

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

TESIS DE GRADO

TEMA:

“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”.

Tesis de grado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico En Sistemas Eléctricos de Potencia

AUTORES:

Molina Guanochanga Wilson Orlando
Ortiz Cañar Víctor Hugo

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Xavier Proaño

ASESOR METODOLÓGICO:

Ing. Idalia Pacheco

LATACUNGA – ECUADOR

DICIEMBRE – 2014





FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes:

- Molina Guanochanga Wilson Orlando.
- Ortiz Cañar Víctor Hugo.

Con la tesis, cuyo título es: **"ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014"**.

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Diciembre 2014

Para constancia firman:


Ing. Vicente Quispe
PRESIDENTE


Dr. Marcelo Bautista
MIEMBRO


Ing. Franklin Medina
OPOSITOR


Ing. Xavier Broaño
TUTOR (DIRECTOR)

AUTORÍA

Los postulantes, declaramos bajo juramento que el trabajo de investigación aquí descrito es de nuestra autoría, además que este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que se ha consultado en dichas bibliografías que se vinculan en este manuscrito.



.....

Wilson Orlando Molina Guanochanga

C.I. 172179212-3



.....

Víctor Hugo Ortiz Cañar

C.I. 180454579-4

AVAL DEL DIRECTOR

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”, de **Wilson Orlando Molina Guanochanga** y **Víctor Hugo Ortiz Cañar**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Diciembre del 2014



Ing. Xavier Proaño

C.I 0502656424

DIRECTOR DE TESIS

AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”, de **Wilson Orlando Molina Guanochanga** y **Víctor Hugo Ortiz Cañar**, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Diciembre del 2014



Ing. Idalia Pacheco

C.I. 0502391519

ASESOR METODOLÓGICO DE LA TESIS

CERTIFICACIÓN

La presente tiene a bien CERTIFICAR a los señores MOLINA GUANOCHANGA WILSON ORLANDO con Cédula de identidad N°. 1721792123 y ORTIZ CAÑAR VICTOR HUGO con Cédula de identidad N°. 1804545794; han realizado el estudio de su tesis que lleva como tema **“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, los interesados pueden hacer uso de este documento cuando lo estimen conveniente.

Atentamente,

“POR LA VINCULACION DE LA UNIVERSIDAD CON EL PUEBLO”



Ing. Wilfrido Román

Administrador del CEYPSA

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todos nuestros familiares por ser los pilares fundamentales de apoyo diario e incondicional en toda nuestra etapa estudiantil.

Un agradecimiento profundo a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI y a todos los docentes quienes nos impartieron sus conocimientos día tras día con paciencia y dedicación. Y además nuestros más sinceros agradecimientos al Ing. Wilfrido Román administrador del Centro Experimental y de Producción Salache (CEYPSA), por la apertura necesaria para poder llevar a cabo nuestra investigación

Además queremos agradecer de manera muy especial al Ing. Xavier Proaño por su valioso asesoramiento técnico, para el excelente desarrollo de este proyecto.

Un extensivo agradecimiento al Ing. Msc. Diego Vaca, Técnico en Energía Solar del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables), por la ayuda brindada para la realización de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una y otra manera han contribuido con su infaltable apoyo moral.

WILSON y VICTOR

DEDICATORIA

Esta Tesis va dedicado principalmente a Dios y a mi Niñito de Isinche quienes me han dado la salud, la vida e inteligencia para seguir adelante con mis estudios. Y por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres que son el pilar fundamental en mi vida, Wilson Ernesto Molina y María Dolores Guanochanga que con su infinito amor y comprensión han sabido guiarme por el camino del bien inculcándome buenos valores, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida para llegar a ser una persona de bien y un buen profesional.

A mis hermanos Milton, Jonathan y Anderson quienes siempre han estado a mi lado apoyándome moralmente para cumplir con esta meta.

A mis Tías, María Angelita y María Soledad quienes han estado apoyándome siempre de alguna u otra manera para alcanzar mis sueños.

A mis abuelitos, María Olimpia Molina (+) y Segundo Nicolás Guanochanga (+) quienes desde el cielo me han dado las bendiciones para que día a día todo me salga de lo mejor. A mi abuelita Manuela Josefina Caiza quien con sus bendiciones ha estado a mi lado apoyándome.

Ya una personita muy especial para mí, Josselyn por su apoyo.

En fin gracias a todas las personas que confiaron en mi para culminar con este proyecto.

Los grandes esfuerzos siempre rinden frutos, hoy es el fin de algo muy bueno, pero el comienzo de algo mejor.

WILSON MOLINA

DEDICATORIA

El presente Proyecto lo dedico primeramente a Dios, por brindarme la sabiduría necesaria y darme la fuerza necesaria para seguir adelante mientras cursaba la vida universitaria y sobre todo por haberme bendecido con una gran familia e inolvidables amistades.

A mis queridos padres: Hugo y Romelia quienes son que me dieron el apoyo, con su amor, paciencia, comprensión y con su ejemplo de sacrificio y responsabilidad supieron apoyarme en cada decisión tomada en el transcurso de vida estudiantil.

A mis hermanos: Mónica, Gabriel y Erika quienes con su apoyo moral e incondicionalmente me dieron ánimo para continuar y perseverar en la culminación de mi carrera.

A mis tíos, primos, abuelitos y demás familiares quienes de una u otra manera supieron brindarme su extenderme su apoyo y confianza para poder continuar y culminar en la meta propuesta de terminar mi carrera universitaria.

A mis amigos/as y compañeros los mismos que con su amistad incondicional supieron brindarme su ayuda, en los momentos donde más se los requería.

VICTOR ORTIZ

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
<i>Portada</i>	<i>i</i>
<i>Autoría</i>	<i>ii</i>
<i>Aval Del Director</i>	<i>iii</i>
<i>Aval Del Asesor Metodológico</i>	<i>iv</i>
<i>Certificación</i>	<i>v</i>
<i>Agradecimiento</i>	<i>vi</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>vii</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>viii</i>
<i>Índice general</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>xiii</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>xiv</i>
<i>Índice de gráficos</i>	<i>xiv</i>
<i>Resumen</i>	<i>xv</i>
<i>Abstract</i>	<i>xvi</i>
<i>Aval de Traducción</i>	<i>xvii</i>
<i>Introducción</i>	<i>xviii</i>
CAPÍTULO I	1
1. Aspectos teóricos	1
1.1. <i>ENERGÍA SOLAR</i>	1
1.2. <i>RADIACIÓN SOLAR</i>	2
1.2.1. <i>Radiación global</i>	3
1.2.2. <i>Radiación promedio</i>	3
1.2.3. <i>Radiación solar en el ecuador</i>	4
1.3. <i>HELIOFANÍA</i>	6

1.4.	<i>SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO</i>	7
1.4.1.	<i>Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico</i>	8
1.4.2.	<i>Dimensionado del generador</i>	9
1.5.	<i>ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO</i>	9
1.5.1.	<i>Paneles fotovoltaicos</i>	10
1.5.2.	<i>Conexión de los paneles fotovoltaicos</i>	12
1.5.3.	<i>Baterías</i>	13
1.5.4.	<i>Regulador de carga</i>	16
1.5.5.	<i>Inversor</i>	17
1.5.6.	<i>Cables</i>	18
1.5.7.	<i>Elementos eléctricos auxiliares</i>	19
1.5.8.	<i>Protecciones y puestas a tierra</i>	20
1.6.	<i>TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICAS</i>	20
1.6.1.	<i>Sistemas conectados a la red</i>	20
1.6.2.	<i>Sistemas aislados de la red</i>	21
1.7.	<i>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS DE LA RED</i>	22
1.7.1.	<i>Tipos de sistemas fotovoltaicos aislados de la red</i>	23
1.7.2.	<i>Sistemas aislados de corriente alterna (ca) para aplicaciones domésticas</i>	23
1.8.	<i>SISTEMAS TÍPICOS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO</i>	25
1.8.1.	<i>Diseño y dimensionado de un sistema de bombeo fotovoltaico</i>	26
1.8.2.	<i>Estimación de pérdidas</i>	28
1.8.3.	<i>Dimensionamiento de paneles solares</i>	29
1.8.4.	<i>Dimensionado del acumulador</i>	30
1.8.5.	<i>Dimensionado del regulador</i>	32
1.8.6.	<i>Dimensionado del inversor</i>	33
1.8.7.	<i>Dimensionado del conductor</i>	34
1.8.8.	<i>Sistemas de acondicionamiento de potencia</i>	36
1.8.9.	<i>Motores para bombeo</i>	36
1.8.10.	<i>Bombas de agua</i>	37
1.9.	<i>EVALUACIÓN DEL RECURSO SOLAR</i>	40
1.10.	<i>HORAS PICO SOLAR</i>	40
1.11.	<i>MEDICIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR</i>	41

1.11.1.	<i>Piranómetro</i>	42
1.11.2.	<i>Heliógrafo</i>	43
1.11.3.	<i>Pirheliómetro</i>	45
1.12.	<i>NORMAS FOTOVOLTAICAS</i>	46
CAPÍTULO II.....		48
2.	<i>Análisis e interpretación de resultados</i>.....	48
2.1.	<i>ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR</i>	48
2.1.1.	<i>Tipos de investigación</i>	48
2.1.2.	<i>Técnicas de investigación</i>	49
2.2.	<i>ANÁLISIS DE LA ENTREVISTA</i>	55
2.3.	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	56
2.4.	<i>VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS</i>	66
CAPÍTULO III.....		67
3.	<i>Propuesta</i>.....	67
3.1.	<i>DESARROLLO DE LA PROPUESTA</i>	67
3.1.1.	<i>Tema:</i>	67
3.1.2.	<i>Descripción</i>	67
3.1.3.	<i>Justificación de la propuesta</i>	68
3.2.	<i>OBJETIVOS</i>	69
3.2.1.	<i>Objetivo general</i>	69
3.2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	69
3.3.	<i>DESARROLLO TÉCNICO DE LA PROPUESTA</i>	70
3.4.	<i>DIMENSIONADO DE LA BOMBA</i>	70
3.5.	<i>DETERMINACIÓN DEL VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO</i>	72
3.6.	<i>CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGÍA TOTAL DEL SISTEMA</i>	72
3.7.	<i>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO</i>	73
3.8.	<i>CÁLCULO DE PANEL SOLAR</i>	74
3.9.	<i>INCLINACIÓN ADECUADA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS</i>	79
3.10.	<i>CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA BATERÍA DE ALMACENAMIENTO</i>	79
3.10.1.	<i>Carga y descarga de las baterías</i>	84
3.11.	<i>CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA</i>	85

3.12.	<i>CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL INVERSOR.....</i>	86
3.13.	<i>CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CONDUCTOR</i>	87
3.14.	<i>DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES.....</i>	89
3.15.	<i>ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO</i>	91
3.15.1.	<i>Generalidades</i>	91
3.15.2.	<i>Costos de los equipos.....</i>	92
3.15.3.	<i>Análisis costo beneficio.....</i>	92
3.15.4.	<i>Inversiones - construcción del sistema fotovoltaico.</i>	93
3.15.5.	<i>Relación costo-beneficio.....</i>	93
3.15.6.	<i>Costo-beneficio</i>	93
	Conclusiones	96
	Recomendaciones.....	98
	Glosario de términos básicos	99
	Siglas.....	103
	Referencias bibliográficas:	106
	<i>BIBLIOGRAFÍA CITADA:</i>	<i>106</i>
	<i>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA:</i>	<i>107</i>
	<i>BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL:</i>	<i>108</i>
	Anexos	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1 ZONAS DEL ECUADOR SEGÚN IRRADIACIÓN SOLAR	5
TABLA 1. 2 VALORES PROMEDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR DE CIERTAS ZONAS DEL ECUADOR	5
TABLA 1. 3 IRRADIACIÓN SOLAR MENSUAL Y PROMEDIO PARA COTOPAXI VALORES EN KWH/M ²	6
TABLA 1. 4 COMPARATIVA ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE SILICIO APLICADAS A LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	11
TABLA 1. 5 VALORES CARACTERÍSTICOS DE DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS.....	15
TABLA 1. 6 BATERÍAS PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	15
TABLA 1. 7 RENDIMIENTO DE LOS INVERSORES SEGÚN EL TIPO DE INVERSOR.	18
TABLA 1. 8 MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BATERÍA	31
TABLA 1. 9 RESISTIVIDAD DE ALUMINIO Y COBRE.....	35
TABLA 1. 10 CAIDAS DE VOLTAJE CONDUCTOR COBRE AISLADO PARA BAJO VOLTAJE.	35
TABLA 1. 11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS DE SUPERFICIE	38
TABLA 1. 12 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS SUMERGIBLES	38
TABLA 1. 13 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS VOLUMÉTRICAS	39
TABLA 1. 14 CLASIFICACIÓN DE LOS PIRANÓMETROS	43
TABLA 1. 15 NORMAS FOTOVOLTAICAS	47
TABLA 2. 1 DATOS PROMEDIO DE IRRADIANCIA (W/M ²).....	56
TABLA 2. 2 DATOS PROMEDIO DE IRRADIACIÓN (WH/M ²)	57
TABLA 2. 3 DATOS DE HELIOFANÍA 2013, ESTACIÓN METEREOLÓGICA SALACHE	60
TABLA 2. 4 DATOS DE HELIOFANÍA 2014 ESTACIÓN METEREOLÓGICA SALACHE.....	62
TABLA 2. 5 DETERMINACIÓN DE HORAS SOLAR MENSUAL.....	64
TABLA 2. 6 COMPARACION DE DATOS PARA DETERMINAR LAS HPS DIA	65
TABLA 3. 1 ESTIMACIÓN DE LA CARGA	72
TABLA 3. 2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	73
TABLA 3. 3 PANELES SOLARES MARCA EXMORK	76
TABLA 3. 4 PANELES SOLARES MARCA SIMAX.....	76
TABLA 3. 5 PANELES SOLARES RENOVA ENERGÍA	76
TABLA 3. 6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL SOLAR SIMAX.....	79
TABLA 3. 7 BATERÍAS SOLARES PROVEEDOR PROVIENTO	83
TABLA 3. 8 BATERÍAS SOLARES PROVEEDOR RENOVA ENERGÍA	83
TABLA 3. 9 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA	84
TABLA 3. 10 AMPACIDAD DEL CONDUCTOR TTU EN AWG Y MM ²	88
TABLA 3. 11 AMPACIDAD DEL CONDUCTOR TW EN AWG Y MM ²	89

TABLA 3. 12 COSTO DE MATERIALES.....	92
TABLA 3. 13 BENEFICIO EN VALOR PRESENTE	94
TABLA 3. 14 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL	3
FIGURA 1. 2 RADIACION PROMEDIO GLOBAL	4
FIGURA 1. 3 INSOLACIÓN SOLAR GLOBAL DEL ECUADOR	5
FIGURA 1. 4 PIRANÓMETRO.....	42
FIGURA 1. 5 HELIÓGRAFO	44
FIGURA 1. 6 BANDAS DE CARTULINA PARA HELIÓGRAFO	45
FIGURA 1. 7 PIRHELIÓMETRO	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. 1 TRAYECTORIA DEL SOL HACIA LA TIERRA.....	2
GRÁFICO 1. 2 EFECTO FOTOVOLTAICO	8
GRÁFICO 1. 3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	8
GRÁFICO 1. 4 CONSTITUCIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	9
GRÁFICO 1. 5 TIPOS DE PANELES SOLARES	10
GRÁFICO 1. 6 CURVA CARACTERÍSTICAS DE PANELES CONECTADOS EN SERIE	12
GRÁFICO 1. 7 CURVA CARACTERÍSTICAS DE PANELES CONECTADOS EN PARALELO.....	13
GRÁFICO 1. 8 C OMPORTAMIENTO DE LA BATERÍA	14
GRÁFICO 1. 9 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED	21
GRÁFICO 1. 10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED	21
GRÁFICO 1. 11 CURVA DE HORAS PICO SOLAR.....	40
GRÁFICO 2. 1 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO KWH/M^2	58
GRÁFICO 2. 2 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO KWH/M^2	59
GRÁFICO 2. 3 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO KWH/M^2	59
GRÁFICO 2. 4 HELIOFANÍA HORAS BRILLO SOLAR MENSUAL 2013.....	61
GRÁFICO 2. 5 HELIOFANÍA HORAS BRILLO SOLAR MENSUAL 2014.....	63
GRÁFICO 2. 6 IRRADIACIÓN PROMEDIO	64
GRÁFICO 3. 1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR	74

RESUMEN

El estudio de tecnologías limpias permitirá el aprovechamiento de los recursos renovables para satisfacer las necesidades energéticas requeridas en este proyecto, por lo que en este se pone énfasis en el estudio de la energía fotovoltaica.

El aprovechamiento de la irradiancia solar está proyectado a beneficiar a la comunidad universitaria. Mediante la transformación de energía solar a energía eléctrica, por medio de paneles fotovoltaicos, esta energía será utilizada principalmente para cubrir la demanda de un sistema de bombeo de agua por aspersión, que facilitará el riego en momentos que más se crean convenientes realizarlos.

Para el análisis de irradiancia solar se tomó datos durante el primer trimestre del año 2014 dando resultados favorables de aproximadamente **7,14075; 6,33385; 4,56595 kWh/m² por cada mes (Ver Tabla 2.2)**, al realizar el análisis respectivo se llegó a determinar que se tiene un alrededor de **4,9045 Horas Pico Solar (HPS) en el día (Ver Tabla 2.5)**, además se utilizó información del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) de la Estación Meteorológica de la (UTC); entre los años 2013 y 2014 que oscila valores entre **4,532 y 4,235 (horas/día) de brillo solar** respectivamente, y por ultimo además de los datos proporcionados por el Atlas Solar del año 2008 de Irradiación global promedio que es **4,420 HPS promedio** llegando a la conclusión que se tiene **4 HPS promedio**, el mismo que ayudo en el diseño y selección de equipos para un sistema de generación fotovoltaico aislado de la red eléctrica.

