats fluviales. (Nationalgeographic, 2016)

2.1.4. Energía geotérmica

La energía geotérmica se produce a través de la extracción de calor del interior de la tierra, esto se lo realiza obteniendo el calor de los fluidos o del magma, la temperatura va en aumento a medida que el centro de la tierra se acerca por lo que dependiendo de la profundidad de la extracción es la cantidad de energía que se puede obtener. (Erenovable, 2016)

Estos fluidos pasan por las rocas y por el suelo a una temperatura aproximada de 230°C, básicamente estos líquidos están formados por mezclas de minerales disueltos y vapor, muchas veces llegan a la superficie a través de las fallas del suelo y ahí es cuando se crean las fuentes de agua termales, fumarolas o geiseres.

La parte más importante para el aprovechamiento de este tipo de energía es lograr perforar pozos lo suficientemente profundos para extraer este fluido, una vez que este se encuentra en superficie se lo separa en una fase vapor, que luego se envía a una planta de generación eléctrica, donde se transforma en energía calórica para que posteriormente se transforme en energía eléctrica. Mientras que la fase líquida con las sales disueltas son enviadas al reservorio de nuevo.

Dependiendo del tipo de reservorio geotérmico que sea explotado se define el tipo de planta, es decir se diferencian por la presión del fluido, las condiciones de temperatura y de la fase dominante ya sea líquido o vapor. (Andina, 2015)

2.1.5. Biomasa

La biomasa es el aprovechamiento de la materia orgánica como fuente de energía, la cual abarca un gran conjunto de materias orgánicas de composición heterogénea tanto por el origen como por su naturaleza.

La biomasa es originada por procesos biológicos, procesos espontáneos o provocados, para ser aprovechado posteriormente como fuente de energía. Este tipo de energía puede ser agrupadas generalmente en dos grandes grupos: agrícolas y forestales. (APPA, 2012)

Este tipo de energía a partir de biomasa se la puede obtener mediante procesos naturales asociados a los compuestos orgánicos. Este tipo de energía es considerada como energía limpia ya que genera muy pocos residuos que

además son biodegradables, además la materia orgánica necesaria para esta energía es de fácil obtención debido a las actividades humanas, una de sus desventajas es la gran cantidad de espacio que necesita para su aprovechamiento lo cual a su vez está asociada con la creación de plantas de producción.

Finalmente se puede asegurar que la biomasa consiste en la energía solar que ha sido capturada mediante procesos fotosintéticos asociados al metabolismo de las plantas, de esta manera el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) se encuentra actualmente desarrollando varios proyectos que buscan el aprovechamiento de la biomasa residual para producir energía adicionalmente la implementación de esta energía tiene como objetivo el uso eficiente de la misma en el Ecuador. (INER, 2013)

2.2. Comparación de las energías

Mediante el uso del software RETScreen se determinó que en estas zonas donde se espera hacer uso del sistema es mejor aprovechar la energía solar por encima de cualquier otro tipo de energía renovable como se muestra en los siguientes gráficos.

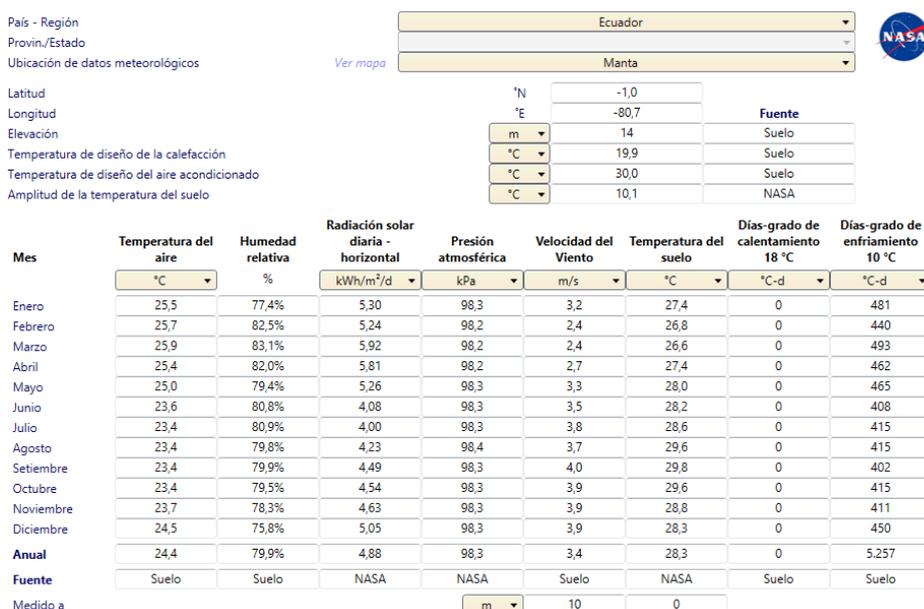


Figura 3. Radiación solar en Manta

País - Región		Ecuador			
Provin./Estado		Esmeraldas			
Ubicación de datos meteorológicos		Ver mapa			
Latitud		°N	1,0		
Longitud		°E	-79,7	Fuente	
Elevación		m	246	NASA	
Temperatura de diseño de la calefacción		°C	19,6	NASA	
Temperatura de diseño del aire acondicionado		°C	29,0	NASA	
Amplitud de la temperatura del suelo		°C	9,7	NASA	

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Días-grado de calentamiento 18 °C	Días-grado de enfriamiento 10 °C
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	23,0	80,4%	4,24	94,4	2,3	25,0	0	403
Febrero	23,2	80,7%	4,43	94,3	1,8	24,9	0	370
Marzo	23,4	80,1%	5,00	94,3	1,7	25,2	0	415
Abril	23,9	77,0%	4,80	94,3	1,9	26,0	0	417
Mayo	24,4	71,3%	4,22	94,4	2,0	26,9	0	446
Junio	24,5	65,8%	3,73	94,4	2,4	27,2	0	434
Julio	24,5	60,6%	3,87	94,5	2,6	27,5	0	450
Agosto	24,8	58,0%	4,06	94,5	2,8	28,7	0	460
Setiembre	24,5	63,8%	4,21	94,5	2,7	28,5	0	434
Octubre	23,8	69,6%	3,98	94,4	2,7	27,7	0	428
Noviembre	23,2	73,4%	3,81	94,4	2,7	26,5	0	396
Diciembre	23,1	77,7%	4,07	94,4	2,6	25,6	0	406
Anual	23,9	71,5%	4,20	94,4	2,4	26,7	0	5.057
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a				m	10	0		

Figura 4. Radiación solar en Esmeraldas

En la siguiente tabla incluso se puede evidenciar que tipo de energía renovable es más económica y más costosa al momento de realizar la implementación.

Tabla 1.

Coste total de energías renovables

Tecnología	Horas de funcionamiento anual (equivalentes)	Producción anual MWh/año	Coste de instalación por MW	Coste de amortización + intereses por MWh	Coste de combustible	Coste total (€/MWh)
Aerogenerador	2200	4.400	1.200.000	43,6	0,0	65,4
Termosolar sin alm	2400	119.760	3.700.000	123,3	0,0	170,6
Termosolar con alm	3000	149.700	5.000.000	133,3	0,0	183,3
Biomasa 15 MW	6500	97.500	2.200.000	27,1	20,0	67,9
Biomasa 5 MW	6500	32.500	2.500.000	30,8	20,0	86,2
Fotovoltaico	2200	22.000	1.300.000	47,3	0,0	60,9
Cogeneración 20 MW Turbina en ciclo combinado	6000	120.000	1.100.000	14,7	58,3	83,4
Cogeneración 5 MW Motor gas	6000	30.000	900.000	12,0	83,3	110,1

En la tabla se puede apreciar los costos de construcción y el análisis de costos por MWh generado en cada una de las tecnologías o diferentes tipos de energía renovable.

Al analizar el costo total y la radiación solar que podrían recibir los paneles solares en estas zonas se llega a la conclusión de que el uso de energía solar o fotovoltaica es la más apropiada como sistema alternativo de energía. (Renovetec, 2014)

2.3. Las energías en el Ecuador

La energía eléctrica ha sido uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de la población a nivel mundial, se ha convertido en algo tan indispensable en la vida diaria de los seres humanos que hoy en día es imposible vivir sin este suministro, ya que son muy pocas las cosas que se pueden realizar sin esta.

Aún existen poblaciones en las cuales se han visto marginadas de un suministro de energía lo cual limita su desarrollo, esto generalmente sucede con poblaciones alejadas de las grandes ciudades por lo cual se han visto forzadas a buscar nuevas formas de obtención de energía eléctrica.

La falta de fuentes aprovechables para la obtención de energía eléctrica y los altos costos de las líneas de transmisión debido a las distancias que existe entre el generador o central eléctrica hasta las diferentes poblaciones son las principales razones por las que algunas poblaciones se ven excluidas de algo tan básico como el suministro de energía eléctrica.

Es por esto que se vuelve tan importante la implementación de sistemas aislados y autónomos es decir que no tengan conexión con la red pública y sean capaces de proveer energía a poblaciones alejadas, ya que incluso estas formas de obtención de este recurso son amigables con el planeta ya que se basan en el uso de la naturaleza tales como el agua, el viento y el sol sin necesidad de combustibles fósiles.

Actualmente el estado ecuatoriano fomenta el uso de energías renovables que ayuden a cubrir la demanda existente y que entregue energía eléctrica a lugares

apartados. Actualmente el aprovechamiento de las distintas fuentes de energía en el Ecuador se distribuye en el uso de energía renovable con el 52.42% y no renovable con el 47.58%, dentro de la energía renovable la hidráulica constituye el 49.77% es decir casi el 100% de la energía renovable mientras que la energía solar con una producción de 26.48 MW representa el 0.36%, es decir la energía solar en nuestro país no es explotada.(ARCONEL, 2016)

Tabla 2.

Las energías en el Ecuador

1. Potencia nominal en generación de energía eléctrica		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	3.653,01	49,77%
	Eólica	21,15	0,29%
	Fotovoltaica	26,48	0,36%
	Biomasa	144,30	1,97%
	Biogas	2,00	0,03%
Total Energía Renovable		3.846,94	52,42%
No Renovable	Térmica MCI	1.929,10	26,28%
	Térmica Turbo gas	1.101,29	15,01%
	Térmica Turbo vapor	461,87	6,29%
Total Energía No Renovable		3.492,25	47,58%
Total Potencia Nominal		7.339,19	100,00%

Tomado de (ARCONEL, 2016)

*Figura 5. Energías del Ecuador*

Tomado de (ARCONEL, 2016)

2.4. Energía Solar Fotovoltaica

Con el fin de generar electricidad a partir de la energía solar se han desarrollado dos tecnologías: fotovoltaica y térmica también conocida como termo solar, estas tecnologías utilizan como fuente de energía al sol pero lo aprovechan de diferente manera.

La energía termo solar consiste en la concentración de la energía proveniente del sol para generar energía térmica, la cual es usada posteriormente para generar vapor, con el cual se genera el movimiento de una turbina que será la encargada de generar energía eléctrica, de esta manera esta tecnología es capaz de generar electricidad de manera gestionable, por lo tanto esta energía depende básicamente de la radiación solar directa (DNI) la cual puede ser descrita como la energía proveniente del sol hacia la superficie terrestre sin que exista interferencia por parte de partículas, nubes o cualquier otro elemento. Dentro de la energía termo solar existe dos tipos: la primera es la de cilindro parabólico y la segunda es la de tecnología de torre. Finalmente es importante reconocer que los países donde existe un mayor aprovechamiento de esta energía son Estados Unidos y España pero a través de los años se ha podido observar un incremento en su utilización por parte de países como China, Chile e India. (ABENGOA, 2014)

Adicionalmente la energía termoeléctrica consta del aprovechamiento del calor que es producido por el sol para después ser transformado en energía limpia, por lo tanto existen varias formas de realizar este proceso siendo las tecnologías más usadas, las mencionadas anteriormente. Finalmente es importante tener en cuenta que existen diferencias entre la energía termo solar a gran escala y la energía solar térmica de baja temperatura la cual es utilizada para radiadores o para calentar agua.

La tecnología de cilindros parabólicos está compuesta por espejos en forma de cilindros, los cuales se encargan de reflejar la radiación solar y concentrarla en

un tubo ubicado en la lineal focal, este tubo central posee un fluido térmico que puede alcanzar temperaturas de hasta 400 grados centígrados, posteriormente todo el calor generado es enviado a un intercambiador que posee agua, que se transformara en vapor, el cual se encarga de generar el movimiento de turbinas conectadas a generadores, finalmente todo el vapor generado es enfriado para ser aprovechado nuevamente en el proceso.

Por otro lado la tecnología de torre central consiste en la concentración de la radiación solar en un solo punto, por lo cual no es necesario de un fluido térmico pero si utiliza heliostatos, los cuales actúan como espejos que reflejan la radiación a la torre, en la cual se encuentra en la parte superior un intercambiador de calor capaz de alcanzar temperaturas de hasta 600 grados centígrados. (Acciona, 2014)

Adicionalmente la energía fotovoltaica consiste del aprovechamiento de la energía solar para generar electricidad asociada a las características químicas de ciertos componentes. Para la producción de energía en esta tecnología se aprovecha el efecto fotovoltaico, el cual es generado debido a la radiación solar sobre materiales semiconductores. Debido a que se genera un impacto permanente sobre el núcleo de los materiales, se produce corriente continua, por esta razón los módulos fotovoltaicos son capaces de generar electricidad a partir del momento en que la radiación solar llega a los paneles. Por otro lado la evolución de esta tecnología ha desencadenado en la maduración del mercado encargo de la producción de módulos y en los sistemas de almacenamiento para que sea posible superar la intermitencia asociado con esta energía. Finalmente los países en donde existe una mayor utilización de esta tecnología son China, Alemania y Estados Unidos.

Tabla 3.

Comparación energía Termo solar y Fotovoltaica

Termo solar	Fotovoltaica
Puede gestionarse, por lo cual se puede adaptar la producción de energía en base a la demanda de la misma	No es costosa, resulta barata.
Puede convertirse en híbrida mediante la utilización de combustibles fósiles o el gas natural, por lo cual es posible reducir la emisión de gases de efecto invernadero producidas en las plantas eléctricas tradicionales, adicionalmente esto puede extender su vida útil.	No se ve limitada por el área geográfica donde puede ser instalada.
Aumento en el desarrollo socioeconómico de la población debido a la implementación de nuevas industrias y empleo, que además favorecen a la creación de nuevas tecnologías así también como fomentan la innovación y el emprendimiento de la zona	Baja inversión tanto económica como humana, necesaria para el mantenimiento

2.4.1. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas que llegan en diferentes frecuencias, esta se mide en KWh/m², la cual llega de cuatro maneras diferentes:

Radiación directa: este tipo de radiación es la que como indica su nombre llega desde el sol de manera directa sin que exista algún desvío en su camino.

Radiación difusa: es la que en su viaje desde el sol hasta el panel sufre cambios en su dirección lo cual se debe a la reflexión y difusión causada por la atmosfera.

Radiación reflejada: esta es reflejada por la superficie terrestre, esta depende directamente del coeficiente de reflexión de la superficie.

Radiación Global: es la radiación total, es decir la suma de las tres radiaciones anteriores.

Algo muy importante que se debe tomar en cuenta es que mientras mayor sea la radiación solar que llega a los paneles solares mayor será su aprovechamiento para luego transformarla a energía eléctrica.

En la siguiente ilustración se puede apreciar de mejor manera los tipos de radiación.