Para finalizar se realizó un análisis técnico-económico para determinar la factibilidad del dimensionamiento del sistema, indicándose los componentes necesarios a utilizar previamente diseñados, incluyendo también la facilidad del manejo de los equipos mediante un plan de operación.

ABSTRACT

The study of clean technology allows us to take advantage of renewable resources to satisfy the energy needs required in this project, so this emphasizes the study of photovoltaic. The use of solar irradiance is projected to benefit the university community. By transforming solar energy to electrical energy through photovoltaic panels, this energy will be used mainly to cover the demand of a water pump system spray, which will facilitate irrigation in the moments that will be convenient to do it. For the analysis of solar irradiance data was taken during the first quarter of 2014, giving favorable results of about 7.14075 ; 6.33385 ; 4.56595 kWh / m² per month (see Table 2.2) , to perform the respective analysis was determined that has about 4.9045 Peak Solar Hours (PSH) in the day (see Table 2.5) , also was used INAMHI information (National Institute of Meteorology and Hydrology), Meteorological Station of the university(UTC); between 2013 and 2014 varies between 4,532 and 4,235 values (hours / day) of sunshine respectively, and last to the data provided by the Solar Atlas the 2008 average global irradiation is 4,420 HPS reaching the average conclusion that has 4 HPS average, the same that had helped in the design and selection of equipment for photovoltaic generation system isolated from the mains. To conclude, technical - economic analysis was performed to determine the feasibility of the system, indicating the necessary components to be used, previously designed, also including ease handling of the equipment by plan operating components.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Yo, Lic. Mgs. Martha Cecilia Cueva con cedula de identidad N° 170502244-8 certifico que he realizado la respectiva revisión a la traducción del Abstract; con el tema: **“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”**, de Cuyos autores son: Wilson Orlando Molina Guanochanga y Víctor Hugo Ortiz Cañar y Director de Tesis, Ing. Xavier Proaño Dejando el contenido bien estructurado y libre de errores.

Latacunga, Diciembre del 2014

Lo certifico:



.....
Lic. Mgs. Martha Cecilia Cueva

C.I 170502244-8

INTRODUCCIÓN

El estudio de tecnologías limpias permitirá el aprovechamiento de los recursos renovables para satisfacer las necesidades energéticas requeridas en este proyecto, disminuyendo la contaminación de nuestro medio ambiente producidos por los métodos tradicionales de producción de energía.

Con el aporte investigativo que se realizará permitirá conocer el potencial solar existente en el sitio, es conveniente poner interés en este tipo de generación eléctrica ya que es una energía limpia y renovable y además que es proveniente del sol.

Este trabajo está encaminado al análisis de la irradiancia solar, dimensionamiento y selección de equipos para un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica, el mismo que servirá de apoyo para trabajos de investigación futuros. Esperando por medio de la investigación cumplir los objetivos propuestos, también despertar el interés de los estudiantes respecto a esta área de energías alternativas.

El proyecto de investigación realizado se encuentra estructurado por tres capítulos:

El Primer Capítulo propone la fundamentación teórica; describe de manera muy general todos los argumentos y postura teórica adoptada durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, enunciando las definiciones básicas y conceptos que están relacionadas con la energía fotovoltaica, para centrarnos en conceptos de generación fotovoltaica y dimensionamiento.

El Segundo Capítulo es la presentación, interpretación y análisis de resultados para el desarrollo del proyecto, Con el análisis de los resultados se selecciona los equipos adecuados para este sistema de generación, considerado el tipo de investigación que es, descriptiva y de campo, ya que se ayuda de la entrevista como una técnica de investigación para recopilar datos e información necesaria para poder analizar y evaluar la posibilidad del proyecto de investigación.

En el Tercer Capítulo se realiza la propuesta, una vez que se establecen los parámetros necesarios, para el dimensionamiento del generador fotovoltaico que

cubrirá la demanda eléctrica del sistema de bombeo de agua de acuerdo a los datos recopilados de la irradiancia in situ.

Finalmente se elaborarán las conclusiones y recomendaciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto de investigación.

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS TEÓRICOS

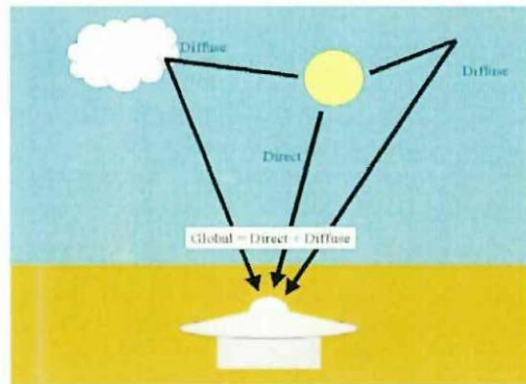
1.1. Energía solar

Según Miguel Moro V. (2010) expresa que: “Esta energía se irradia hacia el espacio en forma de radiación (la luz visible y otras formas de radiación); La energía radiante que el Sol nos proporciona puede colmar nuestras necesidades energéticas del presente futuro”. Pág. 5.

La irradiación solar que alcanza la tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce a través de la absorción de la radiación en paneles solares para su posterior transformación en energía eléctrica la misma que será aprovechada como se crea conveniente de acuerdo a su capacidad de producción. Es una energía renovable, conocida también como energía limpia.



GRÁFICO 1. 1 TRAYECTORIA DEL SOL HACIA LATIERRA



FUENTE: BRUCE W. Forgan, Solar Radiation Measurement 2011

1.2. Radiación solar

La energía solar está constituida por la fracción de la luz que emite el sol, y que es interceptada por la Tierra en su superficie, y por lo tanto, se encuentra condicionada por factores de tipo astronómico y geográfico (posición relativa sol-tierra y lugar donde esté ubicado el sistema) así como de tipo climatológico.

Debido a estos condicionantes, el total de la radiación procedente del sol que incide en la superficie terrestre está compuesto por:

- Radiación directa, es la que llega a la tierra perpendicularmente con el disco solar.
- Radiación difusa, es la radiación que tiene por obstáculo principal la interposición de las nubes y es originada por los defectos de dispersión de componentes de la atmósfera.
- Radiación reflejada, es la radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo.

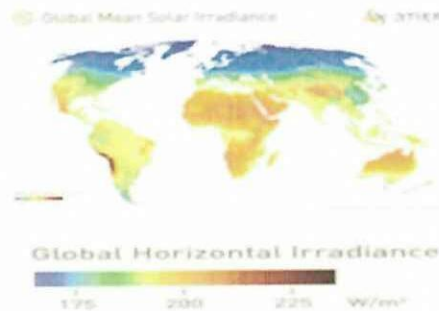
La radiación solar que llega a la superficie terrestre de tal forma que se pueda aprovechar de alguna forma de acuerdo a la utilización o al tipo de instalación fotovoltaica que se pretenda instalar, cabe indicar que la radiación en nuestro país es directa ya que no requiere un seguidor solar, debido a que se encuentra en la zona donde los rayos del sol caen perpendicularmente hacia la tierra.

1.2.1. Radiación Global

De forma general, es razonable imaginar que la distribución global de la irradiación en el planeta no es uniforme, siendo más intensa en la zona ecuatorial. Sin embargo, la realidad es muy distinta a ello, y debido a las razones anteriormente indicadas, como la inclinación de la Tierra, y los componentes de la atmósfera incluyendo a la polución y a las nubes; la radiación solar tiene un comportamiento muy poco equitativo inclusive en zonas donde la Latitud es igual en extremos opuestos del planeta.

La empresa 3TIER dedicada al área de las energías renovables, cuenta con sistemas satelitales para la toma de mediciones y pronosticar el comportamiento de las condiciones meteorológicas en cualquier zona de Tierra.

FIGURA 1. 1 IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL

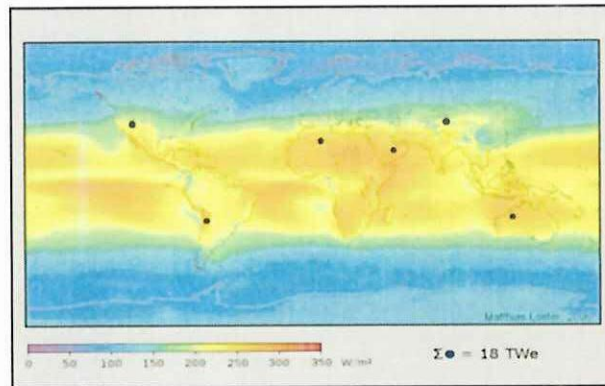


FUENTE: 3TIER <http://www.3tier.com/en/support/resource-maps/>

1.2.2. Radiación Promedio

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000W/m^2 en la superficie terrestre.

FIGURA 1.1 RADIACION PROMEDIO GLOBAL



FUENTE: http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/

1.2.3. Radiación solar en el Ecuador

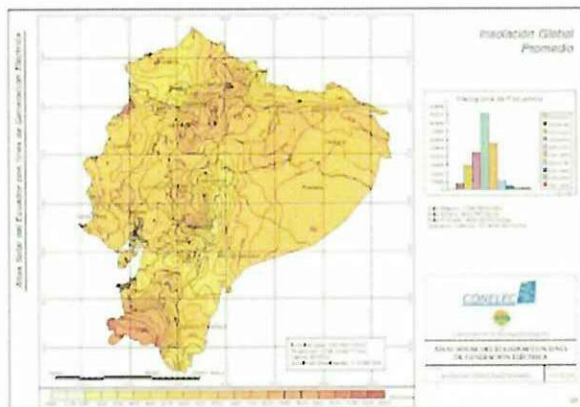
Un valor medio aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4200kWh/año muy superior al de España que es de 1400 kWh/año por m²; en la parte peninsular, sin embargo de acuerdo al CONELEC, se presentan variaciones de más de un 30% de unos lugares a otros en el Ecuador continental, y de más del 40% si se compara con las islas Galápagos.

El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en el año 2008 publicó el “Atlas solar del Ecuador” con fines de generación eléctrica, en el cual nos muestra resultados de la radiación solar directa, difusa y global con variaciones por cada mes del año.

Sin embargo y lamentablemente; este Atlas carece de tablas con valores numéricos para una mayor facilidad en la interpretación de datos.

La figura 1.3 muestra el índice global de irradiación de un año completo:

FIGURA 1. 2 INSOLACIÓN SOLAR GLOBAL DEL ECUADOR



FUENTE: CONELEC http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

TABLA 1. 1 ZONAS DEL ECUADOR SEGÚN IRRADIACIÓN SOLAR

ZONAS	kWh/m ² .día
Zona I:	3200 – 3600
Zona II:	3600 – 4000
Zona III:	4000 – 4400
Zona IV:	4400 – 4800
Zona V:	4800 – 5200

FUENTE: <http://www.cimeg.org.ec/normasne/NEC2011-CAP.14-ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf>

TABLA 1. 2 VALORES PROMEDIO DE IRRADIACIÓN SOLAR DE CIERTAS ZONAS DEL ECUADOR

PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m ² .día	ZONA
Imbabura	Ibarra	4560	IV
Manabí	Portoviejo	4160	III
Pichincha	Quito	4990	IV
Cotopaxi	Latacunga	4420	IV

FUENTE: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

La tabla 1.3 se puede apreciar los valores de irradiación dados en kWh/m² que corresponden a los meses de enero hasta diciembre, además teniendo en cuenta la localidad, latitud, longitud y valores promedios. El mes más crítico es Abril con un valor de 4,01 KWh/m².

TABLA 1. 3 IRRADIACIÓN SOLAR MENSUAL Y PROMEDIO PARA COTOPAXI VALORES EN kWh/m²

sitio	Lati	Long	Elev	Años Lect	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Latacunga	0.92 S	78.62 W	2785	20	4.47	4.38	4.21	4.01	4.07	4.09	4.32	4.53	4.44	4.51	4.44	4.37	4.32
Latacunga	0.92 S	78.62 W	2785	17	4.53	4.25	4.36	4.03	4.31	4.11	4.53	4.61	4.5	4.64	4.58	4.58	4.42
Cotopaxi	0.62 S	78.57 W	3560	2	4.31	4.25	3.94	3.64	3.75	3.86	4.14	4.64	4	4.44	4.56	4.17	4.14

FUENTE: <http://www.cimeg.org.ec/normasne/NEC2011-CAP.14-ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf>

1.3. Heliofanía

La luminosidad o brillo solar se conoce comúnmente en el ámbito meteorológico como “Heliofanía”, se mide con un instrumento que se compone básicamente de una placa metálica, un circuito eléctrico y un reloj. Cuando la temperatura de los rayos solares alcanza un valor determinado se dispara un impulso eléctrico que activa el reloj, y este empieza a tomar el tiempo. Luego, si la temperatura baja de cierto nivel el reloj se desactiva, y así periódicamente según las condiciones de luminosidad. La Heliofanía se mide en horas de brillo solar mensuales. Para efecto de este estudio la Heliofanía no es un indicador muy práctico o utilizable, pero basándose en esto podemos determinar la radiación solar en watts por metro cuadrado de la siguiente manera:

$$Rs = RT = \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right]$$

Donde:

R_s = radiación solar

R_t = radiación solar promedio, 1367 vatios por metro cuadrado (Ecuador)

a = constante, 0,28

b = constante, 0,45

n = horas de Heliofanía medidas

N = duración del período en horas (por ejemplo 12 horas en el día de sol)

Como se conoce la Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, y por ende la intensidad de la luz solar varía en muchas partes del mundo, pero en el Ecuador al estar en la latitud 0° esta variación no es muy representativa.

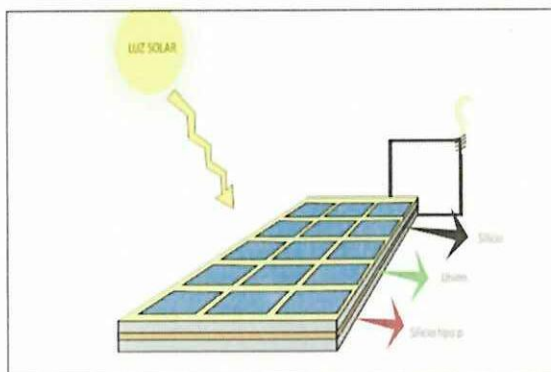
La Heliofanía es sin duda una de las variables más extendidas en cuanto a su uso en las distintas estimaciones del recurso solar. Y se define como la suma de periodos para los cuales la radiación solar directa supera el umbral de 120 W/m^2 por lo cual es evidente que esta variable está estrechamente relacionada no solo con la irradiación global, sino además, con otras magnitudes como la Irradiancia directa entre otras.

1.4. Sistema solar fotovoltaico

Según Luis López, (2008) señala que: "La producción está basada en el fenómeno físico denominado 'efecto fotovoltaico', que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas". Pág. 6.

Las células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa. Como se observa en el grafico 1.2 del efecto fotovoltaico.

GRÁFICO 1. 2 EFECTO FOTOVOLTAICO

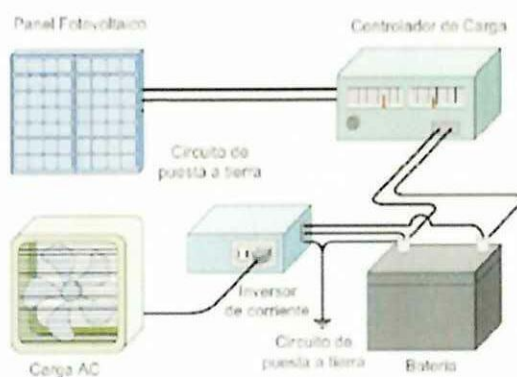


FUENTE: CONELEC http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf

1.4.1. Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico, de forma general, requiere el acoplamiento de cuatro elementos: Módulos fotovoltaicos, regulador, inversor y baterías.

GRÁFICO 1. 3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



FUENTE: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2239/1/CD-2536.pdf>

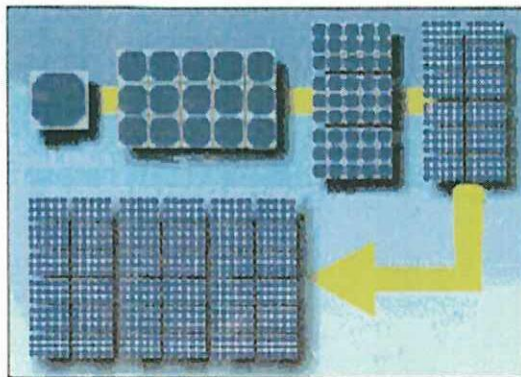
Toda instalación de sistemas de energía solar, además de la calidad del diseño y equipos de la instalación, así como la seguridad de las personas. Los Sistemas Solares fotovoltaicos se caracterizan por su simplicidad, fácil instalación, ausencia de ruido durante su funcionamiento, larga duración, elevada fiabilidad y requerir poco mantenimiento.

1.4.2. Dimensionado del generador

Más módulos fotovoltaicos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que un conjunto de módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, forman la rama. Más ramas conectadas en paralelo, para obtener la potencia deseada, constituyen el generador fotovoltaico. Así el sistema eléctrico puede proporcionar las características de tensión y de potencia necesarias para las diferentes aplicaciones.

El proceso de dimensionado del generador conlleva una serie de pasos, que se indica a continuación. En el gráfico 1.4 se puede observar cómo está constituido un panel fotovoltaico.

GRÁFICO 1.4 CONSTITUCIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO



FUENTE: <http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente>

1.5. Análisis de los componentes un sistema fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico consta de los siguientes elementos:

- Panel o conjunto fotovoltaico
- Controlador de carga
- Banco y cargador de baterías
- Inversor de corriente (opcional, para cargas CA)
- Cables




1.5.1. Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos se caracterizan por tener un conjunto de células fotovoltaicas, las mismas que captan la luz del sol para su posterior conversión en energía eléctrica. Actualmente la mayoría de las células fotovoltaicas para generación de energía eléctrica, se basan en la tecnología del silicio (monocristalino, policristalino y amorfo). Existen también módulos comerciales de otras tecnologías, principalmente materiales policristalinos de lámina delgada (CIS, CdTe).

El fundamento de esta tecnología se basa en que al incidir la luz sobre la superficie de la célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido, donde parte de estos electrones salen al exterior salen del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.

El rendimiento de un módulo fotovoltaico, depende de algunas variables externas, con la radiación solar, la temperatura de funcionamiento, la orientación del panel frente al sol, suciedad, el envejecimiento, etc.

GRÁFICO 1. 5 TIPOS DE PANELES SOLARES

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneas y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

FUENTE: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Las células fotovoltaicas que existen en el mercado para la elaboración de un panel fotovoltaico, suelen estar constituidas con cristal de silicio como material base. Estos cristales de silicio pueden tener dos configuraciones básicas:

- ✓ Silicio monocristalino
- ✓ Silicio policristalino

Las características fundamentales de este material utilizado para la realización de las células solares son:” como se muestra en la tabla 1.4.

TABLA 1. 4 COMPARATIVA ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE SILICIO APLICADAS A LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

TIPO DE CELDA	EFECIENCIA		VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Laboratorio	Producción		
Silicio Monocristalino	19.1%	12 a 16%	Tecnología bien desarrollada y probada. Estable. Mayor eficiencia. Se fabrican en celdas cuadradas	Emplean mucho material caro. Mucho desperdicio (casi la mitad). Manufactura costosa
Silicio Policristalino	18%	11 a 14%	Tecnología bien desarrollada y probada. Estable. Buena eficiencia. Celdas cuadradas. Menos costoso que el monocristalino.	Material costoso. Mucho desperdicio. Manufactura costosa. Menor eficiencia que el monocristalino.
Silicio Amorfo o Película Delgada	11.5%	4 a 8 %	Utiliza muy poco material. Alto potencial y producción rápida. Costo bajo, 50% del silicio cristalino. Menos afectado por bajos niveles de insolación.	Degradación pronunciada. Menor eficiencia. Menor durabilidad.

FUENTE: José Ma. Fernández Salgado (2010)

1.5.2. Conexión de los paneles fotovoltaicos

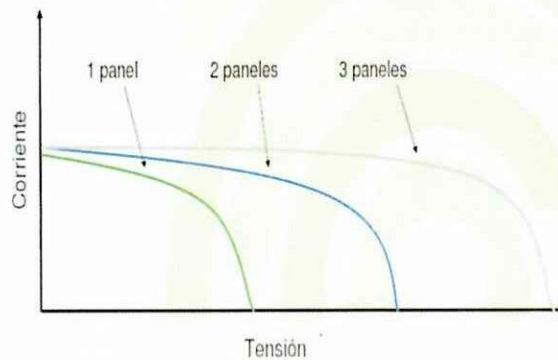
Los paneles fotovoltaicos se pueden conectar de dos formas principalmente:

- Serie
- Paralelo

1.5.2.1. Conexión en serie.

Según José M^a De Juana. (2009) expresa que: “Si debido a defecto de fabricación o por la formación de sombras, la intensidad que recorre la asociación serie puede quedar por encima y la célula quedaría trabajando con tensión negativa, disipando potencia como si de un receptor se tratara.” Pág. 112.

GRÁFICO 1. 6 CURVA CARACTERISTICAS DE PANELES CONECTADOS EN SERIE

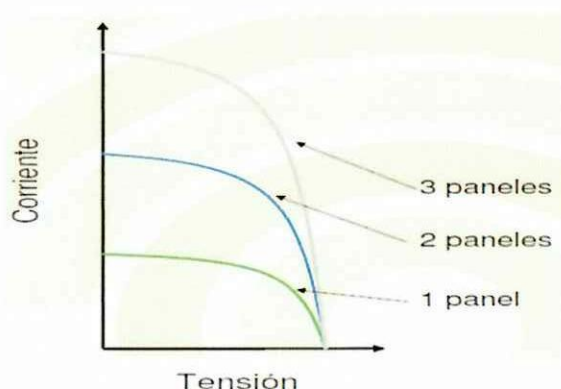


FUENTE: DANIEL FRAILE, Dimensionado De Un Sistema PV En Perú.

1.5.2.2. Conexión en paralelo

Según José Ma De Juana. (2009) Señala que: “Dentro de un panel se pueden conectar en paralelo varios grupos de células conectadas a su vez en serie, aunque lo más frecuente es que la conexión paralelo se hagan entre paneles” Pág. 112.

GRÁFICO 1. 7 CURVA CARACTERISTICAS DE PANELES CONECTADOS EN PARALELO



FUENTE: DANIEL FRAILE, Dimensionado De Un Sistema PV En Perú.

1.5.3. Baterías

Según José Ma De Juana. (2009) menciona que: “La energía solar fotovoltaica se puede acumular en baterías electroquímicas que son las más utilizadas y las más económicas en la mayoría de los casos, las baterías más utilizadas son las de plomo ácido.” Pág. 112.

Las baterías utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas permanecen durante largos periodos con carga parcial y sus descargas se producen lentamente en periodos de más de 100 horas estando sometidas por lo general a un ciclado diario de carga y descarga parcial. Debe tener baja autodescarga y exigir un escaso mantenimiento.

Las baterías se caracterizan por su capacidad, que representa la carga eléctrica que es capaz de almacenar. Como la unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades es el Culombio (C), que tiene un valor muy pequeño, se suele emplear como unidad el amperio-hora (Ah), equivalente a 3600 C.

En los sistemas fotovoltaicos, dicho papel lo realiza la batería. Las propiedades de la batería que se elija para un sistema fotovoltaico influyen de gran manera en el diseño de algunos elementos de la instalación.

Principales características que debe cumplir una batería para uso fotovoltaico:

- Larga vida útil
- Bajo mantenimiento
- Bajo valor de autodescarga
- Elevado número de ciclos de carga-descarga

En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas.

En el grafico 1.8, se puede observar como es el comportamiento de carga y descarga de la batería, teniendo en cuenta que las baterías se les puede descargar hasta un 60%.

GRÁFICO 1.8 COMPORTAMIENTO DE LA BATERÍA



FUENTE: MORO Miguel, Instalaciones Solares Fotovoltaicas 2010

Según Miguel Moro (2010) dice que: “La capacidad de descarga de la batería se reduce ligeramente debido a los ciclos de carga y descarga. Cuando más profunda es la descarga de la batería, mayor es su pérdida de capacidad, porque mayores es grado de sulfatación que sufren los electrodos.” Pág. 58.

TABLA 1. 5 VALORES CARACTERÍSTICOS DE DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS

Propiedad	1	2	3	4	5
	Plomo-ácido	Li/FeS ₂	Na/S	NiCd	ZnCl
V_{máx} (V)	2,5	2,4	2,75	1,35	2,12
V_{mín} (V)	1,75	1	1,83	-	1,98
Temperatura (C°)	25	400	315	-	32
Rendimiento	70-80	70	85	-	70
Vida en ciclos	1500(2000)	200-1000	200-1500	1500-3000	100-500
Densidad (Wh/Kg)	150-200	170	200	200	150

FUENTE: Libro de Energías Renovables para el desarrollo primera edición.

TABLA 1. 6 BATERÍAS PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Tipo de Batería	Descripción
Ácido abiertas	Corresponden estas baterías al modelo básico, con los tapones de rellenado para el agua destilada, lo que constituye su característica diferenciadora.
Ácido selladas (herméticas)	Corresponden a las denominadas baterías estacionarias, sin mantenimiento (no es posible, rellenarlas con agua destilada), Produciendo poco oxígeno, por lo que se emplean en habitáculos cerrados. Estas baterías pueden tener una vida más corta por la imposibilidad de mantenimiento.
Gel selladas (herméticas)	Baterías igualmente sin mantenimiento, en las que el ácido se ha hecho gel, conforme a su denominación, para evitar el derrame del ácido sulfúrico en el caso de rotura del envase.
AGM selladas(herméticas)	Baterías sin mantenimiento en las que el gel está en forma de masas esponjosas. Incorporan una válvula de protección de VRLA ("Valve Regulated Lead Acid o baterías de plomo ácido con válvula de regularización). Su principal característica es que presentan una vida larga.

FUENTE: Guía del instalador de Energías Renovables

1.5.4. Regulador de carga

Los reguladores de carga se encargan de la protección de los acumuladores frente a sobrecargas y descargas profundas. Ya que puede ocurrir que la potencia requerida por el usuario no sea proporcional a la energía acumulada en la batería o a la radiación solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos sea suficiente. . En términos generales la misión del regulador de carga es la de contrarrestar la estabilidad de la fuente primaria.

En periodos donde la radiación es nula (noche) o baja (al amanecer, atardecer, o en días nublados) los módulos pueden no cargar a las baterías, en este caso el regulador cumple un rol pasivo, desconectando el banco de acumulación de los consumos, evitando la sobredescarga. Cuando la radiación aumenta, el voltaje de los módulos supera al banco de acumulación, iniciándose nuevamente el proceso de carga; es entonces cuando el regulador de carga tiene un rol activo, desconectando los módulos de la batería evitando una gasificación excesiva del electrolito por descarga. En términos generales la misión del regulador de carga es la de contrarrestar la estabilidad de la fuente primaria.

El regulador de carga funciona como un servomecanismo en el que se compara el valor deseado en la carga con uno de referencia, y efectúa los cambios necesarios para compensar las variaciones de la fuente primaria y las debidas al consumo o carga conectada a nuestro sistema fotovoltaico. Su tiempo de respuesta es finito y su error en estabilidad es función de garantía del bucle de la realimentación.

El regulador de carga controla constantemente el estado de cargas de las baterías regulando la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil; también debe tener la capacidad de generar alarmas en función del estado de carga de la batería. Los reguladores actuales introducen microcontroladores para la correcta gestión del sistema fotovoltaico al que está conectado, su control adaptivo capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permiten también la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especializadas, incluso hay que memorizar que permitan conocer la evolución de la instalación durante su tiempo determinado, mediante el registro y la

comparación de los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y la capacidad del acumulador.

1.5.5. Inversor

En algunas instalaciones, el consumo de energía se realiza directamente en continua, con lo que el acumulador vierte directamente la corriente en la red. Sin embargo, hay otros casos (electrificación de viviendas, granjas rurales, etc.) en los que la red de consumo es de corriente alterna a 230V. En estos casos, se hace necesaria la presencia de un inversor, dispositivo electrónico que transformará la corriente continua en corriente alterna.

El inversor de una instalación aislada debe ser capaz de proporcionar corriente eléctrica para diversos tipos de cargas: electrodomésticos, iluminación, aparatos electrónicos, etc. Además, debe proporcionar un buen rendimiento, incluso con carga parcial, y debe ser capaz de ponerse en situación de espera con bajo consumo, detectando automáticamente la carga cuando esta se conecte, para comenzar a funcionar. También debe proporcionar una buena protección frente a cortocircuitos y un reducido contenido de armónicos.

Los principales tipos de inversores son los siguientes:

- ***Inversores de onda senoidal pura.*** La salida de esta clase de inversores es una onda senoidal pura. Se trata del tipo de inversor más adecuado para alimentar cargas electrónicas y dispositivos especialmente sensibles, pero son más caros que otra clase de inversores.
- ***Inversores de onda senoidal modificada.*** Este tipo de inversores, son más baratos que los anteriores, la calidad de la onda senoidal de este tipo de inversor no es tan determinada, dicho de otro modo, la onda posee un contenido elevado de armónicos. Existen ciertas cargas (fundamentalmente de dispositivos electrónicos) para las que el uso de esta clase de inversores puede suponer un problema.
- ***Inversor de onda cuadrada.*** Los inversores de onda cuadrada son los más baratos y comunes. A partir de la corriente continua se forma una onda

cuadrada que posteriormente es elevada a voltajes muy amplios mediante un transformador. Suelen ser bastante eficientes pero pueden dañar dispositivos sensibles.

TABLA 1. 7 RENDIMIENTO DE LOS INVERSORES SEGÚN EL TIPO DE INVERSOR.

TIPO DE INVERSOR		RENDIMIENTO DEL 20% DE LA POTENCIA NOMINAL	RENDIMIENTO A POTENCIA NOMINAL
Onda senoidal (*)	$P_{nom} \leq 500VA$	>80%	>70%
	$P_{nom} > 500VA$	>85%	>80%
Onda no senoidal		>85%	>80%

FUENTE: José Ma. Fernández Salgado (2010)

Por otro lado todos los inversores deben tener una señalización incorporada necesaria para la operación, las mismas que deben tener un control manual y automático, las mismas que aseguren una adecuada supervisión y manejo durante todo su funcionamiento, los principales controles manuales que deben estar incorporados son:

- Encendido y apagado del inversor
- Conexión y desconexión (red-inversor)

1.5.6. Cables

Son los conductores eléctricos cuyo propósito es permitir el flujo de electricidad entre los distintos elementos del sistema, según el modo de operación.

Los conductores tendrán un aislamiento adecuado y sus secciones se elegirán siguiendo la reglamentación de forma que no se caliente por encima de la temperatura soportada por el aislamiento, ni que la salida de tensión producida impida el buen funcionamiento de los receptores. Las secciones también deberán elegirse de manera que las pérdidas de potencia por efecto joule se mantengan lo

suficientemente bajas, generalmente inferiores al 5% de la potencia instalada, si no se requiere incurrir en un coste económico innecesario.

Es esta última condición la más restrictiva en instalación con niveles bajos de tensión nominal (12, 24 V) de manera que, cuando los consumos se encuentren algo alejados de sistema de generador, obliga a utilizar voltajes nominales más elevados si no se requiere recurrir a secciones antieconómicas.

1.5.7. Elementos eléctricos auxiliares

Según Miguel Moro (2010) manifiesta que: “El cableado de conexión está formado por elementos conductores que transmiten los electrones a través de ellos. Esta pérdida de tensión depende de la resistencia del cable y de intensidad que circula por él. Podemos calcular a partir de la Ley de Ohm. “Pág. 63

$$\Delta V = R_c \times I \quad \text{Ec. 1.1}$$

Siendo ΔV la pérdida de tensión en el conductor, **R_c** la resistencia del cableado e **I** la intensidad que circula por él. La resistencia se puede calcular conociendo la resistencia del material, la longitud del cable y la sección del mismo:

$$R_c = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad \text{Ec. 1.2}$$

Al realizar una conexión de los diferentes dispositivos de la instalación fotovoltaica, es preciso conectarlos entre ellos a través de los elementos adecuados: los conectores necesarios para conducir la corriente eléctrica hasta el regulador y los acumuladores.

Hay que manifestar que todo cableado debe tener un aislamiento adecuado de acuerdo a sus secciones y a la tensión que debe transmitir, de tal manera que el sistema se encuentre seguro y no sufra de algún inconveniente durante su periodo de funcionamiento y tenga una vida útil muy alta.

Según Antonio Manuel Roboso L. (2012) menciona que: “Para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte de corriente continua (CC) deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, a los valores especificados a continuación”: Pág. 67.

- Caída de tensión máxima entre generador y regulador: 3 %
- Caída de tensión máxima entre regulador y batería: 1 %
- Caída de tensión máxima entre batería e inversor: 1 %
- Caída de tensión máxima entre inversor y cargas: 3 %”

1.5.8. Protecciones y puestas a tierra

Según José Ma. Fernández Salgado (2010) expresa que: “Todas las instalaciones con tensiones nominales de 24 voltios contarán con una toma de tierra a la que estará conectada, como mínimo, la estructura soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos. El sistema de protecciones asegurará la protección de las personas frente a contactos directos e indirectos.” Pág. 326.

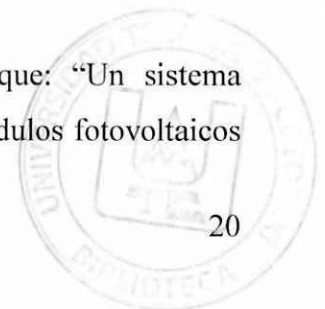
1.6. Tipos de sistemas fotovoltaicas

Dentro de los tipos de sistemas fotovoltaicos tenemos los siguientes:

- Sistemas conectados a la red.
- Sistemas aislados de la red

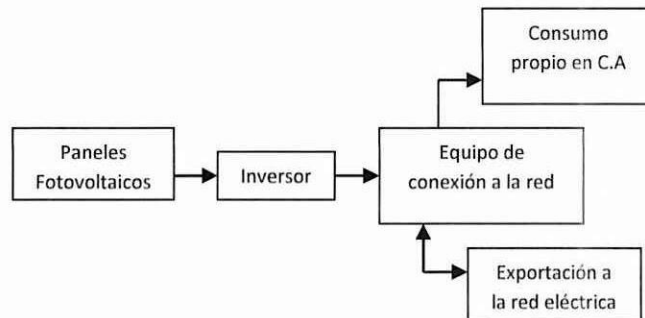
1.6.1. Sistemas conectados a la red

Según José Antonio Carta González (2009) manifiesta que: “Un sistema conectado a la red se compone, fundamentalmente, de los módulos fotovoltaicos



que integran el generador fotovoltaico, el inversor que convierte la corriente continua (CC) de los paneles en alterna (CA) y la inyectada en la red y por último, el contador de energía inyectada a la red. ". Pág. 286

GRÁFICO 1. 9 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

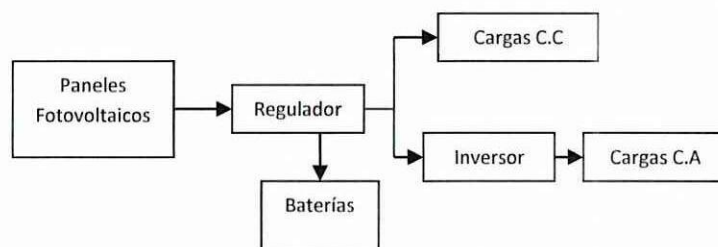


ELABORADO POR: Los Investigadores

1.6.2. *Sistemas aislados de la red*

Según José Antonio Carta González (2009) señala que: “En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos autónomos constituyen ya la solución de fondo y son parte fundamental e imprescindible para la garantía del fluido eléctrico y de las comunicaciones. A diferencia de los sistemas conectados a la red, los sistemas autónomos requieren de las baterías para almacenar energía que será consumida en los ciclos diarios." Pág. 279,280.