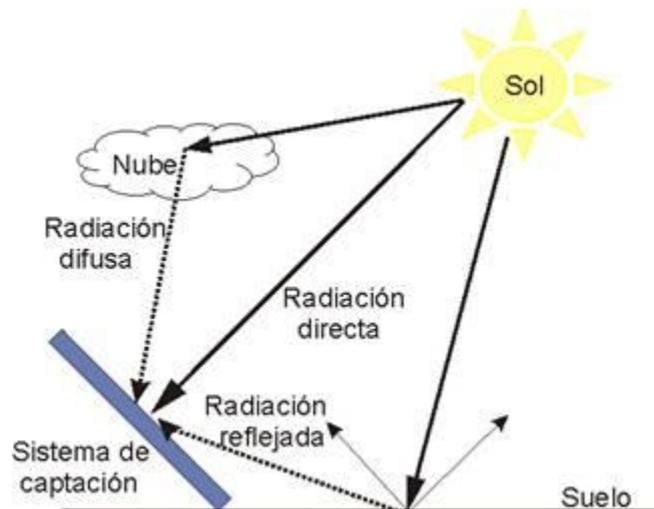


Figura 6. Tipos de radiación

Adaptado de (SunFields, 2016)

2.4.2. Aplicaciones de la energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica tiene diferentes aplicaciones o usos de la misma, entre la principal podemos encontrar la entrega de energía a zonas apartadas de la ciudad donde no llega el tendido eléctrico, se puede encontrar mucho el uso de la energía solar en letreros luminosos o vallas publicitarias esto ayudando a evitar el uso de generadores eléctricos o evitando generar costos. Otro gran uso que se da es la iluminación de parques o jardines esto se hace usando pequeños paneles solares ubicados en el mismo faro que iluminará sin causar molestias como cableado en postes, un uso frecuente en el campo es el usar la energía fotovoltaica para bombeo de agua en sistemas de riego. (IMF, 2014)

Algunos sistemas de comunicación que necesitan fuentes de respaldo o diferentes equipos que se encuentren ubicados en lugares de difícil acceso también hacen uso de este tipo de energía, muchos sistemas que funcionan vía satélite tales como telecontrol o cabinas telefónicas se los realiza con el uso de paneles solares. Varios centros médicos que se encuentren en zonas rurales hacen uso de la energía solar para alimentar ciertos equipos tales como los lugares donde se almacenan vacunas o medicamentos que se deben conservar a bajas temperaturas.

2.4.3. Instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica

Un sistema básico de una instalación fotovoltaica contiene cuatro partes principales las cuales son paneles solares, controlador o regulador de carga, baterías y carga eléctrica los cuales se los distribuye como se puede ver en la figura. (Renovetec, 2014)



Figura 7. Instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica

2.4.3.1. Paneles solares

Los paneles fotovoltaicos son aquellos que permiten convertir la energía solar en energía eléctrica y está compuestos por varias células fotovoltaicas, las cuales están hechas a base de materiales semiconductores y son capaces de producir corriente continua (CC). Finalmente al momento de analizar los paneles solares se debe tomar en cuenta 3 variables, que son las siguientes:

- **V_{mp}**: Voltaje pico del panel.
- **I_{mp}**: Corriente pico del panel.
- **W_p**: Potencia esperada del panel en condiciones ideales de radiación y temperatura.

Algunos factores importantes de desempeño son que cuando sube la intensidad de luz sube la corriente, cuando baja la temperatura sube el voltaje y la sombra baja la corriente del panel.

Dentro de un sistema fotovoltaico el panel solar es el generador del sistema ya que es el encargado de transformar la radiación solar en corriente directa (DC) o también conocida como corriente continua (CC). El número de paneles que se necesiten en el sistema debe ser determinado de tal manera que estos sean capaces de entregar la energía requerida por el mismo para su correcto funcionamiento.

Los paneles solares están compuestos de células o celdas solares los cuales están hechos de silicio, al cual se lo somete a varios procesos químicos los cuales se tratan de poner en la estructura del silicio átomos de boro y fosforo lo cual genera un campo eléctrico. Existen dos tipos de células fotovoltaicas las que son construidas con silicio mono cristalino y las que son construidas con silicio poli cristalino, cada célula solar no es capaz de entregar una gran cantidad de energía, la eficiencia de conversión de las células del silicio esta entre el 13% y el 17%, por ejemplo una celda que tenga 6cm de diámetro es capaz de generar 0.5 amperios a 0.5 voltios, es por esto que es vital realizar

varias conexiones ya sean en serie o en paralelo entre celdas para que al final el panel pueda entregar mayor cantidad de voltaje y corriente. (Enerpoint, 2015)

Al momento en que el panel empieza a recibir la radiación solar también recibe mucho calor el cual puede afectar su rendimiento, es por esto que los paneles tienen capas de vidrio el cual es el encargado de disipar el calor y a su vez lo protegen de la lluvia, el polvo y evita su oxidación. Un panel solar es capaz de generar entre 50 y 150 W/m² aproximadamente ya que tienen un rendimiento medio del 10% es decir si en condiciones ideales el panel recibe 1000 W por metro cuadrado será capaz de producir 100 W/m².

Las condiciones estándar de un panel solar son las siguientes:

- Temperatura= 25° C
- Irradiación solar= 1kW/m²

Los paneles fotovoltaicos presentan una curva característica en relación a la intensidad y al voltaje, esta se la conoce como curva I-V, donde:

- **Pmax:** es la potencia máxima generada por el panel solar al momento en que se encuentra una carga conectada, en el grafico es representada por el área del rectángulo que forma.
- **Voc:** es la diferencia de potencial generado por el panel solar al momento que no existe una carga conectada es decir el voltaje del circuito abierto.
- **Vm:** es el voltaje en el que se obtiene la potencia máxima, por lo general es menor que el Voc.
- **Isc:** es la corriente máxima que puede ser entregada por el panel fotovoltaica, por lo general su valor es de 3A.
- **Im:** es el valor de corriente al momento en que se obtiene la potencia máxima generada por el panel por lo general menor a Isc.

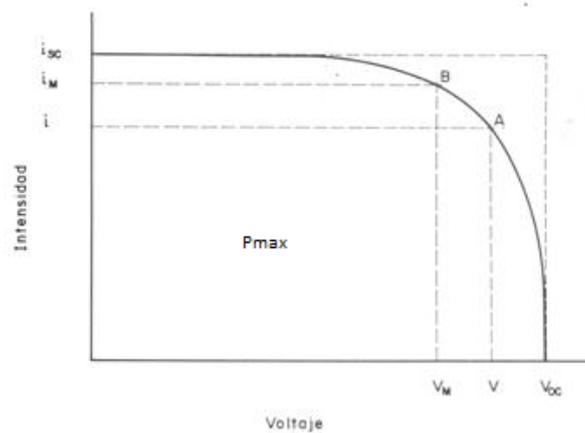


Figura 8. Potencia Máxima

Tomado de (SunFields, 2016)

Para poder calcular la potencia máxima generada por el panel solar se puede aplicar la siguiente fórmula:

Fórmula de cálculo Potencia Máxima (P_{max})

$$P_{max} = V_M * I_M \quad (\text{Ecuación 1})$$

Es decir en el gráfico el punto B es el punto máximo de potencia que puede entregar el panel solar. El punto A es un punto cualquiera que muestra el funcionamiento de un panel fotovoltaico en condiciones de Intensidad y Tensión cualquiera. (ENERGETIKA, 2014)

También existen varios parámetros característicos que describen el comportamiento de un panel solar que son los siguientes:

- FF: Factor de Forma, muestra la calidad del panel ya que indica que tan empinada es la curva característica del panel y este factor se lo obtiene de la siguiente manera:

Fórmula de cálculo Factor de Forma (FF)

$$FF = \frac{P_{MAX}}{V_{OC} * I_{SC}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- P_L : es la potencia de radiación solar que llega a la superficie del panel

- η : Factor de rendimiento o eficiencia, indica la cantidad de energía solar que el panel puede aprovechar para convertirlo en energía eléctrica. Se lo puede calcular con la siguiente fórmula:

Fórmula de cálculo Eficiencia

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_L} \quad (\text{Ecuación 3})$$

- E: es la energía solar que llega al panel en condiciones estándar.
- A_c : área del panel fotovoltaico.

Con esto podemos inferir las siguientes ecuaciones:

$$P_L = E * A_c$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_L} = \frac{V_M * I_M}{E * A_c}$$

Al relacionar el factor de eficiencia (FF) con el rendimiento obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$P_{MAX} = FF * V_{OC} * I_{SC}$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_L} = \frac{FF * V_{OC} * I_{SC}}{E * A_c}$$

$$FF = \frac{\eta * E * A_c}{V_{OC} * I_{SC}}$$

También es muy importante al momento de plasmar la instalación de un panel solar tomar en cuenta la orientación del mismo con un ángulo α con respecto al norte y un ángulo de inclinación β . Gracias a que este diseño es orientado para Ecuador donde los rayos solares llegan de manera perpendicular no es necesario el cálculo del ángulo β , lo que respecta con el ángulo α en el Ecuador se tiene una recepción de radiación solar prácticamente uniforme durante todo el año esto debido principalmente a que el país no tiene las cuatro estaciones que en otros países se tiene. (Censolar, 2014; Sitiosolar, 2014)

Al momento de seleccionar un lugar para colocar los paneles fotovoltaicos es de vital importancia que estos se encuentren en un lugar abierto donde reciban luz solar directamente y que nada les pueda generar sombra a ninguna hora del día, e incluso si se instala más de un panel es trascendental tomar en cuenta que no se hagan sombra entre ellos.

Los paneles pueden ser conectados de dos maneras diferentes las cuales son en serie o en paralelo esto dependiendo de lo que estemos interesados en obtener ya sea aumentar el voltaje en el caso de una conexión en serie, o en paralelo para aumentar la intensidad de corriente. Es importante tener en cuenta que se puede hacer conexiones combinadas es decir en un mismo arreglo de paneles que estén conectados en serie y en paralelo a la vez. (SunFields, 2016)

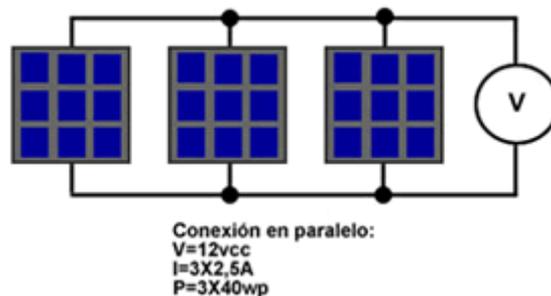


Figura 9. Conexión en paralelo

Tomado de (Solsum, 2012)

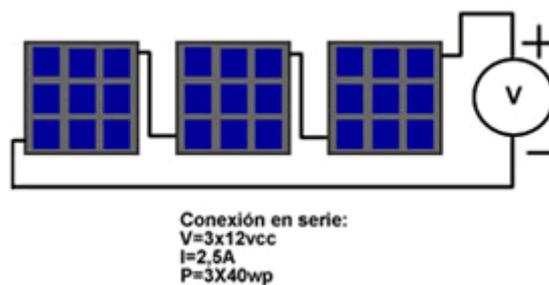


Figura 10. Conexión en serie

Tomado de (Solsum, 2012)

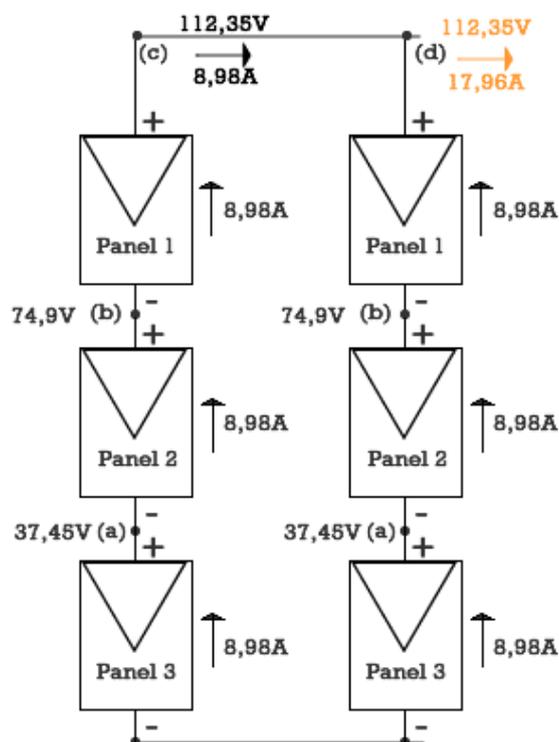


Figura 11. Conexión Mixta

Tomado de (Solsum, 2012)

2.4.3.2. Controlador o regulador de carga

El controlador o regulador de carga es el encargado de conectar y desconectar el panel o arreglo de paneles solares, esto se lo realizará según la necesidad es decir en función de la carga de la batería o banco de baterías que se esté usando, también es capaz de dejar en circuito abierto al panel en caso de no ser necesaria la energía que este esté entregando.

Algunas de las funciones más importantes del controlador de carga es la de limitar la carga de la batería en caso de que esta se encuentre con carga completa como a su vez debe ser capaz de indicar si la batería se encuentra descargada, otra misión del regulador de carga es proteger al sistema de una sobre intensidad o a su vez un corto circuito lo cual podría causar daños en diferentes partes del circuito. Este equipo también es capaz de evitar la descarga de la batería o banco de baterías durante la noche, esto lo hace

mediante un diodo de bloqueo, esto es muy importante ya que si la batería llegara a descargarse en su totalidad quizás una vez no cause mayor efecto pero en caso de que esto sea algo recurrente la vida de la batería se vería afectada lo cual provocaría que esta deba ser reemplazada generando costos extras. Por lo general los reguladores de carga son capaces de mantener el nivel de carga de la batería sobre un 40%.

El controlador de carga es muy útil y de vital importancia en un sistema de energía solar ya que logra regular el voltaje y la corriente del panel y al hacer esto le ayuda mucho al sistema de almacenamiento de carga alargando su vida útil, este dispositivo logra regular los niveles tanto de amperaje y voltaje, que pueden ser muy variables debido a la radiación solar o la temperatura a la que se encuentren los paneles, regulariza estas variables según el estado de carga de la batería es decir este equipo funciona mucho en función de la energía que tenga el sistema de almacenamiento de carga del sistema. Lo que este componente hace es cuando la batería tiene poca carga aumenta el paso de corriente por parte del panel hasta mantenerlo de manera estable y por ultimo empieza a decrecer el paso de carga conforme la batería se vaya cargando.

Al momento de elegir un regulador de carga es muy importante tener en cuenta que estos pueden trabajar con 12, 24 o 46v y la corriente debe ser un 20% mayor que la que los paneles sean capaces de entregar en su potencia máxima para que el equipo no sufra daños o cualquier otro elemento del sistema. También suele ayudar mucho los reguladores que tienen indicadores de temperatura ya que pueden alertar en caso de un exceso de temperatura con el fin de tomar medidas correctivas con respecto a esto. (Koneze Industrial, 2015)

Los controladores o reguladores de carga por lo general tienen dos parámetros nominales muy importantes, los cuales son el voltaje nominal y la capacidad nominal.

El voltaje nominal (V_N) se mide en voltios [V] y es la cantidad de energía que se obtiene en los bornes de la batería con la carga eléctrica conectada.

La capacidad nominal (C_N) se la puede medir en amperios-hora [Ah] o en amperios-hora [Wh] es básicamente la carga de la batería que se puede almacenar o se puede extraer de la misma. (Solsum, 2012)

Los reguladores de voltaje al momento de elegir con es el más idóneo para nuestro sistema se debe tomar en cuenta seis características que por lo general son las siguientes:

- Tipo de circuito: Regulador Shunt de ciclo lento con tiempo de bloqueo fijo
- Consumo Interno: 10 miliamperios (mA) con el panel recibiendo radiación
- Tensión del sistema: 12 voltios nominales
- Tensión del panel para que el regulador se encienda: 10 voltios
- Tensión de corte: 14 voltios
- Corriente nominal máxima: 4 amperios

Los datos técnicos de estos equipos varían según la aplicación a la que estos estén destinados en el siguiente cuadro se puede observar 5 modelos diferentes.

Tabla 4.

Datos técnicos Reguladores de Voltaje

Regulador a 25° C	Solsum 5.0	Solsum 8.0	Solsum 6.6	Solsum 8.8	Solsum10.10
Voltaje	12 V		12 V (24 V)		
Amp Máx de panel	5 A	8 A	6 A	8 A	10 A
Amp Máx carga	5 A*1	8 A*1	6 A	8 A	10 A
Función LVD	no	no	si	si	si
Máx voltaje panel	47 V				
Máx Autoconsumo	< 4 mA				
Tensión final	13,9 V (27,4 V)				
Tens. ecualización	14,4 V (28,8 V)				
Tensión de reconexión (LVR)*2	Sin LVR		12,4 ~ 12,7 V (24,8 ~ 25,4 V)		
Corte descarga profunda LVD*2	Sin LVD		11,2 ~ 11,6 V (22,1 ~ 23,2 V)		
Temperatura Oper	-25°C ... +50°C				
Terminal Ø	6 mm ²				
Protección	IP32				
Peso	Aprox. 150 g				
Tamaño	145 x 97,15 x 23,93 mm				

*1) = No tiene LVD (corte por descarga profunda), el consumo conéctelo directamente a la batería.

*2) = El valor menor para la corriente nominal, el mayor para la menor corriente.

Tomado de (Solsum, 2012)



Figura 12. Regulador de voltaje

Tomado de (Sitiosolar, 2014)

2.4.3.3. Batería

Es el dispositivo donde se almacena la energía eléctrica que el panel solar transformó captando la radiación solar, este elemento puede estar compuesto por un banco de baterías, los cuales su principal propósito es almacenar el exceso de energía para que en caso de que se necesite que el sistema entre en funcionamiento en la noche o en algún momento que no exista una cantidad suficiente de radiación solar la bomba será alimentada por las baterías anteriormente cargadas por el panel fotovoltaico.

La batería tiene básicamente tres objetivos principales los cuales son almacenar energía eléctrica, entregar energía eléctrica y distribuir la energía de manera estable y adecuada. Se puede almacenar la energía en casos cuando el sistema está apagado o este no está consumiendo toda la energía que se está generando incluso en caso de que exista un exceso de energía no consumida. El segundo objetivo es vital ya que las baterías se transforman en el principal suministro del sistema cuando existe una baja radiación solar o incluso cuando esta no se hace presente. Y por último la distribución de energía se la hace de forma estable y adecuada es decir de una manera en la que no pueda dañar otro componente del sistema. (Arango, Ascencio, Barrientos, Strachan, y Risser, 2014)

En sistemas de energía solar es muy importante las características de la o las baterías según la necesidad ya que es muy recomendable el uso de baterías de ciclo profundo, estas son diseñadas para que su tiempo de vida útil no se vea afectado al momento de estar continuamente cargándose y descargándose, por lo general este tipo de baterías están construidas de varias combinaciones químicas tales como plomo ácido, plomo selenio, plomo antimonio, plomo calcio. Muchas veces este tipo de baterías de ciclo profundo o descarga profunda son confundidas con las baterías que se usan en los vehículos pero existe una enorme diferencia entre estas y es principalmente que una batería de carro puede descargarse por completo máximo unas 50 veces para luego de funcionar mientras que las de ciclo profundo pueden duplicar esta cifra sin dañarse, otra gran diferencia es que las baterías de los vehículos están obligadas a entregar una cantidad determinada de energía de una manera rápida.

La velocidad de descarga de una batería de ciclo profundo es la que determina la capacidad de almacenaje de la misma, en promedio este tipo de acumuladores de carga tiene un descargue del 3% mensual esto se debe a que internamente su resistencia es muy baja, para este tipo de proyectos la batería que mejor funciona es la que posee un tiempo de descarga de 10 horas es decir que empieza a perder mínimamente su carga luego de 10 horas. Es decir una

batería con descarga a 10 horas es capaz de almacenar 115 amperios mientras que una de 20 horas de descarga puede almacenar 121 amperios y una de 1 hora de descarga solo podrá almacenar 59 amperios.

El acumulador de carga es una parte vital en el funcionamiento del sistema es por esto que se lo debe cuidar principalmente de dos factores los cuales afectan directamente a su vida útil, estos son la sobrecarga o la sobredescarga.

La sobrecarga como su nombre lo indica es cuando la batería ha llegado a su límite de almacenamiento de carga y se le sigue introduciendo corriente, esto produce la fuga o liberación de Oxígeno e Hidrógeno por medio de hidrólisis, a la larga dañándola.

La sobredescarga igualmente es producida cuando se sigue sacando energía de la batería una vez que esta se encuentra casi sin carga, lo que esto produce es la sulfatación de las placas de la batería es decir se forman unos cristales de Sulfato Plumboso los cuales son aislantes y esto ocasionará que se pierda la capacidad de almacenamiento de corriente. (SISTACOAT, 2013)

Es por esto que son tan importantes los reguladores de carga ya que estos ayudan a que estos dos fenómenos no se produzcan y a la vez alargando la vida útil de la batería y generando ahorro o evitando que se incurra en gastos extras.

En los siguientes gráficos se muestra el esquema básico de una batería de 12 voltios, la configuración de voltaje para baterías de electrolito líquido de ciclo profundo y un cuadro de carga recomendada. En la siguiente ilustración se puede ver que existen seis celdas dentro de la batería las cuales tienen un valor de 2 voltios y están conectadas en serie para dar un total de 12 voltios.

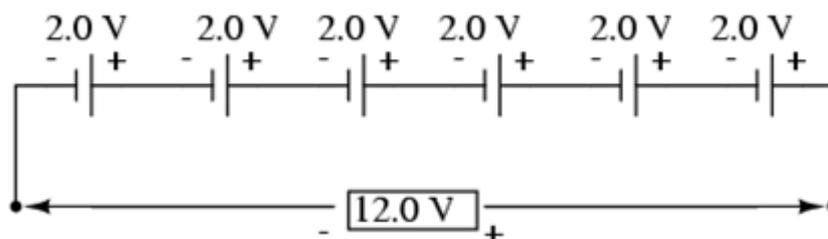


Figura 13. Celdas de la batería

Tomado de (Trojan Battery Company, 2012).

Tabla 5.

Configuración de voltaje del cargador para baterías de electrolito líquido de ciclo profundo

Configuración de voltaje del cargador para baterías de electrolito líquido de ciclo profundo						
Voltaje del sistema	6 voltios	8 voltios	12 voltios	24 voltios	36 voltios	48 voltios
Carga diaria	7.4	9.87	14.8	29.6	44.4	59.2
Carga de absorción para aplicaciones RE	7.05 – 7.35	9.4 – 9.8	14.1 – 14.7	28.2 – 29.4	42.3 – 44.1	56.4 – 58.8
Carga de flotación	6.6	8.8	13.2	26.4	39.4	52.8
Carga de ecualización	7.8	10.4	15.5	31.0	46.5	62.0

Tomado de (Enalmex, 2012)

En el siguiente grafico podemos observar las curvas características que describen el comportamiento tanto de la corriente de carga y del voltaje de carga teniendo como parámetros el voltaje por celda, la corriente en amperios y el estado de carga de la batería determinado en porcentajes, en el cual el 90% de la carga de la batería muestra que sus curvas características sufren cambios drásticos hasta llegar al 100% de carga.

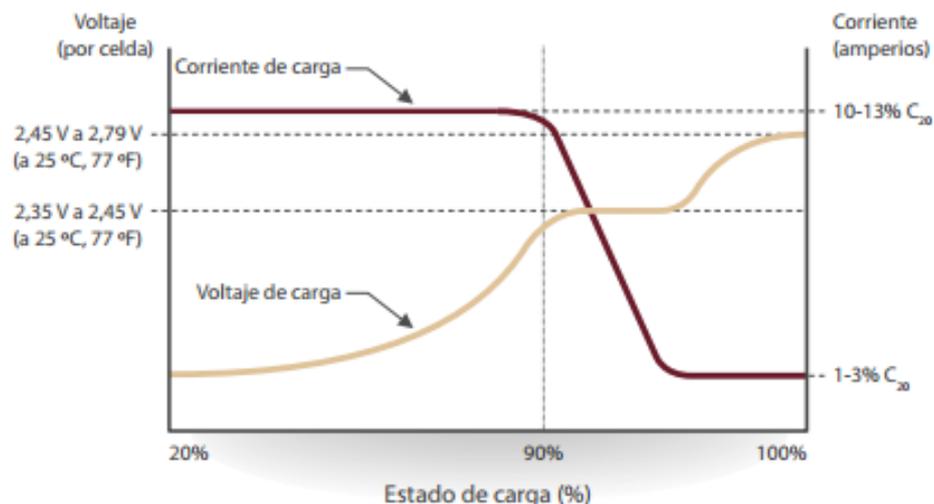


Figura 14. Curva característica de una batería de ciclo profundo
Tomado de (Enalmex, 2012)

2.4.3.4. Consumo Eléctrico

La carga eléctrica es lo que va a consumir la energía que el panel solar envió a la batería para su uso, aquí se puede conectar cualquier aparato eléctrico que consuma energía y en base a esto muchas veces los proyectores dimensionan el tamaño y la cantidad de paneles solares que van a ser usados ya que la meta es lograr alimentar la carga eléctrica para que esta funcione sin interrupción alguna.

Para el caso de este sistema se usará como carga eléctrica una bomba la cual se dimensionará a partir del consumo de agua de las personas que se encuentran en alguna zona u hogar donde esto será implementado, dependiendo de esto sabremos el consumo de energía de la bomba lo cual posteriormente nos servirá para el dimensionamiento tanto de paneles solares, batería y reguladores de carga para que al final se obtenga un producto autosustentable de bajo costo, fácil de operar e incluso que no requiera de mayor mantenimiento.

En caso que el consumo de energía no sea de 12V que es lo que entrega el regulador de voltaje se necesita usar ya sea un convertidor o un inversor de voltaje para obtener el voltaje deseado, el convertidor lo que hace es reducir el voltaje este comúnmente es usado para alimentar aparatos eléctricos que usan pilas de 3 voltios. Mientras que el inversor lo que hace es transformar la corriente continua en corriente alterna lo cual permite usar artefactos que necesitan 110 o 220 voltios para su correcto funcionamiento.

Algunos equipos electrónicos que se pueden conectar a los sistemas solares son los siguientes

Tabla 6.

Equipos electrónicos conexión a sistemas solares

Equipo	Consumo en Vatios (W)
Televisor	100
DVD	15
Radiograbadora	25
Foco ahorrador	11-18
Cargador celular	5

Para calcular el consumo eléctrico que se necesitará se debe tomar en cuenta las siguientes formulas:

- Eh: Energía hidráulica es la división entre el volumen del agua y el producto entre un factor K con uno sobre la carga dinámica total, su unidad es $\left[\frac{W*h}{dia}\right]$.

Fórmula de cálculo Energía Hidráulica (Eh)

$$Eh = \frac{Vol}{k * \frac{1}{CDT}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- Vol: es el volumen de agua que se necesita, se encuentra en litros [l]
- K: es una constante la cual se usa cuando se desea calcular la energía necesaria para trasladar un litro de agua a un metro de distancia, su valor es de $367 \left[\frac{l*m}{W*h} \right]$.
- CDT: es la suma entre la carga estática y la carga dinámica, su unidad son los metros [m]
- Es: Energía del sistema, su unidad está en $\left[\frac{W*h}{dia} \right]$.

Fórmula de cálculo Energía del Sistema (Es)

$$Es = \frac{Eh}{\eta} \quad (\text{Ecuación 5})$$

- η : Es la eficiencia de la bomba expresada en porcentaje.
- Q: Es la Carga eléctrica, se encuentra expresada en $\left[\frac{A*h}{dia} \right]$.

Fórmula de cálculo Carga eléctrica (Q)

$$Q = \frac{Es}{V} \quad (\text{Ecuación 6})$$

- V: es el voltaje nominal del sistema, se expresa en voltios [V].
- \bar{Q} : es la Carga eléctrica corregida, se la expresa igual que la carga.

Fórmula de cálculo Carga eléctrica corregida

$$\bar{Q} = \frac{Q}{r} \quad (\text{Ecuación 7})$$

- r : Es el rendimiento del conductor que se use, es una constante adimensional.
- I_{total} : Es la corriente total del proyecto, se la expresa en amperios [A].

Fórmula de cálculo Corriente total (Itotal)

$$I_{total} = \frac{\bar{Q}}{Ins} \quad (\text{Ecuación 8})$$

- *Ins*: Insolación, es la cantidad de horas o segundos en el cual los paneles solares reciben la luz solar. $\left[\frac{h}{dia}\right]$
- $\overline{I_{total}}$: Es la corriente ajustada o corregida, se la expresa en amperios.

Fórmula de cálculo Carga ajustada

$$\overline{I_{total}} = \frac{I_{total}}{F Red} \quad (\text{Ecuación 9})$$

- *F Red*: Es el factor de reducción, se lo debe tomar en cuenta ya que por el polvo, degradación del módulo, temperatura y otros factores disminuye la eficiencia de los paneles solares, cuando se usa paneles cristalinos este valor es del 95%.
- *P*: es la potencia del arreglo de paneles fotovoltaicos, está expresada en [w].

Fórmula de cálculo Potencia del arreglo de paneles voltaicos

$$P = n * I * v \quad (\text{Ecuación 10})$$

- *n*: número de paneles solares que conformaran el arreglo.
- *I*: intensidad de cada panel, expresada en amperios [A].

2.5. Consumo de agua

El consumo de agua que realizamos los seres humanos depende mucho del estilo y la forma de vida que tengamos cada uno pero se estima cercano a los 100 litros diarios muchas veces pudiendo superar este valor, en el siguiente cuadro se detalla el consumo de agua que realiza una persona adulta.

Tabla 7.