GRÁFICO 1. 10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA RED



ELABORADO POR: Los Investigadores

Aunque los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos constituyen una aplicación insustituible en multitud de las aplicaciones aisladas donde se requiere electricidad.

Este tipo de sistemas son más característicos en comunidades rurales o zonas aisladas, en las cuales no es económicamente viable construir una red eléctrica para su interconexión con la red convencional. Estos sistemas están formados por los siguientes componentes:

- Panel o conjunto fotovoltaico
- Banco y cargador de baterías
- Dispositivos de interconexión y protección
- Inversor de corriente (opcional, para cargas en CA)

A diferencia de los sistemas conectados a la red, adicionalmente requieren de un banco de baterías y un regulador para almacenar la electricidad que será utilizada en otros momentos en los que el sistema fotovoltaico no puede generarla (durante las noches).

1.7. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar.

Los sistemas aislados de la red se pueden dividir en diferentes grupos de acuerdo a la operación que estos pueden tener, por lo que se pueden clasificar en:

- Tipos de sistemas fotovoltaicos aislados de la red
- Sistemas aislados de corriente continua (CC) para aplicaciones domésticas
- Sistemas aislados de corriente alterna (CA) para aplicaciones domésticas

➤ Sistemas aislados para usos productivos: dentro de este sistemas también tenemos:

- Bombeo
- Refrigeración de alimentos
- Comunicación
- Iluminación

1.7.1. Tipos de sistemas fotovoltaicos aislados de la red

El uso más frecuente y generalizado de la energía solar fotovoltaica es la electrificación rural de viviendas, a través de sistemas aislados de CC.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

El voltaje nominal es 12 ó 24 V de corriente continua: esto implica que solamente se puede usar cualquier equipo eléctrico que trabajen a 12 ó 24 V.

El coste comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares: esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación, los equipos son de baja capacidad. Por estas razones, el coste inicial del sistema comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de sistemas domésticos aislados.

1.7.2. Sistemas aislados de corriente alterna (CA) para aplicaciones domésticas

Los sistemas aislados de CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema aislado de CC. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 ó 24 V de corriente continua a 220 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CC.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- 1.- El sistema puede proveer energía tanto a 220 V de corriente alterna como a 12 ó 24 V de corriente continua: La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 220 V, los cuales son más comunes y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 ó 24 V.
- 2.- El coste del sistema es relativamente más alto: Es lógico que al agregar un componente más (el Inversor) al sistema básico CC, los costes iniciales se incrementan.

1.7.2.1. Sistemas aislados para usos productivos.

La energía solar fotovoltaica también se la puede dar uso en sistemas productivos y comerciales, los mismos que se detallan a continuación:

- Bombeo de agua y cercas eléctricas para ganadería.
- Refrigeración de alimentos.
- Comunicación.
- Iluminación.

Por lo que se pondrá mayor énfasis a lo que se refiere al sistema solar fotovoltaico para bombeo de agua, el mismo que a continuación lo detallamos.

1.7.2.2. Un sistema de bombeo fotovoltaico.

Existe una gran demanda de agua en el mundo, sobre todo en muchas granjas y pequeños pueblos situados en países del tercer mundo, con lo que la creación de proyectos de bombeo de agua mediante energía solar resulta muy importante.

El bombeo solar aparece a raíz del desarrollo de la energía solar fotovoltaica. Este tipo de energía se usa en lugares de difícil acceso para la energía eléctrica convencional. Tiene la ventaja de ser un medio no contaminante, lo que con el cambio climático y la conciencia medioambiental, la hacen aún más viable.

- **Necesidades energéticas de los sistemas de bombeo:** La demanda energética para el bombeo de agua, está asociada a dos variables:
- **La demanda de presión del sistema:** Es la presión necesaria para superar una determinada altura más la compensación de las pérdidas de carga.
- **La demanda del caudal:** Es la demanda de agua de nuestra instalación.

$$\text{Potencia de la bomba} = \rho_{\text{agua}} * g * Q * H \quad \text{Ec. 1.3}$$

ρ_{agua} = densidad del agua (Kg/m³)

Q = Caudal volumétrico (m³/Sg)

g = Gravedad (m/Sg²)

H = Metros de columna de agua

Esta demanda se verá afectada por los rendimientos de la energía solar y del motor- bomba. Otro aspecto importante a tener en cuenta es el análisis de las demandas hidráulicas, que consiste en estimar el volumen de agua a bombear según sea la demanda que se base en una estimación del consumo de agua diario en diferentes periodos del año. Este consumo, dependerá del número de habitantes, del crecimiento de población futuro, y el consumo de agua para cada aplicación.

1.8. Sistemas típicos de bombeo fotovoltaico

Según José Ma De Juana. (2009) Menciona que: “Los sistemas de bombeo se puede clasificar en función del tipo de bomba, centrífuga o de desplazamiento positivo, y por su lugar de ubicación, de superficie, flotante o sumergida. También

se puede clasificar según el motor utilizado de corriente continua (CC) o de corriente alterna (CA) y dependiendo de si usan o no baterías". Pág. 135.

Las configuraciones más habituales son:

- Unidades motor – bomba instalada en superficie con bombas centrífugas o de desplazamiento positivo.
- Motor – bomba flotante centrífuga
- Motor – bomba sumergible de desplazamiento positivo.
- Motor – bomba centrífuga de uno varios cuerpos.

1.8.1. Diseño y dimensionado de un sistema de bombeo fotovoltaico

Según José Ma De Juana. (2009) establece que: “Para dimensionar el sistema de bombeo se parte del conocimiento de las necesidades diarias de agua., a partir de los datos de energía solar disponible se diseña el generador. Posteriormente se determina el caudal máximo que se pueda proporcionar el equipo para dimensionar el sistema.” Pág. 136.

1.8.1.1. Dimensionado de las instalaciones aisladas de la red eléctrica.

Se denomina dimensionado de una instalación solar fotovoltaica a una serie de procesos de cálculo destinados a lograr optimizar el uso y la generación de la energía eléctrica de origen solar, alcanzando un balance adecuado entre ellos, desde los puntos de vista técnico y económico.

La idea fundamental a tener en cuenta en el diseño de un sistema fotovoltaico es la de llegar a obtener un balance equilibrado entre la energía generada y la consumida por la carga, más las pérdidas del sistema. Este equilibrio debe alcanzarse incluso en las condiciones de trabajo más desfavorable que se prevean.

Existen diferentes sistemas de cálculo, desde los más sencillos, realizados de forma manual, hasta los más sofisticados, realizados con ordenador, pero todos se basan en un procedimiento similar al siguiente:

- Establecimiento del tipo de instalación y de los bloques funcionales que intervienen en ella.
- Cálculo de la energía recibida en el lugar de instalación y establecimiento de los parámetros que influyen en la captación.
- Establecimiento del periodo anual de trabajo de la instalación, para el que se deben dimensionar los diferentes elementos.
- Establecimiento del periodo de autonomía de la instalación.
- Cálculo de la energía consumida por las cargas a las que suministra energía la instalación.
- Dimensionado de los diferentes elementos constructivos de la instalación: generador, regulador, acumulador, inversor, convertidor, etc.

1.8.1.2. Estimación de la energía consumida por la carga.

La mayor dificultad en el diseño de una instalación fotovoltaica es la determinación correcta del valor energético a generarse y acumularse, si existe un banco de baterías. Cuando estos valores son óptimos, el sistema resultante tendrá el menor costo y el mayor grado de fiabilidad posibles.

La estimación correcta de la energía consumida por el sistema fotovoltaico sólo es sencilla en aquellas aplicaciones en las que se conocen exactamente las características de la carga.

Además el cálculo de la energía consumida debe incluir las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, convertidor, etc.) y sus rendimientos respectivos en los momentos en que intervienen en el proceso de suministrar energía eléctrica a la carga. La energía

diaria consumida (**Econ**) se debe calcular de la forma más simple y eficiente posible.

1.8.2. Estimación de pérdidas

Para el cálculo de las pérdidas se debe tomar el valor de rendimiento global **R_G** de la instalación fotovoltaica definido como:

$$R = [1 - (k_b + k_c + k_r + k_x)] * \left[1 - \frac{k_A \times D_{AUT}}{P_d} \right] \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

K_a: 0,005 Auto descarga diaria de batería. A falta de datos del fabricante se recomienda utilizar un 0,5% diario. Otro factor a considerar es que este coeficiente aumenta con la temperatura, y varía con el tipo de batería, estimando el coeficiente de descarga diaria de:

- 0,002 para las de Ni Cd o de Pb Ca sin mantenimiento.
- 0,005 para las baterías estacionarias de plomo-ácido, (de uso normal en instalaciones solares).
- 0,012 para cualquier otro tipo o muy deteriorada por el uso.

K_b = Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador:

0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas.

0,1 en sistemas con descargas profundas.

K_c = Coeficiente de pérdidas en el inversor:

0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas.

0,1 para condiciones de trabajo lejos de las óptimas.

K_r = Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.):

El intervalo de valores de este parámetro que se toma como referencia es 0,05

< K_v < 0,15.

K_x = Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

0,002 para baterías de baja autodescarga (Ni-Cd).

0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales).

0,012 para baterías de alta autodescarga (SLI).

D_{AUT} = Días de autonomía de la instalación: 3 – 5 días como valores de referencia.

P_d = Profundidad de descarga diaria de la batería:

No deberá exceder el 80% de la capacidad nominal del acumulador.

1.8.3. Dimensionamiento de Paneles Solares

Un concepto importante necesario para realizar el dimensionamiento de la cantidad de paneles necesarios en la instalación es el número de horas pico solares, *HPS*, que se refiere al número de horas diarias de luz solar equivalentes referidas a una irradiancia constante $I = 1\text{kWh/m}^2$, a la cual se mide siempre la potencia de los paneles.

Para el cálculo de la potencia de los paneles y el número de estos, a utilizarse, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. El lugar donde va a ser instalado para el cálculo de la radiación solar promedio mensual, tomando desde bases de datos, que den valores confiables o midiendo los datos con un equipo de medida adecuado.
2. La potencia total del generador se calcula, tomando en cuenta la demanda de energía total del sistema (dia) , además de un coeficiente de pérdidas $R_{(cte)}$ que se toma en cuenta durante el cálculo del método 2.

$$\text{Método 1} \quad A_r = 1200 \times \frac{E(\text{dia})}{HPS} \quad \text{Ec. 1.5}$$

$$\text{Método 2} \quad E = \frac{E_{(dia)}}{R_{(cte)}} \quad \text{Ec. 1.6}$$

El número de paneles del generador se calcula con la potencia nominal N_p del panel a ser utilizado y la potencia del generador P_G . Como normalmente el resultado de número de paneles va a ser un número decimal, se recomienda la opción por exceso, es decir se debe aproximar al entero superior, excepto si el decimal se aproxima mucho al entero inferior, en cuyo caso se coloca el valor del entero; por ejemplo: si se obtuvo 1.5, entonces se debe poner 2 paneles, y si se obtuvo 1.1, entonces se debe poner 1 panel.

Por lo tanto y para la verificación del cálculo óptimo y apropiado del número de paneles se tuvo que tener en cuenta dos fórmulas de acuerdo al método que se eligió en el cálculo, las mismas que se detallan a continuación:

$$\text{Método 1} \quad N_p = \frac{A_r}{P_{(panel)}} \quad \text{Ec. 1.7}$$

$$\text{Método 2} \quad N_p = \frac{E}{\eta_{(panel)} \times Wp_{(panel)} \times HPS} \quad \text{Ec. 1.8}$$

1.8.4. Dimensionado del acumulador

Para dimensionar el acumulador, se debe calcular el tamaño en kWh haciendo relación a los días de autonomía del sistema D_{AUT} por la energía que consume durante todo el día en un periodo determinando $E_{(dia)}$, con el rendimiento óptimo de la batería y la profundidad de descarga de la batería $\eta_{(Bat)}$ y $Pd_{(Bat)}$ respectivamente según uno de los métodos aplicados para el dimensionamiento del banco de baterías:

Método 1

$$\text{Tamaño} = \frac{D_{AUT} \times E_{(dia)}}{\eta_{(Bat)} \times Pd_{(Bat)}} \quad \text{Ec. 1.9}$$

Para determinar el número total de baterías y la capacidad de estas se hace relación al tamaño con respecto a la capacidad nominal de la batería A_h (día) y al voltaje de funcionamiento la misma V_{cc} , teniendo en cuenta que el sistema podría ser de $12V_{cc}$, $24V_{cc}$ y $48 V_{cc}$ de esta manera se determina el número total de baterías que consta el sistema según el método 1.

$$N_{(Bat)} = \frac{\text{Tamaño}}{A_{h(Bat)} \times V_{CC}} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Por otro lado al aplicar el método 2, hace relación a los días de autonomía D_{AUT} y la energía consumida durante el día E (día), con respecto de la profundidad de descarga de las baterías P_d (Bat), dependiendo el tipo a utilizar como se detalla en la tabla 1.8.

TABLA 1. 8 MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BATERÍA

Tipo de Batería	Máxima Pd (%) Recomendado	Número de Ciclos NOC a 50% Pd
Tubular o estación abierta	80	3600
Estación Sellada	60	600 - 1200
Plomo ácido solar abierta	50	900 - 1000
Plomo ácido sellada AGM	60	500 - 800
Plomo ácido sellada GEL	60	600 - 950
Ión Litio	100	Más de 1000
Sodio Azufre (NaS)	80	Más de 4000

Nota: La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, a una PdD del 50%.

FUENTE: <http://www.cicp-ec.com/pdf/3.%20ENERGIA%20RENOVABLE-2.pdf>

Método 2

$$N_{(Bat)} = \frac{D_{AUT} \times E_{(dia)}}{P_{d(Bat)} \times V_{CC}} \quad \text{Ec. 1.11}$$

Por consiguiente, se determina el número total de baterías tomando en cuenta la respuesta de la ecuación anterior y dividiendo para la capacidad nominal de las baterías A_h (día), como se muestra a continuación:

$$N_{(Bat-total)} = \frac{N_{(Bat)}}{A_h(Bat)} \quad \text{Ec. 1.12}$$

La energía demandada al acumulador es prácticamente la misma que al generador, salvo que no es necesario considerar el rendimiento del cableado entre el generador y el acumulador. Como su valor es pequeño, en torno al 3%, consideraremos ambas como iguales.

1.8.5. Dimensionado del regulador

Para dimensionar el regulador debemos calcular la corriente máxima que circula por la instalación, ya sea la producida por el generador o la demandada por la carga. Esta corriente máxima es la que debe manejar el regulador. En función de esta corriente se deberá elegir un regulador capaz de manejar los niveles de corriente y tensión requeridos.

La intensidad máxima que puede producir el generador viene dada por la ecuación:

$$I_{mpp} = \frac{Wp}{Vcc} \quad \text{Ec. 1.13}$$

Dónde: **I_{mpp}** es la intensidad pico del generador en amperios (A); **Wp** es la potencia pico del generador en vatios-pico (**Wp**); **Vcc** es la tensión del punto de máxima potencia en voltios (V).

La intensidad que consume la carga se puede calcular considerando que todos los consumos se producen al mismo tiempo. Por lo tanto, utilizaremos la potencia total consumida por la carga:

$$I_{maxC} = \frac{P_{max}}{Vca} \quad \text{Ec. 1.14}$$

Dónde: **I_{maxC}** es la intensidad máxima que puede absorber la carga, cuando todos los elementos de consumo funcionan simultáneamente; **$P_{máx}$** es la potencia máxima que puede disipar la carga cuando todos los elementos de consumo funcionan simultáneamente; **V_{ca}** es el voltaje al que funcionan los elementos de la carga.

También deberemos tener en cuenta los voltajes de trabajo de las baterías, del generador y de la carga, para establecer los voltajes de trabajo del generador.

1.8.6. Dimensionado del inversor

Las características de funcionamiento de un inversor son:

- La potencia nominal, que debe cubrir la demanda de la carga.
- La tensión nominal de entrada, que no será siempre constante, por lo que el inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas de entrada dentro de un determinado margen.
- La tensión nominal de Salida, que puede ser fija o no, según el inversor actúe como fuente de tensión o como fuente de corriente. No obstante, lo más común es que el inversor actúe como fuente de tensión.
- La frecuencia de operación, que debe ser muy estable para evitar funcionamientos incorrectos de los equipos.

Para dimensionar el inversor debemos tener en cuenta la máxima potencia que puede demandar la carga. De tal manera que elige un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a esta potencia máxima demandada por la carga.