Consumo aproximado de agua por persona/día

Consumo aproximado de agua por persona/día	
Actividad	Consumo de agua
Afeitarse	40-75 litros
Afeitarse (cerrando el grifo)	3 litros
Bañarse	200 litros
Beber	1,5 litros
Cocinar	6-8 litros
Darse una ducha	35-70 litros
Descargar la cisterna	10-15 litros
Lavar el coche con manguera	500 litros
Lavar la ropa	60-100 litros
Lavarse las manos	1,5 litros
Lavarse los dientes	30 litros
Lavarse los dientes (cerrando el grifo)	1,5 litros
Limpia la casa	15-40 litros
Limpia la vajilla a mano	100 litros
Limpia la vajilla a máquina	18-50 litros
Media descarga de cisterna	6 litros
Regar un jardín pequeño	75 litros
Riego de plantas domésticas	15 litros

Datos de Intermón Oxfam

Tomado de (OPS, 2013)

En lo que respecta al Ecuador, el consumo de agua varía en hogares urbanos y rurales, estos datos son respecto al consumo de agua potable. El consumo de agua en un hogar que se encuentra en la urbe es de 26,73 m³ al mes es decir 26.730 litros, mientras que en un hogar que se encuentra en una zona rural su consumo de agua al mes es de 27,74 m³ lo que significa 27.740 litros. Lo cual nos indica que en áreas rurales el consumo de agua es mayor que en la urbe. (INEC, 2015)

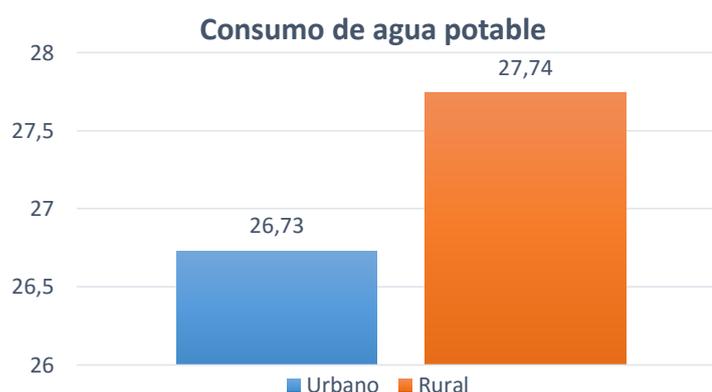


Figura 15. Consumo de agua potable zonas urbanas y rurales

También existen prácticas de ahorro de agua potable en el Ecuador, el 27,90% de hogares ecuatorianos realizan algún tipo de ahorro de agua, y en el área urbana el 29,2% de hogares lo hacen. La ciudad con mayor porcentaje de hogares que realizan prácticas de ahorro de agua es Quito con el 33,8%, en segundo lugar encontramos a la ciudad de Ambato con el 28% seguido de

Guayaquil con el 23,5%, luego a la ciudad de Cuenca con 22% y por último la ciudad de Machala con el 16%. (INEC, 2015)

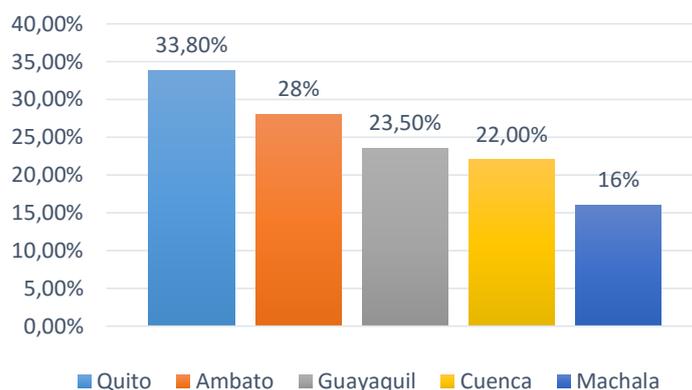


Figura 16. Ahorro de agua en los hogares

2.6. Bombeo de Agua

En Ecuador existen muchas fuentes de extracción o toma de agua, ya sean ríos o vertientes subterráneas, para lograr captar el agua de un pozo es necesario el uso de una bomba ya sea esta una bomba de impulsión o bomba electrosumergible, esto dependiendo de la necesidad de captación del agua y la distancia que el agua debe ser trasladada.

Para poder alimentar de energía la bomba son ideales los sistemas de energía solar ya que se caracterizan por ser confiables, reducida necesidad de mantenimiento, largas horas de uso sin parar, principalmente son muy fáciles de operar.

Para realizar los cálculos del bombeo de agua no es suficiente tan solo el volumen de agua requerido diariamente, también es necesario conocer la carga dinámica total (CDT)

2.6.1. Conceptos sobre el bombeo de agua

Un sistema de bombeo de agua tiene diferentes elementos hidráulicos los cuales deben ser tomados en cuenta al momento de dimensionar el sistema de bombeo, algunos de estos elementos son la fricción, altura de descarga, abatimiento, nivel estático, carga dinámica, carga estática.

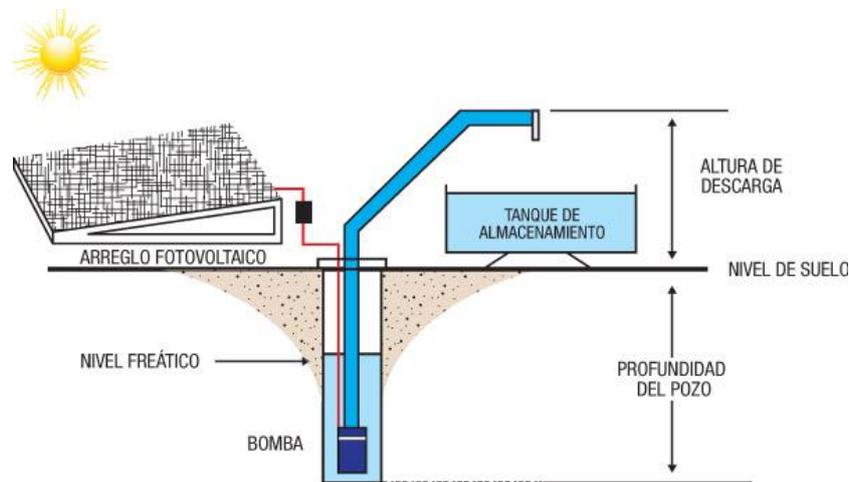


Figura 17. Bombeo de agua
Tomado de (Sitiosolar, 2014)

- h_{des} : Altura de descarga, es la distancia entre el nivel del suelo y el tanque de almacenamiento de agua. [m]
- ab : Abatimiento, es la reducción del nivel de agua dentro del pozo esto debido a la constante extracción.[m]
- n_e : Nivel estático, es la distancia entre el nivel del suelo hasta el agua de pozo antes del abatimiento.[m]
- Carga estática: es la suma del nivel estático y la altura de descarga (CE). [m]
- F : Fricción, es la resistencia que se genera en las tuberías por donde pasa el agua.
- Carga dinámica: es la suma entre el abatimiento y la fricción.
- Carga dinámica total: es la suma entre la carga estática y la carga dinámica (CDT).
 - Ciclo hidráulico: es el producto entre el CDT y el volumen de agua que se necesita. [m^4/dia]

- RTT: Recorrido total de tubería. [m]
- CF: Carga por fricción. [m]
- rad: Recorrido adicional de la tubería [m].

Según estas definiciones se puede determinar lo siguiente:

Fórmula de cálculo Carga Dinámica Total (CDT)

$$CDT = CE + CD$$

$$CE = ne + hdes$$

$$CD = ab + F$$

(Ecuación 11.)

$$RTT = CE + ab + rad$$

$$CF = RTT * F$$

Entonces

$$CDT = ne + hdes + ab + F$$

2.6.2. Tipos de bombas

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

- Bombas Volumétricas: son conocidas como volumétricas o bombas de desplazamiento positivo, su funcionamiento se basa en un cilindro o pistón el cual es el encargado de impulsar el fluido que se desee transportar de una manera periódica, este tipo de bomba se usa mucho en pozos de gran profundidad. Por lo general se considera a este tipo de bombas autocebantes o autoaspirantes, para poder calcular el caudal de aspiración de este tipo de bombas se tiene una fórmula es la siguiente: (Fernandez, 2012)

Fórmula de cálculo Caudal de aspiración (q1)

$$q_1 = \frac{Wn}{60} = \frac{Vzn}{60} \left[\frac{m^3}{seg} \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

- q_1 : Caudal aspirado por la bomba
- W : Trabajo realizado por la bomba
- V : volumen de cada cámara de bombeo en cada vuelta del eje de la bomba
- z : es el número de cámaras de trabajo de la bomba
- n : son las revoluciones por minuto (rpm) del eje de la bomba

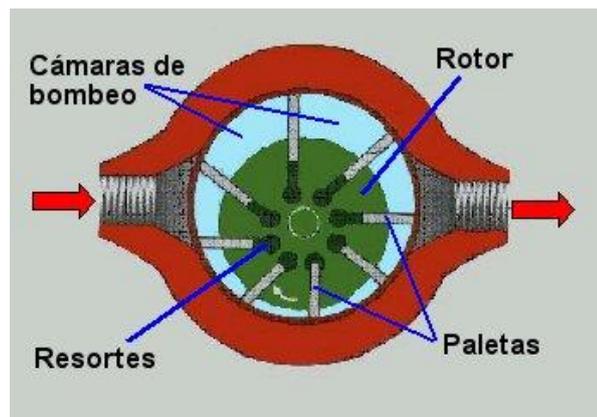


Figura 18. Bomba Volumétrica

Tomado de (Fernandez, 2012)

- Bombas centrífugas: También conocidas como bombas cinéticas, su funcionamiento se basa en generar diferencia de presión, son por lo general rotativas y son capaces de transformar la energía mecánica en presión de un fluido. Dentro de este grupo de bombas existen tres subdivisiones las cuales son: centrífugas, axiales o diagonales. Dentro del grupo de las bombas centrífugas encontramos las que son sumergibles y las que trabajan en la superficie, la elección de estas depende mucho de su aplicación o de donde se va a tomar el agua ya que las que trabajan en la superficie presentan problemas cuando se debe extraer agua a una profundidad de 8 metros. Es por esto que para la impulsión de agua desde un pozo la mejor elección son las bombas sumergibles o electro sumergibles.



Figura 19. Bomba Centrífuga

Tomado de (Institute y Laboratories, 2014)

2.6.2.1. Bombas centrífugas sumergibles

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

La mayoría de estas bombas aprovechan su capacidad de resistencia al agua para evitar un sobrecalentamiento, aunque hay fabricantes que para evitar cualquier tipo de calentamiento les colocan a las bombas un aceite refrigerante.

Estas bombas para que puedan ser sumergidas en agua sin que exista el riesgo de algún problema eléctrico se encuentran sus circuitos herméticamente sellados y pueden sumergirse hasta 60 metros dentro del agua sin sufrir daños ni por presión del agua ni por posibles filtraciones de agua entre sus circuitos.

Dentro de este tipo de bombas centrífugas sumergibles se dividen en dos tipos según su funcionamiento: Bombas de cilindro y Bombas de diafragma.

- Diafragma: Son conocidas como bombas sumergibles de diafragma o de doble membrana, este tipo de bombas tienen paredes elásticas las

cuales en combinación con válvulas check o de retención son capaces de introducir el agua a la cámara de bombeo para luego impulsarla de la misma manera, en la imagen se puede observar como para el funcionamiento de la bomba se procede al ingreso del agua por medio de la válvula de entrada hasta que se alcanza la máxima capacidad en la cámara de bombeo, posteriormente se procede al cierre de la válvula de entrada y a la apertura de la válvula de salida, una vez abierta las paredes elásticas aumentan la presión existente en la cámara y esto genera la impulsión del agua hacia el exterior. (GRUNDFOS, 2014)

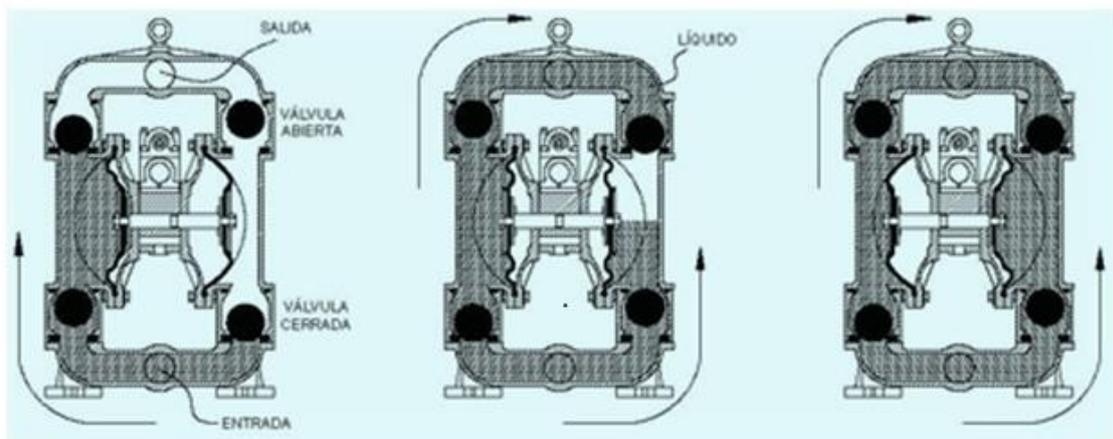


Figura 20. Bombas sumergibles de Diafragma

Tomado de (GRUNDFOS, 2014)

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

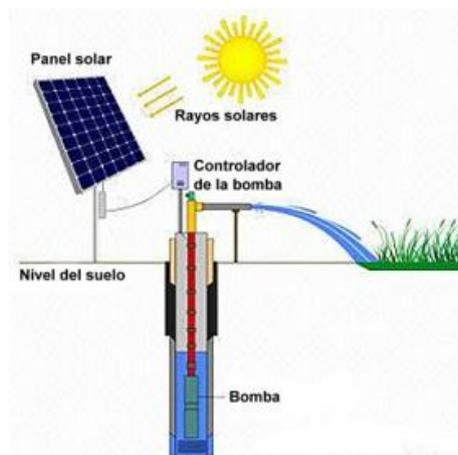
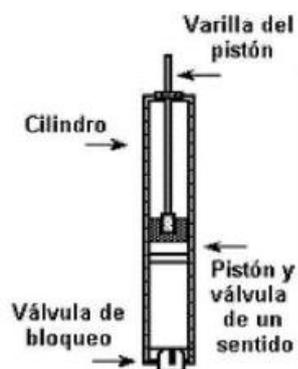


Figura 21. Bombas sumergibles de cilindro
Tomado de (GRUNDFOS, 2014)

2.6.2.2. Comparación de bombas

Tabla 8.

Comparación de Bomba Centrífuga Sumergible vs. Bomba Centrífuga por Succión.

	Bomba Centrífuga Sumergible	Bomba Centrífuga por succión
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Su desempeño no se ve afectado con presencia de arena en el agua. ➤ Capaces de manejar grandes cantidades de fluido. ➤ Fáciles de encontrar en el mercado. ➤ Permite escalabilidad en el sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fáciles de encontrar en el mercado. ➤ Su desempeño no se ve afectado con presencia de arena en el agua. ➤ Para el mantenimiento se lo hace en superficie y sin mover la bomba. ➤ Su velocidad de bombeo es regulable.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Si deja de estar en contacto con el fluido pueden dañarse. ➤ Para el mantenimiento deben ser sacadas del fluido. ➤ No son muy eficientes. ➤ Cuando el medio donde se las instala es corrosivo sufren desgaste. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No puede operar a grandes profundidades. ➤ Sufren daños por el clima en caso que se encuentren en la intemperie ➤ La bomba y el motor funcionan por separado

A pesar de que las bombas tienen un amplio rango de uso existen recomendaciones al momento de elegir las según la fuente de agua, en el siguiente cuadro se lo detalla. (OPS, 2014)

Tabla 9.