No obstante, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para hacerlo trabajar en la zona donde tiene mayores rendimientos.

1.8.7. Dimensionado del conductor

El dimensionado del cableado debe realizarse teniendo en cuenta los valores máximos admisibles de caída de tensión en cada parte de la instalación. El no considerar correctamente esta cuestión puede suponer importantes pérdidas de energía en el sistema y averías en los equipos.

Es necesario conocer que para garantizar el funcionamiento de la instalación la caída de voltaje en los ramales no debe sobre exceder el 3% y en todo el sistema ser menor al 5%.

La resistencia de un conductor viene dada por las siguientes ecuaciones.

$$R = \frac{L}{(\rho \times S)} \quad \text{Ec. 1.15}$$

Dónde:

R = Resistencia en ohmios

L = Longitud en metros

S = Sección del conductor en mm

ρ = Conductividad (inversa de la resistividad)

La misma resistencia de un conductor se puede definir como:

$$R = \frac{(V_a - V_b)}{I} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Dónde:

$V_a - V_b$ es la diferencia de potencial entre los puntos a y b; I es la intensidad eléctrica.

Luego, sustituyendo, resulta que:

$$\frac{(V_a - V_b)}{I} = \frac{L}{(\rho \times S)} \quad \text{Ec. 1.17}$$

Donde el valor constante de la resistividad ver tabla 1.9, para conductores de cobre es:

TABLA 1. 9 RESISTIVIDAD DE ALUMINIO Y COBRE

Material	Resistividad (en 20 °C-25 °C) ($\Omega \cdot m$)
Plata	1,55 x 10-8
Cobre	1,71 x 10-8
Aluminio	2,82 x 10-8

FUENTE: es.wikipedia.org/wiki/Resistividad

Por lo tanto despejando la sección del conductor es:

$$\delta = \frac{1}{\rho} = 56 \quad \text{Ec. 1.19}$$

$$S = \frac{2LI}{56(V_a - V_b)} \quad \text{Ec. 1.20}$$

Dónde:

S = Sección en mm²

L = Longitud en metros hasta el receptor

I = Intensidad en amperios

La caída de tensión se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, que variara entre los equipos que serán interconectadas. Va-Vb = Caída de tensión en voltios, como se indica en la tabla 1.10.

TABLA 1. 10 CAIDAS DE VOLTAJE CONDUCTOR COBRE AISLADO PARA BAJO VOLTAJE.

Conductor calibre (AWG)	Factor FCV(KVA-m)	
	120V 2 Hilos	240/120V 3Hilos
6	54	215
4	81	335
2	128	510

FUENTE: Guías de Diseño de la Empresa Electrica Ambato Reguional Centro Norte S.A

Por lo que la selección se lo realiza de acuerdo a la tabla 1.5, tomando en cuenta el valor calculado en la ecuación anterior donde se obtiene la sección S en mm^2 , y se lo hace relación con los valores siguientes.

1.8.8. Sistemas de acondicionamiento de potencia

Como ya se ha indicado, la función de los sistemas de acondicionamiento de potencia es mantener el sistema de bombeo fotovoltaico lo más cerca posible del punto de máxima potencia del generador, transfiriendo así la máxima potencia posible al motor.

Los sistemas de acondicionamiento de potencia pueden estar constituidos por convertidores CC/CC, que siguen el punto de máxima potencia del panel solar, produciendo elevados valores de la corriente para bajos valores de irradiación.

Inversores de CC/CA, que transforman la corriente continua en corriente alterna para ser utilizada por motores de corriente alterna. O baterías, que fijan las condiciones de funcionamiento eléctrico, al suministrar un voltaje fijo independientemente de la cantidad de irradiación.

1.8.9. Motores para bombeo

El motor es el componente del sistema de bombeo encargado de transformar la energía eléctrica generada por los paneles solares en energía mecánica. En función del tipo de motor empleado se podrá distinguir entre los sistemas de bombeo con motores de CC y los sistemas de bombeo con motores de CA.

Las características que definen un motor alimentado por corriente continua (CC) son su voltaje, potencia nominal, velocidad nominal y par motor. Las escobillas son la parte más delicada del motor de corriente continua. Estas escobillas presentan el problema de desgastarse con el tiempo a causa del giro constante del rotor.

En el caso de los motores de corriente alterna, se distinguen dos componentes fundamentales el rotor y el estator, caracterizados por su voltaje nominal, potencia nominal, velocidad de giro y par motor. Los motores de corriente alterna pueden sufrir pérdidas de potencia a causa de un factor de potencia (desfase entre corriente y voltaje) inferior a la unidad. Normalmente, estos sistemas de bombeo constan de generador fotovoltaico, motor de CA, bomba, inversor de CC/CA y, opcionalmente, acumulador. Por su simplicidad, robustez, bajo mantenimiento y bajo coste, estos sistemas son preferibles a los sistemas de bombeo con CC. Se recomienda la utilización de estos sistemas de bombeo en instalaciones que requieran potencias medias y altas.

1.8.10. Bombas de agua

La bomba es el sistema encargado de transformar la energía mecánica generada por el motor en energía hidráulica. Los tipos de bombas normalmente utilizados en sistemas de bombeo fotovoltaico son las volumétricas y las centrífugas.

1.8.10.1. Bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas tienen un sistema de aspas denominado impulsor, que por medio de la fuerza centrífuga, arrastra el agua por una abertura próxima a su eje de giro y la expulsa radialmente a gran velocidad.

Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie. Las sumergibles son capaces de bombear el agua hasta 60 metros de altura, dependiendo del número y tipo de impulsores.

Las bombas centrífugas de superficie se instalan a nivel del suelo y son más fáciles de mantener y utilizar, aunque no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros.

TABLA 1. 11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS DE SUPERFICIE

Ventajas	Desventajas
Son fáciles de conseguir	No son capaces de succionar más de 8 metro
Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena	Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas
Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales	Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos
Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA	Rendimiento máximo en torno al 15%
Manejan altos flujos	
Manejan cargas dinámicas altas	

ELABORADO POR: Los Investigadores

Hay una gran variedad de bombas centrifugas sumergibles. La mayoría de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se emergen completamente. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.

TABLA 1. 12 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS SUMERGIBLES

Ventajas	Desventajas
Son fáciles de conseguir.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT
Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.	Se dañan si trabajan en seco
Pueden utilizar el agua como lubricante.	Deben extraerse para darles mantenimiento
Cuentan con motores de CC de velocidad variable o de CA.	Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas
Manejan altos flujos	Rendimiento máximo en torno al 15%.

Operan a cargas dinámicas grandes	
Tienen un diseño modular que les permite obtener más agua al agregar más módulos	

ELEBORADO POR: Los Investigadores

1.8.10.2. Bombas volumétricas.

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales a grandes alturas. Este tipo de bombas en cada ciclo mueve una pequeña cantidad de agua.

La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben disponer de un controlador de corriente o convertidor que proporcione al motor siempre la máxima potencia, ver tabla 1.13.

TABLA 1. 13 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS VOLUMÉTRICAS

Ventajas	Desventajas
Soportan cargas dinámicas muy grandes	No dan grandes flujos.
La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón	Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos
Permiten bombear hasta a 200 m de altura	La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro
Rendimiento máximo en torno al 40%.	No toleran arenas o sedimentos

ELABORADO POR: Los Investigadores

1.9. Evaluación del recurso solar

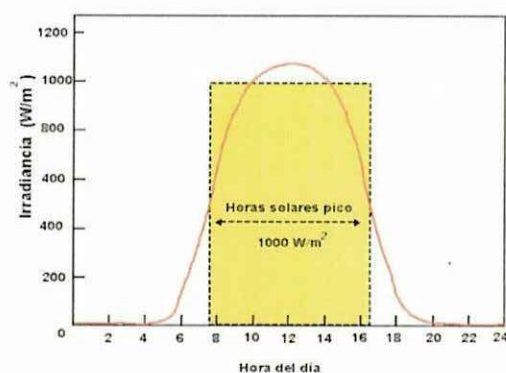
El rendimiento de una instalación de bombeo de agua mediante paneles solares fotovoltaicos, está asociado en su mayor parte, al efecto de la nubosidad, aunque pueden influir también otros aspectos, como la altura, el contenido y tipo de aerosoles o partículas en suspensión en la atmósfera. Con las tablas de radiación obtenidas, es posible definir la energía que se obtendrá del sol y el ángulo de inclinación que deberán de tener los paneles, para así obtener el mayor nivel de energía del sol posible.

Las tablas de radiación solar ya existen y se pueden encontrar radiaciones de cualquier país y cualquier provincia del planeta y están al alcance de cualquier persona que las necesite.

1.10. Horas pico solar

Las horas pico solar, son el número de horas de luz solar equivalentes en función de la Irradiancia I , la misma que se define como una constante que es igual a 1Kw/m^2 , tomando en cuenta a lo que se refiere el fabricante de acuerdo a la potencia de los paneles solares. Este es un método estándar para conocer la curva diaria de irradiación solar, como se muestra en el gráfico 1.10.

GRÁFICO 1. 11 CURVA DE HORAS PICO SOLAR



FUENTE: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html



Dado que la Irradiación H [$Kw \cdot h/m^2$], es igual al producto de la irradiancia de referencia I , por la hora pico solar **HPS**.

$$H = \frac{Kw \times h}{m^2} = 1 \left[\frac{Kw}{m^2} \right] \times HPS \quad \text{Ec. 1.21}$$

$$H = \frac{Kw \times h}{m^2} = HPS \left[\frac{Kw}{m^2} \right] \quad \text{Ec. 1.22}$$

Dónde:

H = Irradiación solar diaria incidente

I = Irradiancia solar (densidad de potencia)

HPS = Horas Pico Solar Equivalente

La cantidad de energía producida por un panel a lo largo de todo el día, es equivalente a la energía que se produciría en las horas de pico solar si el panel opera a su potencia máxima o nominal (Wp).

1.11. Medición de la irradiancia solar

La irradiación corresponde al valor acumulado de irradiancia en un intervalo de tiempo determinado. Esta magnitud por su importancia es la de mayor interés al momento de dimensionar sistemas de generación fotovoltaica, pero el que más necesita de un estudio es el sistema de generación fotovoltaica aislada de la red. La medida es la magnitud se lo puede realizar a través de redes de estación meteorológicas, que existen en el país, o a su vez de ecuaciones matemáticas que permiten el cálculo de esta importante magnitud. Existe también el atlas de la radiación y bases de datos meteorológicos, que disponen de larga serie de datos de irradiación; sin embargo estas fuentes de información son muy escasas.

Existen diversos instrumentos para determinar el valor de la radiación solar; en algunos casos el dato es entregado en forma de irradiancia o irradiación. A continuación mencionamos los principales equipos de medición solar.

1.11.1. Piranómetro

Este equipo mide la irradiancia global; su principio de funcionamiento se basa en dos sensores de temperatura, en los cuales uno de ellos se encuentra libremente expuesto a la radiación solar en un plato de absorción negro, y el segundo sensor se encuentra protegido de la misma. Estando los dos sensores a iguales condiciones, exceptuando la exposición directa a la radiación; la diferencia de temperatura entre ellos es directamente proporcional a la irradiancia, por lo cual se obtiene la medición deseada.

FIGURA 1. 3 PIRANÓMETRO



FUENTE: <http://www.apogeeinstruments.co.uk/pyranometer-separate-sensor-with-handheld-meter-mp-200/>

Los Piranómetro están clasificados por su precisión, cuentan con sensores de precisión científica, así como sensor para mediciones de rutina. De acuerdo con la norma ISO (Organización Internacional de Estándares) 9060:1990 hay tres categorías, como se muestra en tabla 1.14.

TABLA 1. 14 CLASIFICACIÓN DE LOS PIRANÓMETROS

Especificación	Categoría de Piranómetro		
	Patrón secundario ISO 9060 (Alta calidad OMM)	Primera clase ISO 9060 (Buena Calidad OMM)	Segunda clase ISO 9060
Tiempo de respuesta (tiempo para alcanzar 95% de la respuesta) ISO & OMM	< 15 s	< 30 s	< 60 s
Corrimiento del cero (zero offset) Respuesta a una radiación térmica neta de 200 W/m ² . Respuesta a una cambio de temperatura de 5 K/h	< 7 W/m ² <2W/m ²	< 15 W/m ² < 4 W/m ²	< 30 W/m ² < 8 W/m ²
Apartamiento de la estabilidad (porcentaje de cambio anual en la constante de calibración)	< 0.8 %	< 1.5 %	< 3 %
Apartamiento de la linealidad (debido a cambios de la Irradiancia dentro del rango de 100 a 1000 W/m ²)	< 0.5 %	< 1 %	< 3 %
Respuesta direccional (error debido a suponer que la respuesta a incidencia normal a 1000 W/m ² es válida para todas las direcciones)	< 10 W/m ²	< 20 W/m ²	< 30 W/m ²
Selectividad espectral ISO OMM	< 3 % < 2 %	< 5 %	< 10 %
Respuesta a la temperatura (error debido al pasar de la horizontal a un plano vertical con 1000 W/m ²)	< 2 %	< 4 %	< 8 %
Respuesta de inclinación	< 0.5 %	< 2%	< 5 %
Incerteza alcanzable (95%) Totales Horarios OMM Totales diarios OMM	3 % 2 %	8 % 5 %	

FUENTE: Energías Renovables y Ambiente, Rosario, Octubre 2012

1.11.2. Heliógrafo

Los equipos instalados inicialmente con el fin de evaluar de alguna manera la radiación solar global fueron los heliógrafos de Campbell-Stokes (destinados a medir las horas diarias de insolación o de brillo de sol, también conocida como

Heliofanía efectiva), otros en cambio fueron los piranógrafos tipo Robitzsch o piranómetros esféricos de Bellani (también llamados lucímetros a destilación) a fin de registrar la radiación global incidente a diario (o semanalmente) sobre un plano horizontal.

FIGURA 1. 4 HELIÓGRAFO



FUENTE: http://es.wikipedia.org/wiki/Heli%C3%B3grafo_%28meteorolog%C3%ADa%29

- **Modo de funcionamiento**

Una esfera de vidrio, que actúa de lente colectora, produce marcas de quemadura sobre una tira de cartón que va introducida en las ranuras de la porta tiras que circunda concéntricamente la esfera de vidrio.

Según la intensidad de la irradiación solar, dichas marcas resultan más o menos intensas.

Las tiras de cartón que están provistas de graduación horaria

- **Bandas**

Según la época del año se utilizan tres tipos distintos de bandas, para el hemisferio norte:

a) Desde comienzos de marzo hasta mediados de abril y desde comienzos de septiembre hasta mediados de octubre (alrededor de cada equinoccio) se utilizan bandas rectas. Son llamadas bandas equinociales y se acoplan a las ranuras centrales del soporte.

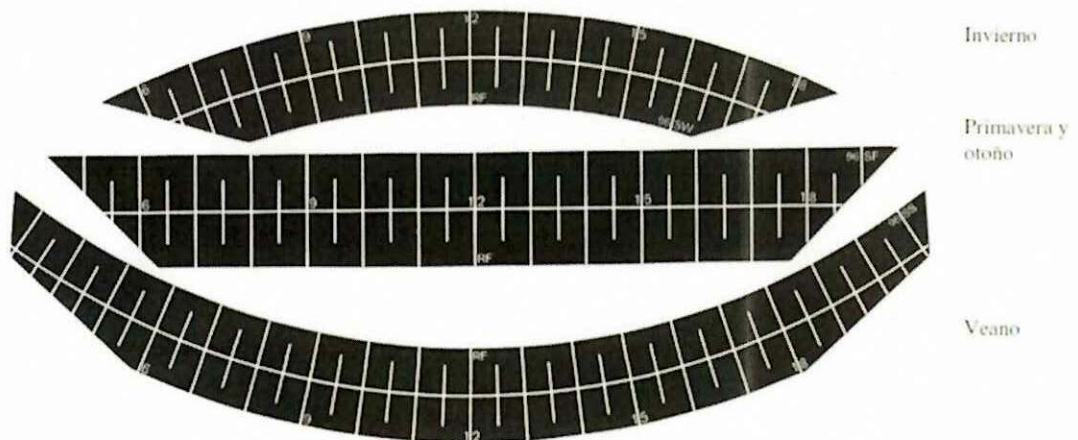
b) Desde octubre hasta fin de febrero se utilizan bandas curvadas cortas, que se colocan en las ranuras superiores.

c) El resto del año, de abril hasta agosto, se usan bandas curvadas medianas, colocadas entre las ranuras apertadas.

En el hemisferio sur se invierte el uso de las bandas en los períodos definidos arriba. Se tiene que cambiar de papel todos los días.

Las tiras de cartón que están provistas de graduación horaria, se usan como se indica en la figura 1.6

FIGURA 1. 5 BANDAS DE CARTULINA PARA HELIÓGRAFO



FUENTE: <http://www.rfuess-mueller.de/241-0S.pdf>

1.11.3. Pirheliómetro

Los pirheliómetros sirven para medir la radiación solar directa. Tienen una abertura colimada y una cara de recepción que debe permanecer siempre normal a los rayos solares. El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo, a través de un tubo largo; este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del Sol. El error provocado por una abertura excesiva, aumenta en proporción a la cantidad de radiación del cielo admitida.

Para, medir la radiación solar directa, se utiliza un pirheliómetro de incidencia normal, donde se dispone de un disco sensor negro localizado en la base de un tubo sellado y cubierto con barniz negro para absorber la radiación difusa, cuyo eje está alineado con la dirección de los rayos solares y de 5,5° de apertura. De esta manera, la radiación solar difusa es bloqueada.

FIGURA 1. 6 PIRHELIÓMETRO



FUENTE: <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-5>

1.12. Normas Fotovoltaicas

Según la IEC (Internacional Electrotécnica Comisión), Comité Técnico TC82 se estableció en 1981. Es el organismo internacional más importante en cuanto a fotovoltaica relacionada estandarización. Las principales tareas del TC82 es preparar normas internacionales para los sistemas de conversión fotovoltaica de la energía solar en energía eléctrica y para todos los elementos de todo el sistema de energía fotovoltaica como se indica en la tabla 1.15.

TABLA 1. 15 NORMAS FOTOVOLTAICAS

Módulo fotovoltaico	IEC 61215	Módulos FV de silicio cristalino para uso terrestre - Cualificación del diseño y homologación. Para los módulos de capa delgada se aplicarán al menos los procedimientos de certificación IEC-61646, SERI/TR-213-3624.
	UL 1703	Norma para la placa plana módulos y paneles fotovoltaicos.
Batería Solar	IEC 61427	Acumuladores para sistemas de conversión fotovoltaicos de energía - Requisitos generales y métodos de ensayo.
Controlador de Carga	IEC62093	Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y ensayos ambientales
	IEC 62509	Reguladores de carga de la batería para los sistemas fotovoltaicos - Rendimiento y funcionamiento.
Inversor DC/AC	IEC 61683 UL 1741	Sistemas fotovoltaicos - Acondicionadores de potencia - Procedimiento para la medida del rendimiento.
Sistemas Fotovoltaicos	IEC 60904	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica corriente-tensión de dispositivos fotovoltaicos
	IEC 61173	Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos (FV) productores de energía. Guía.
	IEC 61194	Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) autónomos
	IEC 61829	Medida en el sitio de características I-V.
	IEC 61836	Campos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino - and symbols Solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions
	IEC 62194	Equipos fotovoltaicos (FV) autónomos. Verificación de Diseño

ELABORADO POR: Los Investigadores

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

2.1. Análisis de Irradiancia Solar

La Universidad Técnica de Cotopaxi, además de brindar los conocimientos acerca de todo lo referente a la materia de ingeniería eléctrica, fomenta la producción de energía eléctrica por medio de energías alternativas (renovables), en este caso se centra el estudio en lo que compete a la Energía Fotovoltaica, por lo que se estudiará la factibilidad energética por medio del “Análisis de irradiancia solar para satisfacer la demanda eléctrica de un sistema de bombeo de agua por aspersión mediante un generador fotovoltaico, en la extensión Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el periodo 2014”.

2.1.1. Tipos de investigación

Los tipos de investigación utilizados para desarrollar el proyecto fueron:

2.1.1.1. Descriptiva.

Al aplicar este tipo de investigación se pudo determinar el nivel de energía que se puede obtener de la luz solar, los mismos que nos ayudarán para el dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

2.1.1.2. De Campo

Se eligió esta investigación ya que debemos recopilar y conocer los datos de irradiancia solar que se tiene en el lugar donde se pretende instalar nuestro sistema fotovoltaico.

2.1.2. Técnicas de investigación.

En esta investigación se utilizó la siguiente técnica de investigación:

2.1.2.1. La entrevista.

Según **Francisco Leiva Zea, 2009** dice que: "La entrevista es una técnica para obtener datos que consiste en un dialogo entre dos personas: el entrevistador (investigador) y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general una persona entendida en la materia de la investigación". Pág. 54.

Esta técnica de investigación se utilizará para obtener información en forma verbal necesaria para el desarrollo de nuestro proyecto.

La misma que ayudará para conocer el caudal de agua que se puede bombear, y el volumen de agua que se necesita almacenar. Además nos proporcionara el tiempo de funcionamiento diario y a que potencia trabaja dicho sistema.

La muestra que se toma para llevar a cabo la entrevista es mínima ya que no requiere de un cálculo previo ya que está limitada por un número muy bajo de operadores del sistema fotovoltaico por lo que la muestra se detalla a continuación:

- Un Administrador
- Cuatro Operadores

De tal forma que aplicando la entrevista a estas cinco personas involucradas se pueda recopilar información adecuada y precisa, la misma que va ayudar en lo que concierne al dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico aislado de la red. Por lo que a continuación se expone los datos e información obtenidos en la entrevista.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Entrevistado: Ing. Wilfrido Román.

Entrevistadores: Molina Guanochanga Wilson Orlando
Ortiz Cañar Víctor Hugo

Fecha: Martes, 24 de junio de 2014

PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1.- ¿Cuál es el tiempo de funcionamiento diario o semanal que opera este sistema de bombeo de agua?</p> <p>2.- ¿La bomba instalada en dicho lugar desde donde se toma la alimentación y a que voltaje funciona?</p> <p>3.- ¿Cuántos litros de agua se requiere bombear para almacenamiento y posteriormente para su consumo?</p> <p>4.- ¿Cuál es el uso que se da al agua que se bombea?</p> <p>5.- ¿Cree usted que es necesario la incorporación de energía alternativa (generación fotovoltaica) para satisfacer la demanda del sistema de bombeo de agua?</p>	<p>El tiempo de funcionamiento del sistema es de 4 a 5 horas de uso al día, con un voltaje existente en dicho lugar de instalación que es de 110V, este sistema debe ser capaz de bombear una cantidad de 500 litros de agua, el mismo que será utilizado como líquido para los animales que se tiene en la hacienda. La importancia de conservar el medio ambiente hace que sea más interesante y factible la incorporación de nuevas tecnologías para la producción de energía eléctrica.</p>

ELABORADO POR: Los investigadores

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Entrevistado: Sr. José Oña

Entrevistadores: Molina Guanochanga Wilson Orlando
Ortiz Cañar Víctor Hugo

Fecha: Martes, 24 de junio de 2014

PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1.- ¿Cuál es el tiempo de funcionamiento diario o semanal que opera este sistema de bombeo de agua?</p> <p>2.- ¿La bomba instalada en dicho lugar desde donde se toma la alimentación y a que voltaje funciona?</p> <p>3.- ¿Cuántos litros de agua se requiere bombear para almacenamiento y posteriormente para su consumo?</p> <p>4.- ¿Cuál es el uso que se da al agua que se bombea?</p> <p>5.- ¿Cree usted que es necesario la incorporación de energía alternativa (generación fotovoltaica) para satisfacer la demanda del sistema de bombeo de agua?</p>	<p>De acuerdo al número de animales que posee la hacienda el sistema funciona más o menos unas 4 a 5 horas de uso al día, el voltaje de alimentación es de 110V el que más se utiliza en este caso para el bombeo de agua, el sistema debe ayudar a almacenar por lo mínimo unos 500 a 600 litros, esta agua se utiliza para el consumo de los animales que se tiene en la hacienda. Si porque la incorporación de esos sistemas de producción de energía eléctrica debe ser importante y de mucho beneficio.</p>

ELABORADO POR: Los investigadores

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Entrevistado: Sr. Patricio Galarza.

Entrevistadores: Molina Guanochanga Wilson Orlando

Ortiz Cañar Víctor Hugo

Fecha: Martes, 24 de junio de 2014

PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1.- ¿Cuál es el tiempo de funcionamiento diario o semanal que opera este sistema de bombeo de agua?</p> <p>2.- ¿La bomba instalada en dicho lugar desde donde se toma la alimentación y a que voltaje funciona?</p> <p>3.- ¿Cuántos litros de agua se requiere bombear para almacenamiento y posteriormente para su consumo?</p> <p>4.- ¿Cuál es el uso que se da al agua que se bombea?</p> <p>5.- ¿Cree usted que es necesario la incorporación de energía alternativa (generación fotovoltaica) para satisfacer la demanda del sistema de bombeo de agua?</p>	<p>Según el uso y el número de animales pienso que debe funcionar entre 4 a 5 horas al día, con un voltaje existente de 110V que se toma desde de instalación del tablero de control de la bomba principal de bombeo, debe ser capaz de llenar un tanque de un volumen mínimo de 500 litros, el mismo que se utiliza para el consumo de los animales. Es muy importante el uso de energías alternativas en este sector ya que sería novedoso y a la vez útil para la hacienda.</p>

ELABORADO POR: Los investigadores

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Entrevistado: Sr. Fabián Sasig

Entrevistadores: Molina Guanochanga Wilson Orlando
Ortiz Cañar Víctor Hugo

Fecha: Martes, 24 de junio de 2014

PREGUNTAS	INTERPRETACIÓN
<p>1.- ¿Cuál es el tiempo de funcionamiento diario o semanal que opera este sistema de bombeo de agua?</p> <p>2.- ¿La bomba instalada en dicho lugar desde donde se toma la alimentación y a que voltaje funciona?</p> <p>3.- ¿Cuántos litros de agua se requiere bombear para almacenamiento y posteriormente para su consumo?</p> <p>4.- ¿Cuál es el uso que se da al agua que se bombea?</p> <p>5.- ¿Cree usted que es necesario la incorporación de energía alternativa (generación fotovoltaica) para satisfacer la demanda del sistema de bombeo de agua?</p>	<p>Debe funcionar alrededor de 4 a 5 horas al día, según criterio técnico y el más conocido puede ser de un voltaje existente de 110V, este sistema bombeo debe suministrar 500 litros de agua hacia el tanque de almacenamiento, esta agua se da uso como consumo para los animales. Debe ser interesante la colocación de energía solar en este lugar debido a que es muy interesante el uso de la energía del sol para bombear agua</p>

ELABORADO POR: Los investigadores

2.2. ANÁLISIS DE LA ENTREVISTA

Luego de haber realizado la entrevista y recopilado la información nos encaminamos a realizar el respectivo análisis.

A través de la entrevista realizada al Administrador y operadores de la Hacienda Salache perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, se conoció que el tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo de agua es de aproximadamente 5 horas al día, el mismo que debe llenar un tanque de almacenamiento de 500 litros diarios, con el fin de utilizar el líquido vital para los animales y a su vez ser utilizada para aspersión.

Además la Hacienda busca impulsar y conocer sobre la implementación de energías alternativas y estar en un mejoramiento continuo a través de la investigación de campo para recopilar datos acordes al lugar de estudio.

Mediante la entrevista realizada también se pudo conocer que la Hacienda posee una necesidad de aplicar nuevos sistemas alternativos de generación eléctrica para cubrir la demanda de un sistema de bombeo de agua, puesto que siempre está dependiendo de los sistemas de generación convencional.

La Hacienda ve conveniente en la energía solar como una alternativa de generación eléctrica ya que en el sector posee un potencial solar en días soleados aproximado de 4 a 5 horas de sol al día con una irradiancia que sobrepasa los 1000 W/m^2 , por lo que la factibilidad de implementar este tipo de energía es posible.

2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 2.1 muestra los datos tomados durante los tres meses de análisis de irradiancia solar, correspondientes a los meses: Enero, Febrero y Marzo. Los mismos que servirán como datos referenciales para el dimensionamiento del generador fotovoltaico.

TABLA 2. 1 DATOS PROMEDIO DE IRRADIANCIA (W/m^2)

Hora	Enero	Febrero	Marzo
	W/m^2	W/m^2	W/m^2
6:00	3,67	1	0
6:30	40,33	24,2	24,4
7:00	139,33	97,8	61,4
7:30	166	122,4	153,8
8:00	375,33	223	205
8:30	549,5	224,2	276
9:00	697,5	538,6	409,4
9:30	730	765	750,8
10:00	838	876	475,4
10:30	954	946,5	809,2
11:00	971,5	985	940
11:30	1037	1067	1255
12:00	970,5	1067	1022,5
12:30	1053,5	1052	1040,5
13:00	1048	1019,5	1070,5
13:30	1008,5	981,5	467,4
14:00	1002	951,5	476
14:30	952,5	871	415,2
15:00	805,5	896,5	229,4
15:30	709	650,6	376,8
16:00	531,5	356,2	219,8
16:30	423	106,2	159,2
17:00	114	89,6	112,8
17:30	51,33	57	24,6
18:00	9,33	14,8	17
18:30	0	0	0

ELABORADO POR: Los investigadores

Con la ayuda de la Estación meteorología Salache se cuenta con información de Heliofanía correspondientes a los años 2013 y 2014, se realiza un análisis comparativo de los mismos, se verifica que los meses más críticos de luz solar están en el primer trimestre del año, de ahí que se toma como datos de irradiancia medidos por el Piranómetro, durante los tres meses (Enero, Febrero y Marzo), donde se indica que son datos relevantes del lugar ya que este tipo de sistemas se los dimensionan con el mes más crítico.

La tabla 2.2 muestra los datos de irradiación mensual tomando como referencia un valor que va desde los 400 W/m^2 en adelante y multiplicando por 0.5 a cada valor señalado en la tabla 2.1 que corresponde a cada media hora de medición para obtener la energía total mensual.

TABLA 2. 2 DATOS PROMEDIO DE IRRADIACIÓN (Wh/m^2)

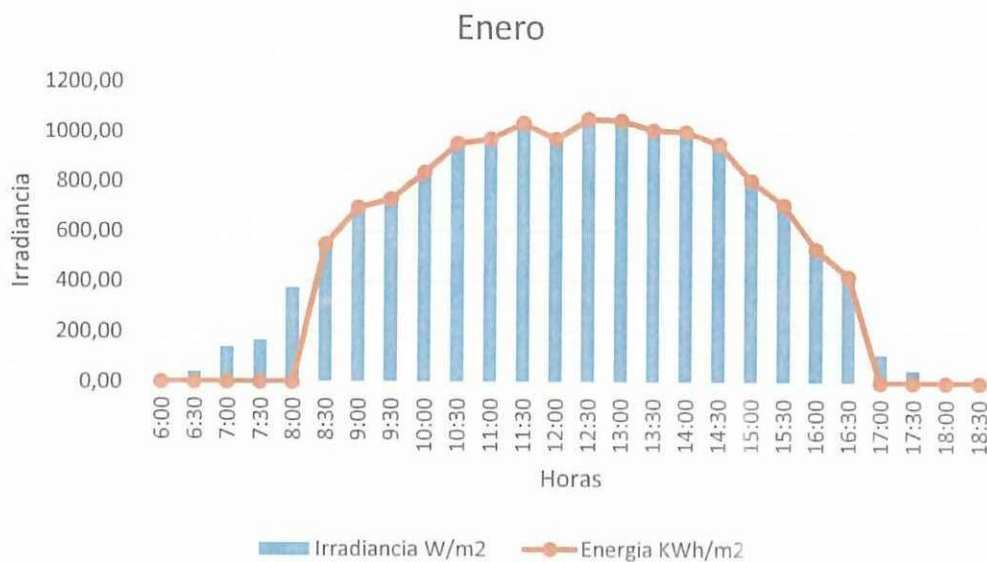
Irradiación Mensual Wh/m^2			
Horas	Enero	Febrero	Marzo
8:30	274,75		
9:00	348,75	269,3	204,7
9:30	365	382,5	375,4
10:00	419	438	237,7
10:30	477	473,25	404,6
11:00	485,75	492,5	470
11:30	518,5	533,5	627,5
12:00	485,25	533,5	511,25
12:30	526,75	526	520,25
13:00	524	509,75	535,25
13:30	504,25	490,75	233,7
14:00	501	475,75	238
14:30	476,25	435,5	207,6
15:00	402,75	448,25	
15:30	354,5	325,3	
16:00	265,75		
16:30	211,5		
Irradiación Mensual	7140,75	6333,85	4565,95
kWh/m^2	7,14075	6,33385	4,56595

ELABORADO POR: Los investigadores

En la gráfica 2.1 se puede observar la cantidad total de energía que se puede generar durante el mes de enero, tomando en cuenta un valor de 400 W/m^2 en adelante y haciendo referencia los datos que se obtuvieron cada media hora, dando

un valor de energía promedio mensual de **7,14075 kWh/m²** como se observa en la tabla 2.2.