Bombas recomendadas según tipo de fuente

Tipos de Fuente	Tipos de bomba recomendado
Pozo Profundo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bomba centrífuga vertical ➤ Bomba centrífuga sumergible ➤ Bomba axial vertical sumergible
Pozo excavado para agua potable	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bomba centrífuga sumergible ➤ Bomba axial vertical sumergible ➤ Bomba centrífuga por succión (altura menor a 4 metros)
Cuerpo de agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bomba centrífuga vertical ➤ Bomba centrífuga sumergible ➤ Bomba axial vertical por succión ➤ Bomba axial horizontal por succión

Adaptado de (OPS, 2014)

3. DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Dimensionamiento de la bomba

El consumo de agua en Ecuador varía significativamente entre provincias, pero el rango más común de consumo de agua está entre los 38 m^3 al mes y los 21 m^3 , existiendo provincias que exceden estos rangos y provincias con un consumo menor al mismo. La provincia de Los Ríos presenta el mayor consumo de agua al mes con 55.420 litros al mes, adicionalmente la provincia de Esmeraldas tiene un consumo de 35.280 litros mensuales, la provincia de

Manabí presenta un consumo mensual de 24.980 litros, un poco por debajo se encuentra la provincia de Pichincha con 21.150 litros al mes. (INEC, 2015)

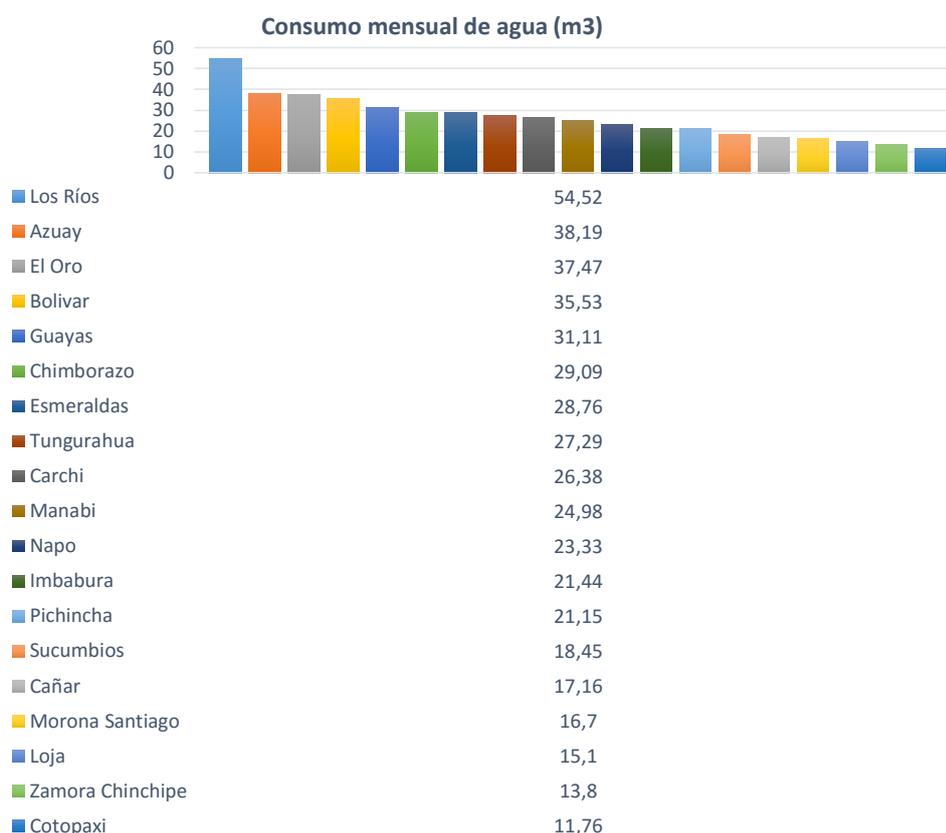


Figura 22. Consumo mensual de agua (m³)

Para el dimensionamiento de la bomba se ha considerado los datos de consumo de agua de un hogar ecuatoriano en las provincias de Manabí y Esmeraldas siendo de 24.98 m³ y 35.28 m³ al mes respectivamente, con el fin de que el sistema funcione en dichas provincias y sea capaz de abastecer de agua todo el tiempo que sea necesario. Adicionalmente se procedió a emplear este valor y se consideró el aumento de un valor de seguridad del 10% con el fin de que el sistema sea capaz de abastecer en caso de que exista un incremento en el consumo de agua, a continuación se muestran los cálculos empleados:

Para la Provincia de Esmeraldas:

$$A = 28.76 + (28.76 * 0.1)$$

$$A = 31.63 \text{ m}^3$$

Para la Provincia de Manabí:

$$A = 24.98 + (24.98 * 0.1)$$

$$A = 27.48 \text{ m}^3$$

Siendo A el consumo mensual en m^3 de agua en un hogar.

3.1.1. Régimen de bombeo y carga dinámica total

Para que el sistema funcione de manera correcta también es necesario considerar el cálculo de cuántos litros de agua pueden ser bombeados en las horas en las que el panel solar recibirá radiación solar, esto se conoce como el “régimen de bombeo” y se lo calcula con la siguiente formula: (José y Herrejón, 2015)

Fórmula de cálculo Régimen de Bombeo (Rb)

$$Rb = \frac{Vol}{Ins} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right] \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- Rb: Régimen de bombeo, es la división entre el volumen de agua bombeada y el tiempo de insolación. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \right]$
- Vol: Volumen de agua, es la cantidad de agua en litros que la bomba es capaz de bombear. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \right]$
- Ins: Insolación, es la cantidad de horas o segundos en el cual los paneles solares reciben la luz solar. $\left[\frac{\text{h}}{\text{dia}} \right]$

Para poder calcular el régimen de bombeo se procede a utilizar el dato de volumen de agua por provincia el cual está en m^3/mes (calculado anteriormente), con el fin de que este dato pueda ser empleado en la fórmula de régimen de bombeo, se lo transformo en $\text{m}^3/\text{día}$. Para lo cual se realizaron los siguientes cálculos:

Para la Provincia de Esmeraldas:

$$Vol = \frac{31.63}{30}$$

$$Vol = 1.05 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Para la Provincia de Manabí:

$$Vol = \frac{27.48}{30}$$

$$Vol = 0.92 \frac{m^3}{dia}$$

Una vez que se conoce el volumen de agua necesario al día, es necesario conocer el valor de insolación, este dato se lo obtiene a partir del valor de heliofanía que es facilitado por el INAMHI (Instituto de Meteorología e Hidrología), en las siguientes tablas se mostrará los valores de heliofanía de las provincias de Manabí y Esmeraldas para luego poder realizar el cálculo del valor de insolación de cada provincia.

Con respecto a la provincia de Manabí se toman los datos de las estaciones de Bahía de Caraquez y de Portoviejo. (INAMHI, 2015), los cuales dan un valor anual de heliofanía de 1267.3 y 1385.1 horas respectivamente. (Ver Anexo 1 y 2)

En cuanto a la provincia de Esmeraldas se toman los datos de la estación de Quininde que se puede apreciar en la tabla de heliofanía de Quininde (Anexo 3) con un valor anual de heliofanía de 1220 horas.

El valor de heliofanía está dado en horas mes, es decir existe un valor diferente para cada mes, para métodos de cálculos se realizara un promedio de todos estos muestreos con el fin de obtener el valor de insolación existente en cada provincia, de la siguiente manera:

Donde:

- $phel$: promedio de heliofanía
- hsp : horas pico
- $Nmeses$: número de meses

Para la Provincia de Esmeraldas:

$$phel = \frac{hsp}{Nmeses}$$

$$phel = \frac{1220}{12} = 101.67$$

$$101.67 \frac{hsp}{mes} = 3.39 \frac{hsp}{dia}$$

$$Ins = 3.39 \frac{hsp}{dia}$$

Para la Provincia de Manabí:

$$phel = \frac{hsp}{Nmeses}$$

$$phel = \frac{1267.3 + 1385.1}{12} = 221.03$$

$$221.03 \frac{hsp}{mes} = 7.37 \frac{hsp}{dia}$$

$$Ins = 7.37 \frac{hsp}{dia}$$

Una vez se han realizado los cálculos correspondientes a volumen de bombeo en $[m^3/dia]$ y el valor de insolación en $[h/día]$, es posible realizar el cálculo del régimen de bombeo de la siguiente manera:

Para la Provincia de Esmeraldas:

$$Rb = \frac{1.05 \frac{m^3}{dia}}{3.39 \frac{hsp}{dia}}$$

$$Rb = 0.309 \frac{m^3}{h} * \frac{1000 \text{ lts}}{1 m^3} * \frac{1h}{60 \text{ min}} = 5.15 \frac{\text{lts}}{\text{min}}$$

$$Rb = 85.83 * 10^{-6} \frac{m^3}{seg}$$

Para la Provincia de Manabí:

$$Rb = \frac{0.92 \frac{m^3}{dia}}{7.37 \frac{hsp}{dia}}$$

$$Rb = 0.125 \frac{m^3}{h} * \frac{1000 \text{ lts}}{1 m^3} * \frac{1h}{60 \text{ min}} = 2.08 \frac{\text{lts}}{\text{min}}$$

$$Rb = 34.66 * 10^{-6} \frac{m^3}{seg}$$

Al momento de realizar la elección de una bomba, se debe tomar en cuenta los datos que están expresados en litros por minuto, para la provincia de

Esmeraldas es necesaria una bomba que logre impulsar 5.15 litros por minuto con el fin de que funcione eficientemente brindando la cantidad de agua el tiempo que sea necesario cuando el valor de la insolación sea de 3.39 horas al día. Mientras que en la provincia de Manabí basta con una bomba de 2.08 litros por minuto teniendo una insolación de 7.37 horas al día.

Si se desea instalar la bomba en un poso o si se va a impulsar el agua hacia un estanque ubicado a cierta altura se debe realizar los siguientes cálculos, los mismos que están basados en datos de condiciones normales:

$$CE = ne + hdes$$

$$CE = 10m + 3m$$

$$CE = 13m$$

$$RTT = CE + ab + rad$$

$$RTT = 13m + 3m + 9m$$

$$RTT = 25m$$

$$CF = RTT * F$$

$$CF = 25m * 0.05$$

$$CF = 1.25m$$

$$CD = ab + CF$$

$$CD = 3m + 1.25m$$

$$CD = 4.25m$$

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 13m + 4.25m$$

$$CDT = 17.25m$$

Una vez que se tienen los datos de la carga dinámica total y el régimen de bombeo calculados anteriormente, es posible elegir una bomba adecuada que cumpla con los requisitos del lugar donde será instalada. (Sandia national laboratories, 2014)

3.2. Dimensionamiento de paneles

Para el dimensionamiento del panel o del arreglo solar es necesario calcular la potencia que será necesaria, es por eso que se debe realizar los cálculos de corriente eléctrica requerida, para lo cual se debe usar las siguientes formulas:

Para la Provincia de Esmeraldas:

$$Eh = \frac{Vol}{k * \frac{1}{CDT}}$$

$$Eh = \frac{1050 \frac{l}{dia}}{367 \frac{l * m}{W * h} * \frac{1}{17.25}}$$

$$Eh = 49.35 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

Debido a que en el sistema se hará uso de una bomba sumergible, se considera que estas tienen una eficiencia del 10% lo cual debe ser tomado en cuenta en los siguientes cálculos.

$$Es = \frac{Eh}{\eta}$$

$$Es = \frac{49.35 \frac{Wh}{dia}}{0.1}$$

$$Es = 493.5 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

Para el cálculo de la carga eléctrica se debe tomar en cuenta que el voltaje nominal es de 12 voltios, este valor es proporcionado por la bomba ya seleccionada. Es importante tener en cuenta que $W = v * A$.

$$Q = \frac{Es}{V}$$

$$Q = \frac{493.5 \frac{Wh}{dia}}{12 v}$$

$$Q = 41.12 \left[\frac{A h}{dia} \right]$$

Al momento de calcular la carga no se toma en cuenta las pérdidas existentes en el sistema, por lo cual se considera un valor del 80% del rendimiento del conductor. (OPS, 2013)

$$\bar{Q} = \frac{Q}{r}$$

$$\bar{Q} = \frac{41.12 \frac{A h}{\text{dia}}}{0.8}$$

$$\bar{Q} = 51.4 \left[\frac{A h}{\text{dia}} \right]$$

Una vez que se obtiene la carga eléctrica corregida se puede realizar el cálculo de la corriente del sistema y a su vez es posible obtener la corriente total del sistema ajustado, tomando en cuenta que el factor de reducción de los paneles cristalinos es del 95%.

$$I_{total} = \frac{\bar{Q}}{I_{ns}}$$

$$I_{total} = \frac{51.4 \frac{A h}{\text{dia}}}{3.39 \frac{h}{\text{dia}}}$$

$$I_{total} = 15.16 [A]$$

$$\overline{I_{total}} = \frac{I_{total}}{F_{Red}}$$

$$\overline{I_{total}} = \frac{15.16 A}{0.95}$$

$$\overline{I_{total}} = 15.96 [A]$$

Finalmente una vez se conoce que se necesitan: 12 voltios y 15.96 amperios, y los paneles solares SLP045-12U entregan 12 voltios y 2.92 amperios, se realiza el siguiente cálculo, tomando en cuenta que sí se desea aumentar la corriente es necesario conectar los paneles en paralelo: (SolarLand, 2014)

Donde:

- n_{pan} : número de paneles

$$n_{pan} = \frac{\overline{I_{total}}}{2.92}$$

$$n_{pan} = \frac{15.96}{2.92}$$

$$n_{pan} = 5.46 \approx 6$$

De esta manera el número de paneles que deben ser conectados en paralelo es de 6, para lograr obtener la cantidad de corriente que el sistema necesita.

También es muy importante realizar el cálculo de la potencia que tendrá este arreglo de paneles.

$$P = n * I * v$$

$$P = 6 * 2.92 * 12$$

$$P = 210.24 [w]$$

Para la Provincia de Manabí:

$$Eh = \frac{Vol}{k * \frac{1}{CDT}}$$

$$Eh = \frac{920 \frac{l}{dia}}{367 \frac{l * m}{W * h} * \frac{1}{17.25}}$$

$$Eh = 43.24 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

Debido a que se hará uso de una bomba sumergible para el sistema, es importante considerar que estas tienen una eficiencia del 10% lo cual debe ser tomado en cuenta en los siguientes cálculos.

$$Es = \frac{Eh}{\eta}$$

$$Es = \frac{43.24 \frac{Wh}{dia}}{0.1}$$

$$Es = 432.43 \left[\frac{Wh}{dia} \right]$$

Para el cálculo de la carga eléctrica se debe tomar en cuenta que el voltaje nominal es de 12 voltios, este valor es dado por la bomba ya seleccionada. Es importante tener en cuenta que $W = v * A$.

$$Q = \frac{Es}{V}$$

$$Q = \frac{432.43 \frac{Wh}{dia}}{12 v}$$

$$Q = 36.04 \left[\frac{A h}{dia} \right]$$

Al momento de calcular la carga no se toma en cuenta las perdidas existentes en el sistema por lo cual se considera un valor del 80% del rendimiento del conductor. (OPS, 2013)

$$\bar{Q} = \frac{Q}{r}$$

$$\bar{Q} = \frac{36.04 \frac{A h}{dia}}{0.8}$$

$$\bar{Q} = 45.04 \left[\frac{A h}{dia} \right]$$

Una vez se ha obtenido el valor de la carga eléctrica corregida, es posible realizar el cálculo de la corriente del sistema y a su vez se puede obtener la corriente total del sistema ajustado, tomando en cuenta que el factor de reducción de los paneles cristalinos es del 95%.

$$I_{total} = \frac{\bar{Q}}{I_{ns}}$$

$$I_{total} = \frac{45.04 \frac{A h}{dia}}{7.37 \frac{h}{dia}}$$

$$I_{total} = 6.11 [A]$$

$$\overline{I}_{total} = \frac{I_{total}}{F_{Red}}$$

$$\overline{I}_{total} = \frac{6.11 A}{0.95}$$

$$\overline{I}_{total} = 6.43 [A]$$

Una vez cuando se conoce que se necesitan: 12 voltios y 6.43 amperios, y los paneles solares SLP045-12U entregan 12 voltios y 2.92 amperios, se realiza el siguiente cálculo, sabiendo que para aumentar la corriente es necesario conectar los paneles en paralelo: (SolarLand, 2014)

$$n_{pan} = \frac{\overline{I}_{total}}{2.92}$$

$$n_{pan} = \frac{6.43}{2.92}$$

$$n_{pan} = 2.21 \approx 3$$

Es decir el número de paneles que deben ser conectados en paralelo es de 3, con el fin de obtener la cantidad de corriente que el sistema necesita.

Adicionalmente es muy importante realizar el cálculo de la potencia que tendrá este arreglo de paneles. Para lo cual, se realiza el siguiente cálculo:

$$P = n * I * v$$

$$P = 3 * 2.92 * 12$$

$$P = 105.12 [w]$$

3.3. Diseño del sistema de potencia

La bomba de agua seleccionada es de tipo centrifuga sumergible, marca SunPumps, ya que como se detalló en secciones anteriores este tipo de bombas no requiere de varios mantenimientos en comparación con una bomba de diafragma, la cual puede ser considerada como otra opción de bombas a ser escogidas.

La bomba centrifuga sumergible tiene una capacidad de bombeo de 10 litros por minuto y es capaz de trabajar hasta una profundidad de 20 metros, lo cual es más que suficiente para que su rendimiento sea el adecuado en las condiciones anteriormente expuestas tanto en Manabí como en Esmeraldas. La bomba tiene una potencia de 200w, un voltaje de entrada de 8.5 Vdc – 16 Vdc y una eficiencia de 0.15, en cuanto a su tamaño es relativamente pequeña con un diámetro de 7.5 cm y una longitud de 51cm.

Lo que respecta a los paneles solares como se indicó para Manabí es un arreglo de 3 paneles conectados en paralelo, lo cual tiene una tensión nominal de 12 v y una corriente de 8.76 A. Mientras que para Esmeraldas es necesario un arreglo de 6 paneles conectados en paralelo, los cuales también entregan tensión de 12 v y una corriente de 17.52 A.

El dispositivo, cuya función es la de regular la carga enviada desde los paneles hacia el resto del sistema es un dispositivo inteligente llamado ECO-N-20-T, la empresa encargada de la realización de estos dispositivos se llama PHOCOS. Este equipo se encarga de regular la carga que llega hacia la bomba y también es capaz de almacenar la energía en las baterías cuando la bomba no está siendo usada, incluso es apta para pasar la energía desde las baterías hacia la bomba en caso de que los paneles no estén proporcionando la energía suficiente para el funcionamiento del sistema.

Este regulador es perfecto para ser instalado tanto en Manabí como en Esmeraldas ya que trabaja con 12 y 24v y una corriente máxima de 20A lo cual es más que suficiente para el funcionamiento correcto del sistema. El equipo incluye protección electrónica en caso de que exista picos de voltaje y protección contra polaridad invertida ya sea que esta venga del panel o de la batería, también se encuentra protegida contra algún corto circuito o sobre carga ya que es capaz de disipar la energía. En cuanto a su instalación no hay mayor dificultad en ello y trabaja sin dificultad alguna o interrupción en diferentes condiciones ambientales ya que contiene un sistema de compensación de temperatura, adicionalmente tiene una certificación IP68 lo cual significa que es resistente al polvo y al agua. Es realmente un equipo pequeño y tan solo pesa 160g. La única desventaja de este regulador de carga es que solo opera con paneles de voltaje de 12 o 24v, por lo cual con paneles de alto voltaje no funcionará correctamente o incluso puede sufrir daños. (Phocos, 2016)

Más detalles del controlador de carga se puede observar en el Anexo 4.

En cuanto al sistema de almacenamiento de carga, es posible utilizar una batería de 12v la cual será capaz de almacenar energía en caso de que se necesite encender la bomba durante las horas de la noche o cuando no exista la suficiente radiación solar.

3.4. Escenario probable cálculo del CDT

El escenario más probable se da en: hogar de un piso, con el estanque ubicado en el techo de la vivienda, con un nivel estático promedio de la costa y en un lugar con lluvias constantes, con los siguientes datos:

- Altura de descarga = 3 m
- Nivel estático = 10m
- Abatimiento = 3m
- Recorrido adicional de tubería = 9m

$$CE = ne + hdes$$

$$CE = 10m + 3m$$

$$CE = 13m$$

$$RTT = CE + ab + rad$$

$$RTT = 13m + 3m + 9m$$

$$RTT = 25m$$

$$CF = RTT * F$$

$$CF = 25m * 0.05$$

$$CF = 1.25m$$

$$CD = ab + CF$$

$$CD = 3m + 1.25m$$

$$CD = 4.25m$$

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 13m + 4.25m$$

$$CDT = 17.25m$$

3.5. Mejor escenario cálculo del CDT

El mejor escenario se da en: hogar donde el estanque se encuentra al nivel del suelo, nivel estático poco profundo y con poco abatimiento, con los siguientes datos:

- Altura de descarga = 1 m
- Nivel estático = 10m
- Abatimiento = 2m

- Recorrido adicional de tubería = 5m

$$CE = ne + hdes$$

$$CE = 10m + 1m$$

$$CE = 11m$$

$$RTT = CE + ab + rad$$

$$RTT = 11m + 2m + 5m$$

$$RTT = 18m$$

$$CF = RTT * F$$

$$CF = 18m * 0.05$$

$$CF = 0.9m$$

$$CD = ab + CF$$

$$CD = 2m + 0.9m$$

$$CD = 2.9m$$

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 11m + 2.9m$$

$$CDT = 13.9 m$$

3.6. Peor escenario cálculo del CDT

El mejor escenario se da en: hogar de dos pisos con el estanque en el techo de la vivienda, poca lluvia y agua a profundidad, con los siguientes datos:

- Altura de descarga = 7 m
- Nivel estático = 15m
- Abatimiento = 5m
- Recorrido adicional de tubería = 18m

$$CE = ne + hdes$$

$$CE = 15m + 7m$$

$$CE = 22m$$

$$RTT = CE + ab + rad$$

$$RTT = 22m + 5m + 18m$$

$$RTT = 45m$$

$$CF = RTT * F$$

$$CF = 45m * 0.05$$

$$CF = 2.25m$$

$$CD = ab + CF$$

$$CD = 5m + 2.25m$$

$$CD = 7.25m$$

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 22m + 7.25m$$

$$CDT = 29.25 m$$

3.7. Diseño

El siguiente cuadro muestra un resumen de los elementos necesarios para poder armar el sistema propuesto en la provincia de Esmeraldas

Tabla 10.

Lista de elementos del sistema para Esmeraldas

Cálculos	Cantidad	Dispositivo	Características
Régimen de bombeo: resultado de 5,15 litros por minuto	1	Bomba Sumergible	Marca SolarPumps, modelo SCS-8-90, capacidad de bombeo hasta de 6 litros por minuto

El cálculo del número de paneles necesarios para alimentar al sistema fue de 5,46 es decir 6 paneles	6	Panel Solar	Módulo policristalino marca SolarLand, modelo SLP045-12U, entrega 12 voltios y 2,92 amperios
Es necesario un controlador y regulador de carga con el fin de que la energía no sea desperdiciada y evitar que los equipos sufran daños	1	Controlador de carga	Controlador y regulador de carga marca Phocos, modelo N-20-T, soporta hasta 20 amperios y trabaja con 12 o 24 voltios
Las horas de insolación al día es de 3,39 por lo cual es necesario tener un respaldo energético	1	Batería	Batería sellada de libre mantenimiento, marca Trojan, modelo SCS225, de ciclo profundo y descarga de 8 horas en uso
Para la conexión entre los diferentes elementos del sistema es necesario usar cable	1	Cables Sumergibles	Cable sumergible de 3 hilos, 10 metros

El siguiente cuadro muestra un resumen de los elementos necesarios para poder armar el sistema propuesto en la provincia de Manabí.

Tabla 11.

Lista de elementos del sistema para Manabí

Cálculos	Cantidad	Dispositivo	Características
Régimen de bombeo: el resultado es de 2,08 litros por minuto	1	Bomba Sumergible	Marca SolarPumps, modelo SCS-8-90, capacidad de

			bombeo hasta de 3 litros por minuto
El cálculo del número de paneles necesarios para alimentar al sistema fue de 2,21 es decir 3 paneles	3	Panel Solar	Módulo policristalino marca SolarLand, modelo SLP045-12U, entrega 12 voltios y 2,92 amperios
Es necesario un controlador y regulador de carga para que la energía no sea desperdiciada y evitar que los equipos sufran cualquier daño	1	Controlador de carga	Controlador y regulador de carga marca Phocos, modelo N-20-T, soporta hasta 20 amperios y trabaja con 12 o 24 voltios
Las horas de insolación al día es de 7,37 por lo cual es necesario tener un respaldo energético	1	Batería	Batería sellada de libre mantenimiento, marca Trojan, modelo SCS225, de ciclo profundo y descarga de 8 horas en uso
Para la conexión entre los diferentes elementos del sistema es necesario usar cable	1	Cables Sumergibles	Cable sumergible de 3 hilos, 10 metros

3.8. Diagrama de funcionamiento del sistema

En el siguiente gráfico se puede observar el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones o diferentes casos de análisis, con los que se puede encontrar el sistema una vez que esté instalado y en funcionamiento.

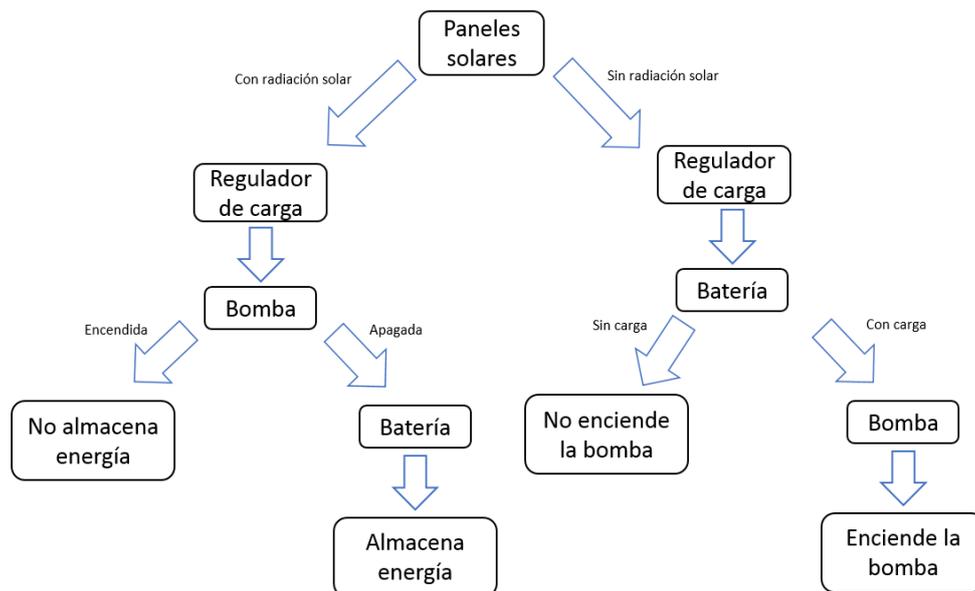


Figura 23. Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema

Como se puede ver el diagrama de bloques, indica los casos de análisis probables. Siendo básicamente los siguientes: cuando los paneles solares reciben radiación solar y cuando no reciben. En el primer proceso los paneles pasan la corriente que logren captar al regulador de carga, para que este posteriormente según las necesidades del sistema alimenten a la bomba haciendo posible su funcionamiento o en caso de que la bomba esté apagada se almacena la energía en la batería.

En el segundo caso, debido a que los paneles solares no están recibiendo radiación solar, el sistema se basa en el regulador de carga, el cual es el encargado de comprobar si la bomba está encendida y proceder a aprovechar la carga existente de la misma, caso contrario la bomba no se encenderá y el sistema no podrá entrar en funcionamiento.

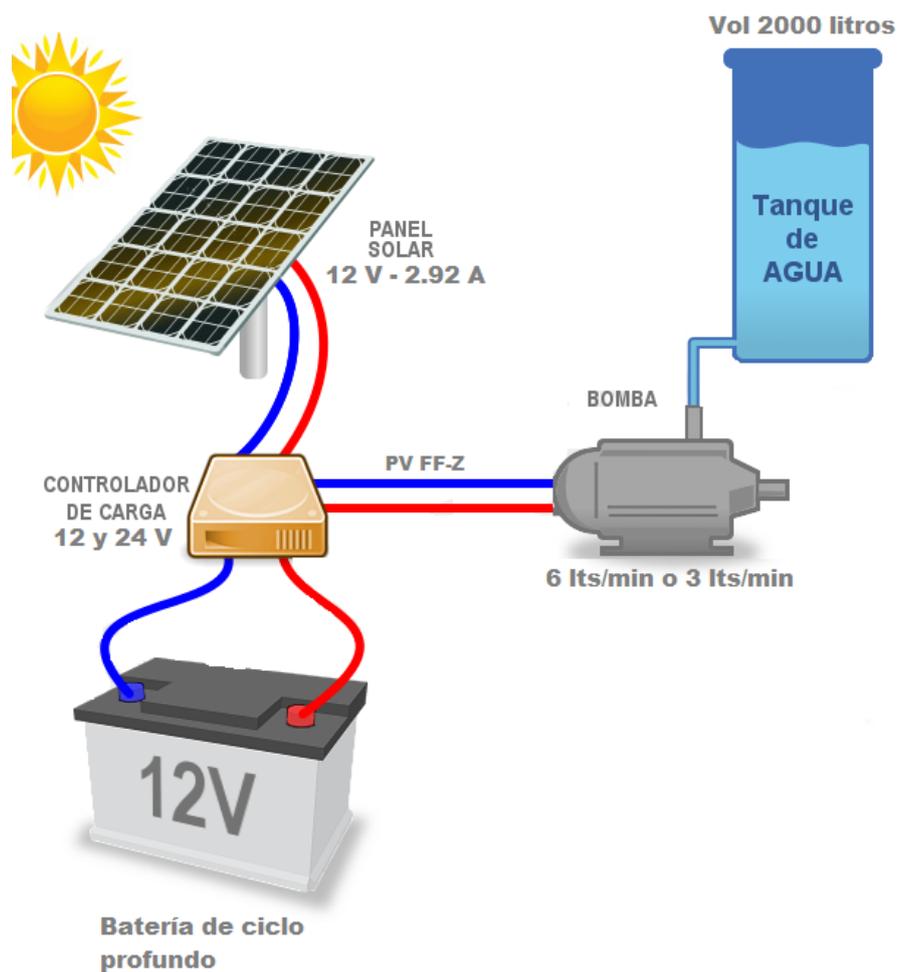


Figura 24. Diseño del sistema

4. ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

Debido a que el presupuesto referencial es diferente para las provincias de Esmeraldas y Manabí, ya que en estos lugares se necesitarán diferentes números de paneles, se ha procedido a realizar cálculos independientes para cada uno, considerando sus requisitos independientemente.

- Para Manabí

Tabla 12.