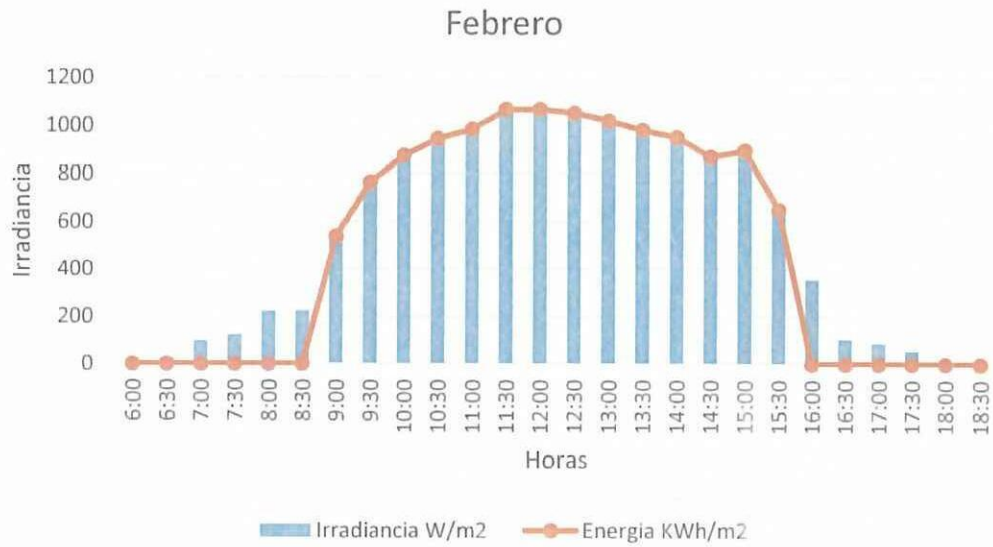
GRÁFICO 2. 1 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO kWh/m²



ELABORADO POR: Los Investigadores

En la gráfica 2.2 se puede observar la cantidad total de energía que se puede generar durante el mes de febrero, tomando en cuenta un valor de 400 W/m² como base y haciendo referencia los datos que se obtuvieron cada media hora, dando un valor de energía promedio mensual de **6,33385 kWh/m²** como se observa en la tabla 2.2

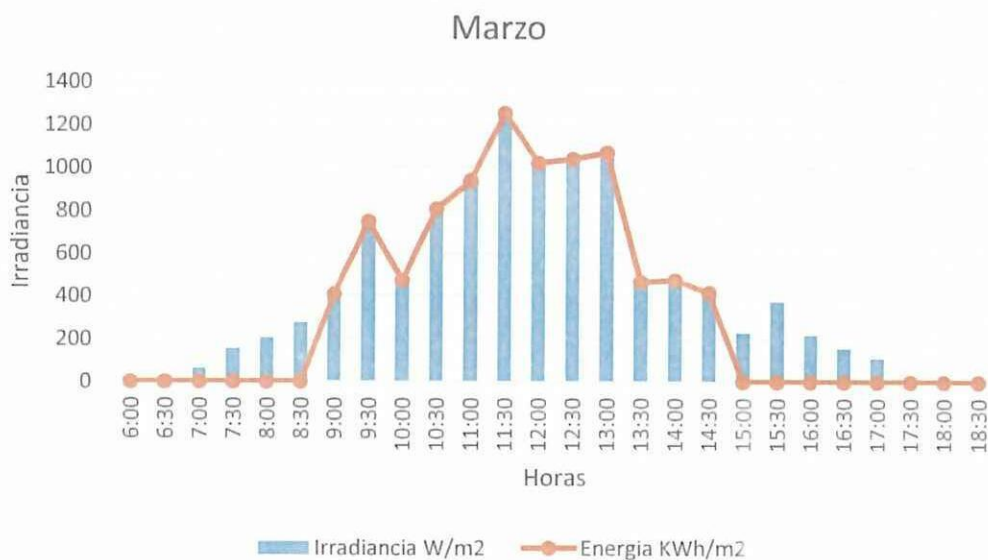
GRÁFICO 2.2 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO kWh/m²



ELABORADO POR: Los Investigadores

En la gráfica 2.3 se puede observar la cantidad total de energía que se puede generar durante el mes de marzo, tomando en cuenta un valor de 400 W/m² como base y haciendo referencia los datos que se obtuvieron cada media hora, dando un valor de energía promedio mensual de **4,56595 kWh/m²** como se observa en la tabla 2.2

GRÁFICO 2.3 CURVA DE ENERGÍA PROMEDIO kWh/m²



ELABORADO POR: Los Investigadores

Como otra fuente se tomó información del INAMHI, que registran datos de Heliofanía mensuales requeridos para el análisis de Heliofanía del año 2013 cuyo valor promedio es de **4,532 (horas/día) de brillo solar**, la información fue proporcionada por la estación meteorológica ubicada en Salache perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi. En la tabla 2.3 se muestran los datos de horas de brillo solar correspondientes al año 2013.

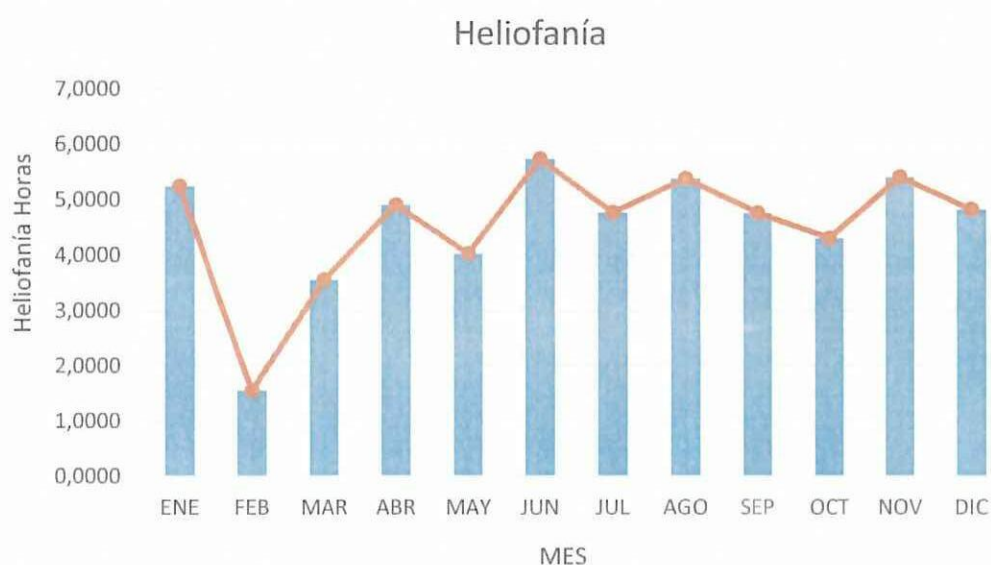
TABLA 2.3 DATOS DE HELIOFANÍA 2013, ESTACIÓN METEREOLÓGICA SALACHE

Días	Valores mensuales (horas)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	5,9	4	1,8	0,7	5,4	6,4	8,1	7,1	1,1	4,2	8,6	7,9
2	2,9	0,6	5,5	4,5	0	6,8	3,4	9,6	0	2,3	6,2	7,3
3	2,8	2,7	4,7	3,1	5,7	4,1	1,2	5,2	1,9	8,2	4,6	0,5
4	6,1	0	4,4	0	0	3,5	6,3	4,4	5,8	7,9	3,9	2,1
5	6,3	0,5	5,7	4,5	3,6	3,7	2,4	3,3	3,2	6	7,5	4
6	4,8	1,4	7,4	5,2	0	8,1	8	6,5	9,3	2,2	7,4	5,8
7	1,5	1,5	4,3	1,5	7,3	6,5	7,7	9	0	2,1	8,2	3,4
8	3,9	1,2	3,6	2,5	6	2,3	6,5	8,2	5,5	2,9	7	3,5
9	1,3	0	2,6	5,5	3,9	5	6,2	8,1	5,7	3	8,5	2,9
10	3,5	1,3	6,4	5,5	6,5	7,3	0,2	9,7	0	7,2	4,7	1,9
11	5,2	1,3	3,5	8,9	4,7	5,8	6,8	3	8	8,8	3,1	3,5
12	5,3	0,5	3,1	4,5	1,1	7,2	7	4,6	4,2	1,7	7,1	5,1
13	8,3	1,9	3,9	1,5	4,1	6,4	7,2	3	3	7,1	0,3	7,4
14	10,5	3,7	1,8	2,9	6	4	1,9	5,1	0,9	4,1	2,5	2,5
15	9,4	2,2	1,6	3,4	2,2	4,6	2,3	6,1	7,6	8,5	7,2	3,4
16	7,6	0	6,9	4,6	3,6	7,8	3,9	2,4	10,5	4,2	4,7	3,1
17	6,5	0,9	2	7,1	5,1	7,1	4,3	1,8	6	0	5,9	0,8
18	2,5	0,4	0	2	6,5	6,9	7,3	6,5	1,8	0,2	2,6	4,6
19	6,7	2,2	1,2	5,1	6,6	5,4	7	4	10,4	1,1	4,9	3,8
20	0	1	6,9	5,2	1,1	4,6	0	9,5	8,9	4,5	3	3,2
21	5,3	1	0,5	5,8	2,6	8,4	2,6	3,8	7	0,3	5	8,2
22	0,7	1,2	1,8	5,4	2	10,3	4,4	9,6	3,6	6,5	1,4	8,8
23	6,3	1,1	3,7	1,2	8,5	5,3	4,3	7,7	3	8,3	7,4	7,6
24	6,3	4,2	4,8	8	4,6	0,5	3,5	8,9	6,8	1	3,6	7,6
25	7,3	2	6,8	9,1	7,5	7,2	3,9	3,6	5	5,3	5,8	9,5
26	5,5	1,6	0	9,9	1,2	7,6	8,6	6,2	2,6	3,6	4,5	9
27	4,5	1,7	2,2	10,6	3,5	2,8	4,8	2,1	4,3	4,2	6,6	3
28	4,2	3,4	2,7	9,8	4,5	6,7	5,6	0	6,3	5,4	9,4	1,7
29	7,3		2,5	1,6	4,4	1	4,8	2,1	1,4	2,3	1,9	3,3
30	9,2		3,8	7,4	1,9	8,6	2,6	1,6	8,8	8,1	8,5	4,4
31	4,8		3,9		4,5			3,9		1,9		9,5
TOTAL	162,4	43,5	110	147	124,6	171,9	142,8	166,6	142,6	133,1	162	149,3
PROM	5,238	1,553	3,548	4,91	4,019	5,730	4,760	5,374	4,753	4,293	5,400	4,816

ELABORADO POR: Los Investigadores

En la gráfica 2.4 se observa las horas de brillo solar promedio de cada mes, con el que se puede concluir que el mes más crítico de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 2.3 es febrero y el mes más favorable es junio, teniendo en cuenta que los datos solo servirán como referencia para posteriormente realizar el respectivo análisis con los datos del año 2014.

GRÁFICO 2.4 HELIOFANÍA HORAS BRILLO SOLAR MENSUAL 2013, ESTACIÓN METEREOLÓGICA SALACHE



ELABORADO POR: Los Investigadores

La información del INAMHI, que registran datos de Heliofanía mensuales en lo que va del año 2014 requeridos para el análisis cuyo valor promedio semestral es de **4,235 (horas/día) de brillo solar**, los datos son facilitados por la estación meteorológica ubicada en Salache perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi. En la tabla 2.4 se muestran los valores de horas de brillo solar.

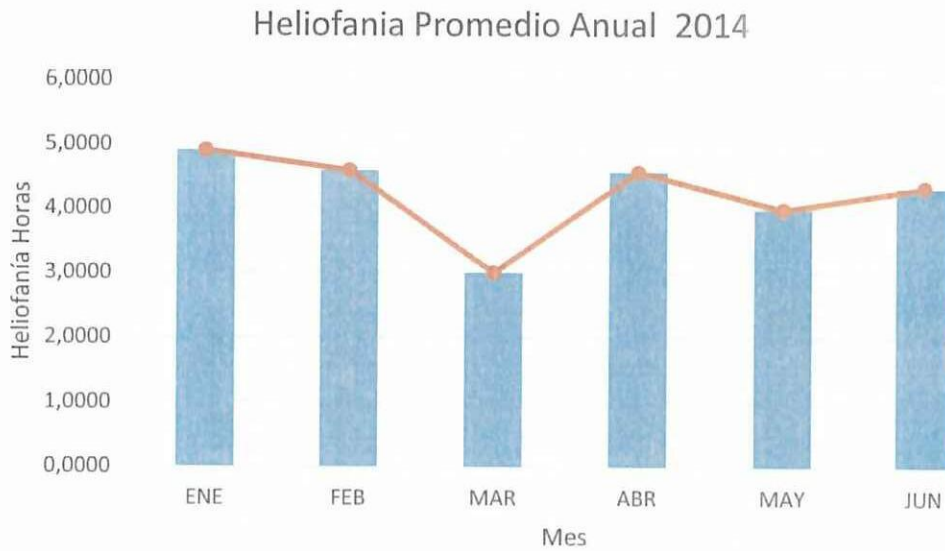
**TABLA 2. 4 DATOS DE HELIOFANÍA 2014 ESTACIÓN
METEREOLÓGICA SALACHE**

Días	Valores Mensuales (horas)					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
1	4,7	4,4	3,5	9,7	5,2	1,1
2	6,4	9,5	4	1,7	2,4	2,1
3	5,7	7,7	0,9	2,4	3,4	1,9
4	1,9	6,6	7,1	6,6	2,7	5,8
5	2,7	0,1	0,3	7,6	1,5	4,1
6	2,2	8,6	1,2	2,8	5,5	1,5
7	3,4	7,2	6,1	5,9	2,8	1,3
8	1,8	2,2	6,9	0,1	3,3	5,5
9	2,5	3	0	7,6	4,5	2,5
10	3,9	4,7	4	3,7	0	7,7
11	0	4	4,1	5,1	6,9	3,3
12	7,3	5,6	2,2	3,4	1,3	8,3
13	8,7	8,3	1,4	2,7	5,9	5
14	3,1	5,1	1,2	3,9	0	2
15	6,7	3,6	4,9	2,3	5,6	3,4
16	0	9,4	5,3	2,5	0,7	9,2
17	5,2	6,8	0,3	5,6	3,7	1,3
18	1,6	4,8	0,3	4,4	5,8	4,4
19	6,7	6,3	2,8	7,4	5,6	2,3
20	6,5	5,5	0,6	5,6	4,9	7,2
21	9,5	1,5	2,1	5,5	7,8	3,6
22	5,4	0	0,9	6,2	7	3,7
23	8	2,2	4,2	8,9	4	4,9
24	6,1	0,4	1,7	0,4	4,6	2,5
25	6,6	1,6	1,1	4,9	2,9	5,3
26	6,5	5,3	1,5	6,7	6,8	4,7
27	6,8	0,1	1,7	4,4	1,2	7,9
28	7,8	4,1	7,2	4	3,1	5,7
29	3,8		3,9	0,8	5,4	5,5
30	3,1		4,9	4,2	6,2	6,1
31	7,6		6,8	0	2,8	
TOTAL MES	152,2	128,6	93,1	137	123,5	129,8
PROM MES	4,9097	4,5929	3,0032	4,5666	3,9839	4,3266

ELABORADO POR: Los Investigadores

En la gráfica 2.5 se observa las horas de brillo solar promedio de cada mes, estos datos servirán como referencia para el análisis.

**GRÁFICO 2. 5 HELIOFANÍA HORAS BRILLO SOLAR MENSUAL 2014,
ESTACIÓN METEREOLÓGICA SALACHE**



ELABORADO POR: Los Investigadores

Luego de haber realizado el análisis de los datos de Heliofania correspondientes a los años 2013 y 2014, se concluye que los meses más críticos están entre febrero y marzo respectivamente.

De la tabla 2.1 se toman los valores pico mayores a los 1000 W/m^2 los mismos que sirven para determinar la irradiancia máxima y a su vez teniendo en cuenta que las horas pico solar es igual a la irradiancia 1 kW/m^2 , se obtendrá como resultado las horas promedio de los tres meses de análisis como referencia para el dimensionamiento, teniendo en cuenta que el mes más crítico es febrero con un valor de $4,2 \text{ kWh/m}^2$, de acuerdo a los datos obtenidos en el periodo de estudio como se muestra en la tabla 2.5.

TABLA 2. 5 DETERMINACIÓN DE HORAS SOLAR MENSUAL

Mes	W/m ²	KWh/m ²
Enero	6119,5	6,11
Febrero	4205,5	4,2
Marzo	4388,5	4,38
Promedio horas	4,9045	

ELABORADO POR: Los Investigadores

En el grafico 2.6 de observa el mes más crítico de acuerdo a los datos de irradiancia tomados por el Piranómetro.

GRÁFICO 2. 6 IRRADIACIÓN PROMEDIO



ELABORADO POR: Los Investigadores

Posteriormente se realiza un análisis de los datos promedios de Irradiancia con los de Heliofanía llegando a determinar que los meses más críticos prevalecen entre febrero y marzo de acuerdo a las gráficas 2.4, 2.5 y 2.6.

Además los valores de horas sol promedio tenemos con respecto a Heliofanía **4,532 (horas/día) de brillo solar** para el año 2013, **4,235 (horas/día) de brillo solar** para el año 2014 y finalmente de los datos medidos se obtienen **4,9045 HPS (Horas Pico Solar)** en el primer trimestre del año 2014.

En la Tabla 2.6 luego de realizar una comparación de los datos de las diferentes fuentes, se concluye que en el primer trimestre, el mes más crítico esta entre Febrero y Marzo. Ya que en estos meses hay una variación anual mínima. De donde se puede deducir que en el sitio existe 4 HPS promedio diario, el mismo valor que ayudara para tener un dimensionamiento confiable del sistema de bombeo de agua.

TABLA 2. 6 COMPARACION DE DATOS PARA DETERMINAR LAS HPS DIA

Meses	Atlas Solar	Estación meteorológica Salache		Datos recopilados por los Investigadores
	Año 2008	Año 2013	Año 2014	Año 2014
Ene	4,47	5,24	4,91	6,11
Feb	4,38	1,55	4,59	4,2
Mar	4,21	3,55	3,00	4,38

ELABORADO POR: Los Investigadores

2.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS

La hipótesis planteada en el proyecto de tesis es: “El análisis de la irradiancia in situ determinará el sistema de generación fotovoltaico adecuado para abastecer la demanda de un sistema de bombeo de agua, en la extensión Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi”.

Mediante la entrevista realizada al administrador y operadores se recopiló información necesaria para el proyecto de investigación, los entrevistados coincidieron con los datos técnicos del sistema de bombeo de agua, estos fueron: el sistema funciona alrededor de 5 horas y el volumen de agua de almacenamiento es de unos 500 litros aproximadamente, la tensión del sistema es de 110 Voltios en corriente alterna por lo que al realizar los respectivos cálculos se puede verificar la factibilidad de este proyecto.

De acuerdo al análisis de los datos recopilados ver Tabla 2.1 y de las curvas de energía promedio ver gráfico 2.1, 2.2, 2.3 se puede decir que el estudio cubre el consumo diario del sistema de bombeo de agua adecuadamente, de acuerdo a los parámetros de diseño del sistema de generación fotovoltaico.

Se verificó que en el lugar existe de 4 a 5 HPS diarias ver Tabla 2.5 los mismos que permiten generar energía eléctrica con energías alternativas a su mayor capacidad, por lo que es factible satisfacer la demanda eléctrica de un sistema de bombeo de agua, ubicada en la Hacienda Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi.