Presupuesto referencial del sistema para Manabí

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	Controlador de Carga Phocos ECO-N-20-T 20A, 12/24V	\$79.00	\$79.00
3	Módulo Policristalino SolarLand 12V	\$118.00	\$354.00
1	Batería Trojan Sellada de libre mantenimiento (ciclo profundo) SCS225	\$210.10	\$210.10
1	Bomba Sumergible SolarPumps SCS-8-70	\$765.00	\$765.00
1	Cable sumergible 3 hilos (10 metros)	\$3.25	\$3.25
1	Accesorios de instalación eléctrica para baterías y paneles solares	\$100.00	\$100.00
Total			\$1511.35

El total de todos los equipos y extras para la instalación del sistema es de \$1511.35, con esto estaría listo para la instalación y el funcionamiento perfecto del sistema.

- Para Esmeraldas

Tabla 13.

Presupuesto referencial del sistema para Esmeraldas

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	Controlador de Carga Phocos ECO-N-20-T 20A, 12/24V	\$79.00	\$79.00
6	Módulo Policristalino SolarLand 12V	\$118.00	\$708.00
1	Batería Trojan Sellada de libre mantenimiento (ciclo profundo) SCS225	\$210.10	\$210.10
1	Bomba Sumergible SolarPumps SCS-8-90	\$965.00	\$965.00
1	Cable sumergible 3 hilos (10 metros)	\$3.25	\$3.25
1	Accesorios de instalación eléctrica para baterías y paneles solares	\$100.00	\$100.00
Total			\$2065.35

El valor total de todos los equipos y extras, necesarios para la instalación del sistema es de \$2065.35, con esta inversión se asegura de la disponibilidad de todos los materiales necesarios y de esta manera el sistema puede empezar su utilización. (Enalmex, 2017) (Enalmex, 2017) (WeboSolar, 2017)

Se debe tener en cuenta que para la población de Esmeraldas se han estimado necesarios 1050 litros de agua al día y para Manabí 950 litros, cantidad que se logra obtener bombeando durante 7 horas 37 minutos y 3 horas 39 minutos

respectivamente, esto sin tener ningún tipo de respaldo eléctrico, es decir, en caso de que exista un corte de energía no se puede bombear agua.

Algunos de los principales beneficios del sistema son por ejemplo, la reducción del costo de la planilla de luz; en el caso de Esmeraldas, donde se realiza un bombeo de agua promedio de 7 horas 37 minutos al día, y el costo es de 9.01 centavos de dólar el KWh. Al utilizar el sistema propuesto se puede observar un ahorro diario de 69 centavos, que a su vez representa \$21,39 centavos al mes. Por lo tanto en una planilla eléctrica promedio de 50 dólares al mes representa una reducción del 42.78%. A continuación se presentan los cálculos correspondientes a la provincia de Esmeraldas.

$$7 \text{ horas} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 420 \text{ min}$$

$$420 \text{ min} + 35 \text{ min} = 457 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 7.61 \text{ horas}$$

$$7.61 \text{ horas} * \frac{9.01 \text{ centavos}}{1 \text{ KWh}} = 68.5661 \approx 69 \text{ centavos}$$

$$69 \text{ centavos} * 31 \text{ dias} = 2139 \text{ centavos} = 21.39 \text{ dolares}$$

Mientras que para Manabí es necesario bombear 3 horas 39 minutos con el mismo costo de 9.01 centavos el KWh, por lo cual el sistema propuesto se convierte en un ahorro diario de 33 centavos y a su vez un ahorro de \$10,23 al mes, y de igual manera en una planilla de 50 dólares ya representa una reducción del 20.46%. A continuación se presentan los cálculos empleados para la provincia de Manabí.

$$3 \text{ horas} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 180 \text{ min}$$

$$180 \text{ min} + 39 \text{ min} = 219 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 3.65 \text{ horas}$$

$$3.65 \text{ horas} * \frac{9.01 \text{ centavos}}{1 \text{ KWh}} = 32.8865 \approx 33 \text{ centavos}$$

$$33 \text{ centavos} * 31 \text{ dias} = 1023 \text{ centavos} = 10.23 \text{ dolares}$$

Otro beneficio se presenta en el caso de que exista un corte eléctrico en el hogar, por lo cual al existir el sistema propuesto el servicio de bombeo de agua no se verá afectado durante este periodo, debido a que el mismo está diseñado para bombear durante 8 horas tan solo con la batería es decir es capaz de cubrir el 100% de las necesidades de agua de un hogar.

Adicionalmente el sistema al funcionar bajo la radiación solar, es considerado como energía limpia por lo cual no genera contaminación ambiental, comparada con otros sistemas de bombeo que funcionan a base de combustibles fósiles y generan la emisión de gases. Por lo tanto se genera también un ahorro económico al eliminar el gasto en Diésel (combustible fósil) ya que el galón tiene un costo de \$1.03.

Para el caso de Esmeraldas, una bomba que logre impulsar 6 litros por minuto (al igual que la eléctrica sumergible) consume medio galón de diésel por hora de trabajo, es decir, al trabajar 7 horas 37 minutos se produce un gasto diario de diésel de 3.92 dólares, lo cual al mes representa \$121.52 dólares.

$$7.61 \text{ horas} * \frac{1.03 \text{ dolares}}{1 \text{ galón}} * \frac{0.5 \text{ galon}}{1 \text{ hora}} = 3.91915 \approx 3.92$$

$$3.92 \text{ dolares} * 31 \text{ dias} = 121.52 \text{ dolares}$$

Por lo tanto, en comparación como se mostró anteriormente en el presupuesto referencial, el sistema tiene un costo de \$2065.35 y al compararlo con el costo necesario para la compra de diésel el sistema estaría pagado en 1 año 5 meses como se muestra en el siguiente cálculo.

$$\frac{2065.35}{121.52} = 16.9959 \approx 17 \text{ meses}$$

$$17 \text{ meses} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 1 \text{ año } 5 \text{ meses}$$

En Manabí mediante la aplicación del sistema propuesto, se puede generar un ahorro económico en las familias, esto debido a que en dicha provincia es necesario un bomba capaz de impulsar 3 litros por minuto de agua y pueda trabajar 3 horas y 39 minutos, por lo tanto se generará el mismo consumo de diésel anteriormente mencionado, el cual corresponde a medio galón por hora de trabajo, el mismo que representa 1.88 dólares y al mes sería un gasto de \$58.28. (Lorentz, 2016)

$$3.65 \text{ horas} * \frac{1.03 \text{ dolares}}{1 \text{ galón}} * \frac{0.5 \text{ galon}}{1 \text{ hora}} = 1.87975 \approx 1.88$$

$$1.88 \text{ dolares} * 31 \text{ dias} = 58.28 \text{ dolares}$$

El presupuesto referencial indica que el sistema tiene un costo de \$1511.35 y en comparación con el costo del diésel el sistema estaría pagado en 2 años 2 meses como se muestra en el siguiente cálculo.

$$\frac{1511.35}{58.28} = 25.9325 \approx 26 \text{ meses}$$

$$26 \text{ meses} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} = 2 \text{ años } 2 \text{ meses}$$

Finalmente considerando que una bomba convencional necesita mantenimientos y revisiones por lo menos anualmente y las mismas tienen un costo de entre 40 y 60 dólares. Para este sistema se han considera necesarios los mantenimiento cada 3 años mínimo, lo cual a su vez genera más ahorro al usuario que opte por instalarlo. Es por esto que es recomendado tanto para uso de hogar como para riego en el campo o transporte de agua hacia el ganado de una manera fácil y económica.

5. PROTOTIPO DE PRUEBA Y RESULTADOS

Para la comprobación del diseño indicado anteriormente, se procedió a la elaboración de un pequeño prototipo a escala del sistema original, a continuación se detallará cada elemento con especificaciones.

- Panel Solar de 24 voltios, con certificación de resistencia al polvo y al agua, tiene un peso de 12 onzas, sus dimensiones son 19.05 x 16.51 x 3.81 cm, marca Batteries.



Figura 25. Panel solar 24 voltios

- Bomba de agua que trabaja con 12 voltios, con un régimen de bombeo de $2 \frac{lbs}{min}$, siendo capaz de succionar agua a una profundidad de 1.5 metros y a la vez capaz de depositarla a una altura de hasta 2 metros.



Figura 26. Bomba de agua de 12 voltios

- Regulador de voltaje trabaja con 12 y 24 voltios, 20 amperios, diseñada para trabajar con sistemas de paneles solares, es a su vez un controlador de carga inteligente ya que es capaz de almacenar la energía en la batería en caso de que la bomba se encuentre apagada o tomar energía de las mismas en caso de que el panel solar no se encuentre proporcionando energía para el funcionamiento de la bomba, también puede disipar la energía en caso de que el sistema se encuentre cargado y sin usar la bomba, marca Anself.

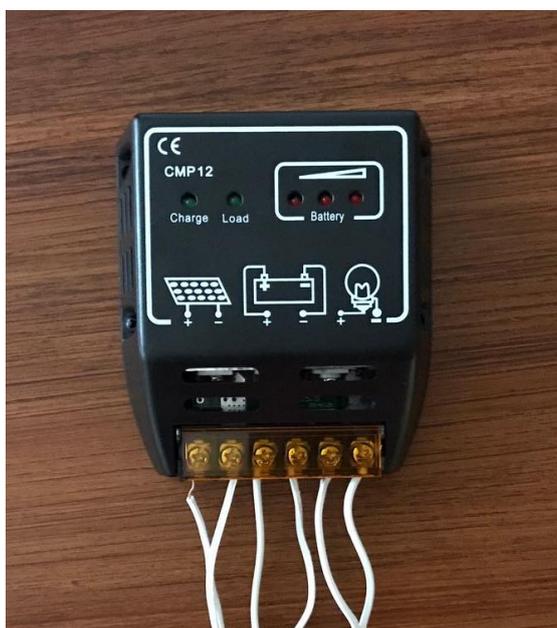


Figura 27. Regulador de voltaje

- Batería de 12 voltios capaz de funcionar durante 8 horas continuas sin que su carga se reduzca ni a la mitad, producida a base de plomo con una pureza de 0.99996.



Figura 28. Batería

Una vez que se obtuvo todos los elementos se procedió a armar el sistema, primero se usó cable doble de categoría 22 y se lo conectó en los polos positivo y negativo de cada elemento que muestra el regulador de carga, posteriormente se conectó dos mangueras a la bomba la una que servirá para la succión del agua y la otra para la impulsión de la misma. Luego se conectó la batería y el panel al regulador de carga.

Para poder saber si la batería se está cargando se tiene un led indicador y también otro led para indicarnos cuando el sistema está funcionando con energía de la batería, en la parte de al lado se encuentran 3 leds los cuales nos indican cual es el nivel de carga de la batería.

En la siguiente tabla se detallan algunas pruebas hechas con el prototipo, con su respectiva evidencia y resultado.

Tabla 14.

Pruebas con prototipo

Actividad	Resultado	Evidencia
Bombeo de agua	Se bombea 10 litros de agua en 5 minutos, es decir tiene un régimen de bombeo de 2 litros por minuto	
Carga de la batería con el panel solar	En 12 horas de radiación solar fuerte la carga de la batería subió en un punto, lo cual se visualiza en los LED de color rojo.	
Trabajo de la bomba solo con la batería	La batería alimenta a la bomba durante 8 horas y se reduce en un punto su carga	
Recepción de radiación solar con la bomba apagada y la batería cargada al máximo	Al tener la batería su carga al máximo y sin ningún consumo energético, el panel empieza a recibir radiación solar y el regulador de carga procede a dispersar la energía para que ningún elemento sufra daños	

<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar paralelo al suelo y entrega 18.51 V</p>	
<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar en un ángulo aproximado de 45° en sentido anti horario y entrega 16.03 V</p>	
<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar en un ángulo aproximado de 35° en sentido anti horario y entrega 17.12 V</p>	
<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar en un ángulo aproximado de 25° en sentido anti horario y entrega 17.64 V</p>	
<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar en un ángulo aproximado de 15° en sentido anti horario y entrega 17.81V</p>	

<p>Ángulo de instalación del panel solar</p>	<p>Se coloca el panel solar en un ángulo aproximado de 25° en sentido horario y entrega 18.29 V</p>	 A digital multimeter with a yellow and black casing is shown on a brown surface. The LCD screen displays the number '18.29'. To the left of the multimeter, a portion of a blue solar panel is visible, tilted at an angle.
<p>Medir el voltaje entregado a la bomba de agua</p>	<p>Se realiza la medición del voltaje entregado a la bomba y es de 12.39 V</p>	 A digital multimeter with a yellow and black casing is shown on a brown surface. The LCD screen displays the number '12.39'. The multimeter is connected to several white wires at the bottom.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se puede concluir que la energía solar es de más fácil acceso y aprovechamiento en las provincias de Esmeraldas y Manabí a comparación del resto de energías limpias anteriormente descritas.

El régimen de bombeo es diferente para Esmeraldas y Manabí, es por esto que se debe hacer cálculos por separado para cada lugar para lograr satisfacer las necesidades.

El dimensionamiento de la bomba se logró tomando en cuenta varios parámetros, tales como el régimen de bombeo necesario, las horas de insolación y dependiendo del lugar donde será instalada se determinó que la mejor opción es la una bomba sumergible.

Se puede hacer uso de la misma bomba para las dos provincias ya que los cálculos de régimen de bombeo no difieren considerablemente entre sí, y la misma bomba es capaz de abastecer a los dos lugares, pero lo mejor es hacer uso de una bomba con diferentes regímenes de bombeo según el lugar.

Los paneles solares fueron dimensionados tomando en cuenta parámetros tales como las horas de insolación, consumo de la batería y del resto de componentes del sistema.

El número de paneles a ser instalados o usados en cada provincia difiere debido a que las horas de heliofanía varían entre los lugares de estudio.

En la provincia de Esmeraldas es necesario colocar más paneles solares, debido a que en la misma se recibe alrededor de 4 horas menos de radiación solar, comparado a Manabí, lo cual genera menos energía.

El regulador de carga es muy importante en el sistema ya que es el encargado de pasar la corriente desde los paneles a la batería o a la bomba dependiendo de la necesidad, también es capaz de disipar la energía en caso de que la bomba no esté siendo usada y la batería se encuentre con carga llena.

El regulador de carga al tener indicadores de carga tanto para los paneles como para la batería, es de gran utilidad ya que indica si los paneles están funcionando correctamente o si la batería se encuentra cargada y en qué nivel. Es muy importante que la batería cumpla con las especificaciones descritas anteriormente como por ejemplo, que esta sea de ciclo profundo, ya que este tipo de batería son las óptimas para sistemas de energía solar porque no se descargan en cortos periodos de tiempo y tampoco se ve afectado su tiempo de vida al momento en que se descarguen en su totalidad o al llegar a niveles mínimos.

Los paneles solares logran recibir mayor radiación solar cuando se encuentran en paralelo a la superficie o es decir sin un ángulo de inclinación.

El panel debe ser colocado de manera perpendicular con respecto al sol ya que en Ecuador los rayos solares llegan en dicha manera y así será aprovechado de mejor manera.

Es muy importante que a la bomba le llegue el voltaje y el amperaje necesario para su funcionamiento ya que si recibe menos podría verse afectado su rendimiento o en el otro caso si le llega más voltaje de lo que puede soportar puede sufrir daños el equipo.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda usar el sistema con un tanque de almacenamiento de agua, ya que en caso de existir algún corte de energía prolongado se tiene las baterías y el tanque de agua como respaldo.

Es muy importante tomar en cuenta que el sistema estará instalado en la intemperie, es por esto que se recomienda usar materiales resistentes al agua, polvo y sol ya que si los cables u otro material se ve afectado por estos factores, el sistema podría verse comprometido y fallar.

El regulador de carga posee tres leds indicadores del nivel de carga de la batería, los cuales indican carga total, carga media o batería descargada, por lo tanto para una mayor precisión sobre el nivel de carga de la batería sería importante colocar un sistema adicional que monitoree constantemente el nivel de carga de la batería.

Puede suceder que no haya cortes eléctricos en tiempos prolongados, lo que haría que la batería este cargada en su totalidad y no se produzca un consumo de energía por el sistema, por lo cual el regulador será el encargado de disipar la corriente. Por lo tanto se recomienda colocar un sistema el cual sea capaz de tomar la energía, con el fin de que las personas que instalen este sistema en su hogar puedan hacer uso de esta energía reduciendo costos en su planilla de luz y haciendo uso de energía limpia.

Se recomienda tomar en cuenta los diferentes cálculos de CDT para que el sistema funcione de manera correcta y sin problemas.

Se recomienda hacer un mantenimiento de paneles, en caso de que exista mucha tierra en el lugar donde fueron instalados ya que el polvo puede depositarse sobre los mismos y ocasionar que no se aproveche la radiación solar en su totalidad.

Si se desea hacer uso de un tanque de almacenamiento de agua, se recomienda colocar un dispositivo que apague la bomba de forma automática, es decir si el tanque ya se encuentra lleno lo apague y que encienda la bomba en caso de que el nivel de agua baje.

REFERENCIAS

- ABENGOA. (2014). La energía del cambio. Recuperado el 05 de mayo de 2017 de <http://www.laenergíadelcambio.com/diferencias-entre-energia-termosolar-y-fotovoltaica-2>
- Acciona. (2014). Sostenibilidad para todos. Recuperado el 08 de mayo de 2017 de <http://www.sostenibilidad.com/como-funciona-energia-termosolar>
- Andina, E. (2015). Cómo se genera energía geotérmica. Recuperado el 12 de mayo de 2017 de <http://www.energiandina.cl/2010/10/descripcion-de-la-geotermia-como-fuente-de-energia-3/>
- APPA. (2012). Que es la Biomasa? Recuperado el 13 de abril de 2017 de http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php
- Arango, J. M., Ascencio, M., Barrientos, R., Strachan, J., y Risser, V. (2014). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. Recuperado el 16 de marzo de 2017 de http://www.itacanet.org/esp/electricidad/Guia_Bombeo_Agua_Energia_Fotovoltaica_Vol2_Libro_de_trabajo.pdf
- ARCONEL. (2016). Balance Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado el 17 de marzo de 2017 de <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>
- Censolar. (2014). CenSOL5. Recuperado el 07 de marzo de 2017 de <http://www.censolar.es/censol50.htm>
- Energíaslimpiasquímica. (2011). Ventajas y desventajas. Recuperado el 22 de abril de 2017 de <http://energiaslimpiasquimica.blogspot.com/2011/09/ventajas-y-desventajas.html>
- Electronica2000. (2012). Regulador de tensión para panel solar. Recuperado el 20 de marzo de 2017

- <http://www.electronica2000.com/fuentes/regulador-solar.htm>
- Enalmex. (2017). SunPumps modelos. Recuperado el 22 de marzo de 2017 de <http://enalmex.com/productos/sunpumps-sds>
- ElectricidadGratuita. (2015). Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado el 11 de mayo de 2017 de <http://www.electricidad-gratuita.com/energia-fotovoltaica.html>
- Energetika. (2014). Curva I - V. Recuperado el 17 de abril de 2017 de [http://www.energetika.com.ar/Curva I-V.html](http://www.energetika.com.ar/Curva-I-V.html)
- Enalmex. (2017). Trojan precios. Recuperado el 30 de abril de <http://enalmex.com/productos/trojan>
- Enerpoint. (2015). La célula fotovoltaica. Recuperado el 20 de marzo de 2017 de http://www.enerpoint.es/photovoltaic-technology_2.php
- Erenovable. (2016). Energías Limpias. Recuperado el 10 de mayo de 2017 de <http://erenovable.com/energias-limpias/>
- Fernandez, P. (2012). Vi.- bombas volumétricas, 99–119. Recuperado el 25 de mayo de 2017 de http://manager.redsauce.net/AppController/commands_RSM/api/api_getFile.php?itemID=111&propertyID=20&RStoken=59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38
- Grundfos. (2014). *Grundfos industry manual de bombeo*. Recuperado el 17 de marzo de 2017 http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/_assets/downloads/bge/pumphandbook_bge.pdf
- IMF. (2014). Instalaciones fotovoltaicas autonomas. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de <http://www.imf-formacion.com/masters-profesionales/master-energias-renovables>
- INAMHI. (2015). Anuario meteorológico Nº 52-2015, 153. Recuperado el 24 de marzo de 2017 de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>

- INEC. (2015). *Información Ambiental en Hogares*. Recuperado el 12 de marzo de 2017 de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2015/DOCUMENTO_TECNICO_ENEMDU_MODULO_AMBIENTAL_2015.pdf
- INER. (2013). Biomasa. Recuperado el 14 de mayo de 2017 de <http://www.iner.gob.ec/biomasa/>
- José, I., y Herrejón, C. (2015). Estudio de sistemas de bombeo fotovoltaicos. Recuperado el 26 de mayo de 2017 de https://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/233MC_jch.pdf
- Koneze Industrial. (2015). CMP12 Solar Charge Controller. Recuperado el 08 de abril de 2017 de http://calculationsolar.com/pdfs/Calculationsolar_regulator_KONEZE_CMP12264.pdf
- Lorentz. (2016). Lorentz Solutions. Recuperado el 01 de marzo de 2017 de <https://www.lorenz.de/solutions>
- Nationalgeographic (2016). Energía hidroeléctrica. Recuperado el 27 de marzo de 2017 de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- OPS. (2013). Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Recuperado el 05 de abril de 2017 de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/161esp-diseno-estbombeo.pdf>
- OPS. (2014). Equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Recuperado el 23 de abril de 2017 de http://www.academia.edu/24088788/EQUIPOS_DE_BOMBEO_PARA_SISTEMAS_DE_ABASTECIMIENTO_DE_AGUA_Y_SANEAMIENTO_PARA_EL_MEDIO_RURAL

- Phocos. (2016). Solar Charge Controller, 1(520). Recuperado el 13 de mayo de 2017 de <http://www.phocos.com/na/wp-content/uploads/sites/6/2016/10/ECO-N-T-Datasheet.pdf>
- Renovetec. (2014). *Instalación de sistemas fotovoltaicos*. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de <http://www.renovetec.com/editorial-renovetec/centrales-termosolares>
- Renovetec. (2014). Comparativa de costes de diferentes tecnologías renovables. Recuperado el 08 de abril de 2017 de <http://www.energia.renovetec.com/energias-renovables/294-comparativa-de-costes-de-las-energias-renovables>
- Sandia national laboratories (2014). *Energy and climate* Recuperado el 14 de mayo de 2017 de <http://energy.sandia.gov/energy/renewable-energy/solar-energy/>
- Senplades. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. Recuperado el 21 de abril de 2017 de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>
- Sistacoat. (2013). Battery Task Force 1. Recuperado el 24 de abril de 2017 de <http://www.sistacoat.es/menu/B-01/b5.htm>
- Sitiosolar. (2014). El bombeo solar fotovoltaico. Recuperado el 15 marzo de 2017 de <http://www.sitiosolar.com/el-bombeo-solar-fotovoltaico/>
- SolarLand. (2014). SLP045-12U. Recuperado el 12 marzo de 2017 de <https://pdf.wholesalesolar.com/module%20pdf%20folder/SLP045-12U.pdf>
- SunFields. (2016). Cómo dimensionar y calcular paneles solares fotovoltaicos necesarios. Recuperado el 06 de abril de 2017 de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Trojan Battery Company. (2012). *Guía para el usuario*. Recuperado el 25

de marzo de 2017 de
http://www.trojanbattery.com/pdf/TRJN0147_UsersGuideSP_SPA.pdf

WeboSolar (2017). Controlador de Carga Phocos ECO-N-20-T 20A, 12/24V. Recuperado el 15 de abril de 2017 de <http://webosolar.com/store/es/controladores-pmw/1671-controlador-de-carga-encapsulado-phocos-eco-n-20-t-20a-12-24v.html>

ANEXOS

Anexo3. Tabla de heliofanía Quininde

M0156		QUININDE(CONV.MADRES LAURITAS)														INAMHI											
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación										
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día	Media			Mensual	Máxima en 24hrs día	Mensual		Máxima en 24hrs día									
ENERO	27.6																										
FEBRERO	87.7	33.4	29	19.0	22	30.8	22.1	25.5	100	12	79	23	93	24.2	30.4	417.3											29
MARZO	127.9					31.8	22.8	26.5					91	24.8	31.3	479.1											
ABRIL	148.5					32.3	23.0									526.1											
MAYO	138.8	33.2	3	21.6	10	31.7	22.7	26.7	98	2	70	22	89	24.6	31.0	252.1											
JUNIO	98.1	32.5	10	21.2	10	30.5	22.5	25.9					87	23.5	29.0	521.6											27
JULIO	63.1			20.4	27	29.0	21.6	25.2	98	8	64	30	86	22.5	27.3	192.0											25
AGOSTO	64.5	33.1	30	19.4	30	28.9	21.0	24.8					84	21.8	26.0	36.6											13
SEPTIEMBRE	96.1	33.6	3	18.6	21	30.1	21.0	25.2	99	6	62	28	87	22.8	27.9	8.9											5
OCTUBRE	62.4			19.6	24	29.3	21.5	25.0	98	6	52	5	83	21.7	26.0	46.0											5
NOVIEMBRE	37.4	33.4	11			29.1	21.8	24.9	98	2	62	11	84	22.0	26.4	72.6											15
DICIEMBRE	57.3	33.6	22	21.2	14	29.8	22.3	25.5					82	22.0	26.5	70.5											11
VALOR ANUAL	1220.0						22.0									23.4											10
																2646.2											

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO														Vel.Mayor Observada (m/s) DIR	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)						
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs día		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS	N	NE	E	SE			S	SW	W	NW	%	%
ENERO	52.5		7	2.3	7	4.0	1	2.0	5	0.0	0	2.0	1	2.0	1	2.7	3	2.7	3	78	87	4.0	W	1.3	
FEBRERO	99.0	6.6	16	7																					1.3
MARZO	98.4			7																					1.5
ABRIL																									
MAYO	69.7			7	2.0	10	2.0	2	2.0	3	0.0	0	2.0	1	2.0	2	2.0	5	2.0	3	73	93	2.0	NW	1.4
JUNIO				7																					1.3
JULIO				7	2.0	1	2.0	2	2.0	2	2.0	2	2.0	1	2.0	7	2.0	10	2.0	2	73	93	2.0	SW	1.4
AGOSTO	72.9			7	0.0	0	0.0	0	2.0	1	2.0	2	2.0	5	2.0	4	2.1	15	2.0	3	69	93	4.0	W	1.5
SEPTIEMBRE	98.5			7	2.0	2	0.0	0	2.0	2	2.0	4	2.5	4	2.0	8	2.4	20	2.8	6	53	90	6.0	NW	1.7
OCTUBRE	83.3			7	0.0	0	2.0	2	2.0	7	2.7	7	2.0	7	2.2	11	2.5	13	2.2	14	41	93	4.0	W	1.6
NOVIEMBRE	85.3	4.1	11	7	2.0	1	2.0	6	2.0	3	2.0	6	2.0	7	2.2	12	2.2	22	3.3	3	40	90	4.0	NW	1.5
DICIEMBRE	92.4	5.6	17	7																					1.4
VALOR ANUAL																									



ECO-N-T (10 - 20 A)

Solar Charge Controller



Tough. Simple. Flexible.

- Perfect for small PV systems
- Low voltage disconnect
- Charges 12 or 24 V batteries (Auto-Detection)
- Screw terminals
- IP68 (housing) IP21 (contacts)

Built Tough for Harsh Environments



Phocos' ECO-N-T is the answer to all of your tough solar projects. Its small size makes it perfect to fit well in tricky places. ECO-N-T is fully encapsulated with IP68 standard casing which means it can handle harsh environments.

The ECO-N-T charge controller is versatile and offers the flexibility of operating with 12 or 24 V systems. It will also protect your batteries from overcharging and over discharging.

Robust Design

- Fully potted PCB
- Rugged housing with corrosion-resistant screw terminals

High-Efficiency Charging

- Series switching design reduces thermal stress on PV panel
- 3-Stage charging ensures charging of all battery cells and prevents sulfation

Intuitive User Interface

- Easy-to-understand 3-LED system status interface
- Install only requires a flat-head screwdriver

Flexible

- Ideal for almost any off-grid PV application
- Same model can be used in 12 or 24 V systems (fewer components to stock)



UL1741/CSA C122.2 No. 107.1-01

Application Examples

- SCADA Systems
- RVs
- Solar Message Boards
- Chemical Injection Pumps
- Transportation



www.phocos.com

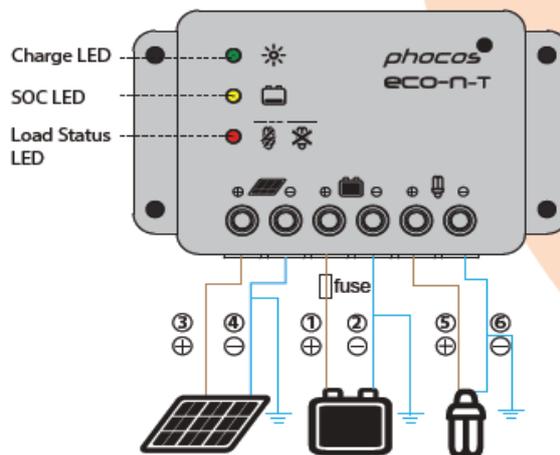
Phocos North America
325 S Euclid Ave, Suite 101
Tucson, AZ 85719
USA

Tel. +1 (520) 777-7906
Fax: +1 (520) 882-3191
www.phocos.com

Technical Data

Type	ECO-N-10-T	ECO-N-20-T
System voltage	12/24 V (Auto Detection)	
Max. charge/load current	10 A	20 A
Float charge	13.8/27.6 V (77°F/25 °C)	
Main charge	14.4/28.8 V (77°F/25 °C), 0.5 h (daily)	
Boost charge	14.4/28.8 V (77°F/25 °C), 2 h Activation: battery voltage < 12.3/24.6 V	
Deep discharge protection, Cut-off voltage	11.0/22.0 V	
Load reconnect level	12.8/25.6 V	
Overvoltage protection	15.5/31 V	
Undervoltage protection	10.5/21 V	
Max. PV panel voltage	30/50 V	
Temperature compensation	-4.2 mV/K per 2V cell	
Idle self consumption	4 mA	
Grounding	Negative Ground	
Ambient temperature	-40 to +140°F (-40 to +60 °C)	
Max. elevation	13,000 ft (4,000 m above sea level)	
Battery type	Lead acid (GEL, AGM, flooded)	
Max. wire cross section	8 AWG (10 mm ²)	
Dimensions (W x H x D)	3.94 x 2.4 x 0.79 in (100 x 61 x 20 mm)	
Weight	5.6 oz (160 g)	
Type of protection	IP68 (casing), IP21 (contacts)	

Installation Diagram



www.phocos.com

Phocos North America
325 S Euclid Ave. Suite 101
Tucson, AZ 85719
USA

Tel. +1 (520) 777-7906
Fax +1 (520) 882-3191
www.phocos.com