El sistema generación fotovoltaica permitirá alimentar el banco de baterías constituido por 4 baterías de 150 Ah diseñado para que pueda funcionar durante cinco horas.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

3.1. Desarrollo de la propuesta

3.1.1. Tema:

“ANÁLISIS DE IRRADIANCIA SOLAR PARA SATISFACER LA DEMANDA ELÉCTRICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POR ASPERSION MEDIANTE UN GENERADOR FOTOVOLTAICO, EN LA EXTENSIÓN SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2014”.

3.1.2. Descripción

La Universidad Técnica de Cotopaxi es una de las principales entidades educativas, formativas a nivel profesional más importantes de la provincia y del país, además se encarga de formar líderes profesionales acorde a las necesidades vigentes que requiere la sociedad. Para cumplir con las exigencias de una eficiente formación académica, además cuenta con la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (U. A. CAREN), la cual se deriva en cinco

carreras, Ing. Agronómica, Ing. Agroindustrial, Ing. En Medio Ambiente, Ing. En Ecoturismo e Ing. Veterinaria.

Los predios universitarios de dicha Unidad Académica se encuentra ubicado actualmente en dos haciendas denominadas Florícola Salache Bajo y Santa Bárbara de Salache. Por tal razón en el presente capítulo se realizará el análisis así como el dimensionamiento de todos los componentes del sistema de generación fotovoltaico, con el cual se pretende cubrir la demanda del sistema de bombeo de agua.

3.1.3. Justificación de la propuesta

Con el aporte investigativo que se realizará sobre el análisis de irradiancia solar permitirá conocer el potencial solar existente en el sitio para generar energía eléctrica fotovoltaica, es conveniente poner interés en este tipo de energía ya que es una energía limpia y renovable y además que es proveniente del sol.

Estas instalaciones han experimentado una importante evolución ya que principalmente los precios de los componentes de los sistemas fotovoltaicos han reducido, así como se ha aumentado el rendimiento y fiabilidad de los mismos. Indicándose también la facilidad del manejo de los equipos necesarios para poder llevar a cabo este tipo instalación.

Con el cumplimiento del presente trabajo investigativo el cual está encaminado en el aprovechamiento de la irradiancia solar está proyectado a beneficiar a la comunidad universitaria. Mediante la transformación de energía solar a energía eléctrica, por medio de paneles fotovoltaicos, esta energía será utilizada principalmente para cubrir la demanda de un sistema de bombeo de agua por aspersión, que facilitará el riego en momentos que más se crean convenientes realizarlos.

El beneficiario directo será la hacienda de la Universidad Técnica de Cotopaxi (SALACHE), ya que mediante este estudio brinda la posibilidad de utilizar

energía alternativa, además que aporta con el medio ambiente. El área geografía del lugar proporciona los recursos solares necesarios para la implementación de este sistema.

El presente estudio despertara el interés de investigar sobre las nuevas tecnologías referente a las energías alternativas en este caso la energía fotovoltaica, incluso permite solucionar el problema de falta de energía eléctrica en lugares inaccesibles a la red eléctrica convencional.

3.2. Objetivos

3.2.1. Objetivo General

- Dimensionar el sistema de generación fotovoltaica adecuado para satisfacer la demanda de un sistema de agua por aspersión en la extensión Salache De La Universidad Técnica De Cotopaxi en el Periodo 2014.

3.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la disponibilidad del recurso energético solar, mediante los resultados obtenidos en el Capítulo II, en la extensión Salache De La Universidad Técnica De Cotopaxi Periodo 2014.
- Diseñar el sistema de generación fotovoltaico poniendo en práctica la teoría y cálculos, para el correcto funcionamiento de los equipos requeridos en la instalación.
- Elaborar un plan de operación y mantenimiento del sistema diseñado para el buen manejo de los equipos, de tal manera que sirva para su adecuado funcionamiento.

3.3. Desarrollo técnico de la propuesta

Los cálculos para el dimensionamiento del generador fotovoltaico se los realizara bajo los criterios establecidos en las normas ecuatorianas de construcción NEC existentes en nuestro país.

Para el siguiente análisis se cuenta con diferentes fuentes de datos obtenidas por el equipo de medición solar Piranómetro, el INAMHI y el CONELEC, de los cuales se expresa lo siguiente:

- Irradiación global promedio obtenida correspondiente a los meses de enero, febrero y marzo cuyo valor es de 4904,5 Wh/m²/día, que se toma como un dato referencial.
- Irradiación global promedio del Atlas Solar del año 2008 es 4420 Wh/m²/día.
- Heliofanía del año 2013 su valor promedio es de 4,532 (horas/día), de brillo solar.
- Heliofanía del año 2014 su valor promedio de enero hasta junio es de 4,235 (horas/día), de brillo solar.

3.4. Dimensionado de la bomba

Para empezar con el dimensionamiento del sistema es necesario determinar el régimen de bombeo, que no es más, que el caudal mínimo requerido para completar el volumen de agua necesario, bombeando en las horas de mayor radiación durante el día. Este valor se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Régimen de bombeo} = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Radiacion}} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Para obtener la radiación diaria se utiliza los datos de Heliofanía proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que se puede ver en la tabla 2.3. Para asegurarnos que el sistema puede seguir funcionando de la mejor manera se toma las horas solar pico promedio anual.

El valor que se considero es de 4,532 (horas pico/año), el mismo que se hizo una comparación con los datos tomados durante los tres meses de estudio de irradiación dando como resultado un valor de **4,9045** horas pico solar, cabe recalcar que los datos proporcionados en la tabla 2.3 corresponden a los datos de Heliofanía del año 2013 y los datos de la tabla 2.4 corresponden a los datos tomados durante el primer trimestre del 2014. Por lo que se determina un valor promedio de 4 horas pico solar.

El siguiente paso es determinar la cantidad de volumen de agua necesario por día, información que sirve al momento de elegir el tipo de bomba a utilizar en dicho sistema.

Mediante la entrevista realizada al administrador y colaboradores de la hacienda, al aplicar el cuestionario, (ver Anexo N° 1), se pudo conocer que se necesita alrededor de 500 litros diarios.

Entonces aplicando la ecuación 3.1 tenemos:

$$\text{Régimen de bombeo} = \frac{500 \frac{\text{lt}}{\text{día}}}{4 \frac{\text{hora pico}}{\text{día}}}$$

$$\text{Régimen de bombeo} = 125 \frac{\text{lt}}{\text{hora pico}}$$

Realizando la siguiente conversión se obtiene que:

$$125 \frac{\text{lt}}{\text{horas pico}} \times \frac{1 \text{ hora pico}}{60 \text{ min}} = 2,083 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

La bomba seleccionada debe ser capaz de bombear 2,083 litros por minuto, para poder obtener los 500 litros diarios de agua necesarios, cuando se tenga un día con pocas horas de radiación solar (4 horas pico/día).

3.5. *Determinación del voltaje de funcionamiento*

Para pequeñas instalaciones existe una recomendación según la Norma NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción) establece un cierto voltaje de acuerdo a la potencia instalada:

- V = 12V para potencias inferiores a 1500W.
- V = 24V para potencias comprendidas entre 1500 y 5000W.

Por lo expuesto se toma el voltaje de 12V para nuestro sistema, ya que es menor a los 1500W de potencia nominal.

3.6. *Cálculo de consumo de energía total del sistema*

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico en cuanto a la estimación de la carga se considera la capacidad de la bomba de 1 HP = 746 W, y para lo cual se realiza una tabla cuyos valores sirven para obtener el consumo diario. Teniendo en cuenta que además habrá pérdidas que influyen en el cálculo de la energía necesaria final. Como se muestra en la tabla 3.1.

TABLA 3. 1 ESTIMACIÓN DE LA CARGA

Descripción	Unidades (HP)	Potencia (kW)	Horas uso(h)	Energía/día (kWh/día)	Carga/día (Ah/día)
Bomba	1	0,746	5	3.73	155,416

ELABORADO POR: Los Investigadores

De acuerdo a la tabla 3.1 se realiza el siguiente cálculo para conocer la energía diaria, entonces aplicando la siguiente ecuación tenemos:

$$E_{(dia)} = P_{(bomba)} \times Horas_{(uso)}$$

$$E_{(dia)} = 746 \times 5$$

$$E_{(dia)} = 3730 \text{ W} = 3.73 \text{ kWh}$$

Luego de haber obtenido el valor de la energía diaria se procede a realizar el cálculo para determinar la corriente diaria que consume el sistema, como se muestra a continuación:

$$A_{h(dia)} = \frac{E}{V_{cc}}$$

$$A_{h(dia)} = \frac{3730 \text{ Wh/día}}{24 V_{cc}}$$

$$A_{h(dia)} = 155,416 \text{ A}$$

3.7. Ubicación geográfica del proyecto

- **Descripción de la zona:**

Salache, se encuentra ubicado en la parroquia Ignacio Flores del cantón LATACUNGA perteneciente a la provincia COTOPAXI, Ecuador (South América).

TABLA 3. 2 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	
Nubosidad promedio	7/8
Altitud	2757 m.s.n.m.
Humedad	70%
Clima	Mesotérmico con invierno
Temperatura promedio anual	13.5 grados centígrados
Heliofanía mensual	120 horas
Velocidad del viento	2.5m/s
Viento dominante	SE
Pluviosidad	550 mm anuales

ELABORADO POR: Los Investigadores

- **Datos geográficos:**

Sus coordenadas son 0°58'60" S y 78°37'0" W en formato DMS (grados, minutos, segundos) o -0.983333 y -78.6167 (en grados decimales).

GRÁFICO 3. 1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL LUGAR



FUENTE: <https://maps.google.es/maps>

3.8. *Cálculo de panel solar*

Para dimensionar este tipo de instalaciones solares fotovoltaicas aisladas de la red convencional, debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Los datos de radiación solar que publica el CONELEC que viene expresado en kWh/m²/día, así mismo las HPS (horas pico solar), expresado en horas/día.
- Datos reales obtenidos con la ayuda del equipo de medición Piranómetro in-situ expresados en W/m², al igual que las HPS calculadas de acuerdo a las mediciones.
- Características del panel fotovoltaico, el rendimiento (η_p) que especifica el fabricante que por lo general viene dado un valor del 90%.

- Energía diaria que consume el usuario, teniendo en cuenta las pérdidas que afectan R.

Los métodos para determinar el tamaño y número de paneles tienen sus condiciones debido a que se fija una demanda de energía promedio diaria y se maneja un valor de irradiancia, tomando en cuenta que en el año se tiene variaciones en cuanto a la radiación, por lo expuesto se debe realizar un sobredimensionando del sistema para no tener inconvenientes en el momento de puesta en marcha del proyecto. Se toma en cuenta dos métodos los mismos que se muestran a continuación.

Aplicando la ecuación 1.5 se tiene que A_r representa el tamaño de una muestra para determinar el número de paneles totales del sistema:

Método 1

$$A_r = 1200 \times \frac{E \text{ (dia)}}{HPS}$$

$$A_r = 1200 \times \frac{3,73}{4}$$

$$\mathbf{A_r = 1119 Wp}$$

En el mercado ecuatoriano existe una gran variedad de paneles fotovoltaicos, algo importante que debemos tomar en cuenta para la elección de un modelo son las características técnicas y garantías que ofrece el fabricante.

Las siguientes tablas 3.3, 3.4 y 3.5 son de módulos de los diferentes proveedores, que van entre los 5Wp y 260Wp con voltajes nominales 12V y 24V.

TABLA 3. 3 PANELES SOLARES MARCA EXMORK

Proveedor Empresa Proviento S.A							
Paneles Solares Marca EXMORK							
Tipo	Potencia Wp	Vcc	Voltaje max. Voc* (V)	Voltaje MPP Vmpp* (V)	Corriente max. Isc* (A)	Corriente MPP Imp* (A)	Medidas (mm)
Policristalino	5	12	22 +/-0.5	17.5 +/-0.5	0.31 +/-0.1	0.29 +/-0.1	300x230x20
Policristalino	15	12	22 +/-0.5	17.5 +/-0.5	0.92 +/-0.1	0.86 +/-0.1	400x360x28
Policristalino	25	12	22 +/-0.5	17.5 +/-0.5	1.54 +/-0.1	1.43 +/-0.1	510x360x20
Policristalino	50	12	22 +/-0.5	17.5 +/-0.5	3.07 +/-0.1	2.86 +/-0.1	600x620x35
Policristalino	100	12	22 +/-0.5	17.5 +/-0.5	6.14 +/-0.1	5.71 +/-0.1	1040x670x35

ELABORADO POR: Los Investigadores

TABLA 3. 4 PANELES SOLARES MARCA SIMAX

Paneles Solares Marca SIMAX							
Tipo	Potencia Wp	Vcc	Voltaje max. Voc* (V)	Voltaje MPP Vmpp* (V)	Corriente max. Isc* (A)	Corriente MPP Imp* (A)	Medidas (mm)
Monocristalino	90	12	21.8	17.6	5.51	5.11	1200x540x35
Monocristalino	120	12	21.7	17.7	7.57	7.14	1480x670x35
Monocristalino	140	12	22.3	18.00	8.25	7.78	1482x676x50
Monocristalino	150	12	22.6	18.01	8.88	8.42	1482x676x35
Monocristalino	190	24	44.5	36.5	5.77	5.34	1580x808x50
Policristalino	230	24	36.6	29.50	8.42	7.80	1640x992x50
Monocristalino	230	24	36.8	29.7	8.30	7.69	1640x992x50

ELABORADO POR: Los Investigadores

TABLA 3. 5 PANELES SOLARES RENOVA ENERGÍA

Proveedor Renova-Energía S.A								
Tipo	Marca	Potencia Wp	Vcc	Voltaje max. Voc* (V)	Voltaje MPP Vmpp* (V)	Corriente max. Isc* (A)	Corriente MPP Imp* (A)	Medidas (mm)
Policristalino	TYNSOLAR	140	12	22.03	18.36	8.23	7.63	1471x666x40
Monocristalino	TYNSOLAR	85	12	21.96	18.22	5.06	4.67	1206x552x50
Policristalino	TYNSOLAR	50	12	21.60	18.0	3.02	2.78	666x610x35
Policristalino	SUNSET	100	12	19.6	16.2	6.72	6.20	1480x660x35
Policristalino	SUNSET	120	12	21.0	16.5	7.8	7.25	1480x660x36
Policristalino	SUNSET	130	12	21.4	17.2	8.1	7.5	1480x660x37
Policristalino	SUNSET	140	12	21.8	18.0	8.4	7.75	1480x660x38
Policristalino	SUNSET	150	12	22.2	18.5	8.7	8.08	1480x660x39
Policristalino	SUNSET	160	12	22.6	19.0	9.0	9.41	1480x660x40
Policristalino	PANASONIC	245	24	37.1	30.1	8.80	8.23	1665x991x38
Policristalino	PANASONIC	240	24	36.8	29.7	8.75	8.17	1665x991x39
Policristalino	GMASOLAR	230	24	37.2	29.9	8.24	7.69	1652x1000x35
Policristalino	GMASOLAR	240	24	37.2	30.1	8.96	7.97	1652x1000x36
Policristalino	GMASOLAR	250	24	37.6	30.5	8.87	8.20	1652x1000x37
Policristalino	GMASOLAR	260	24	38.0	30.9	8.99	8.42	1652x1000x38

ELABORADO POR: Los Investigadores

De acuerdo a la potencia que se necesita generar, se seleccionara el mejor ajuste de paneles, esto nos permitirá satisfacer las condiciones de la demanda diaria.

Para el sistema se seleccionara el número de paneles y su capacidad según el catálogo del proveedor Proviento el mismo que es de 190Wp, entonces aplicando la ecuación 1.7 tenemos:

$$N_p = \frac{A_r}{P_{(panel)}}$$

$$N_p = \frac{1119Wp}{190Wp}$$

$$N_p = 5,889 \approx 6 \text{ paneles}$$

Método 2

$$E = \frac{E_{(dia)}}{R_{(cte)}}$$

En este método se debe determinar las pérdidas totales del sistema, aplicando la ecuación 1.4 se tiene:

$$R = [1 - (k_b + k_c + k_r + k_x)] * \left[1 - \frac{k_a \times D_{AUT}}{P_d} \right]$$

K_a : Auto descarga diaria de batería.

K_b = Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador

K_c = Coeficiente de pérdidas en el inversor

K_r = Coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.):

K_x = Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, los valores típicos son:

D_{AUT} = Días de autonomía de la instalación:

P_d = Profundidad de descarga diaria de la batería:

$$R = [1 - (0,005 + 0,05 + 0,05 + 0,05)] * \left[1 - \frac{0,005 \times 2}{0,55} \right]$$

$$\mathbf{R = 0,830}$$

Aplicando la ecuación 1.6 tenemos:

$$E = \frac{3,73\text{kWh/día}}{0,830}$$

$$\mathbf{E = 4493,976Wh/día}$$

Luego de realizar los cálculos para obtener la energía diaria, se aplica la ecuación 1.8, para conocer el número de paneles.

$$N_p = \frac{E}{\eta_{(panel)} \times Wp_{(panel)} \times HPS}$$

$$N_p = \frac{4493,976}{0,90 \times 190 \times 4} \left[\frac{Wh}{W * h} \right]$$

$$\mathbf{N_p = 6,570 \approx 7 \text{ paneles}}$$

Luego de realizar los cálculos y revisar las distintas marcas existentes en el mercado ecuatoriano varias marcas de paneles, se opta por la marca SIMAX del proveedor PROVIENTO, por la garantía que ofrecen sus módulos, por su tiempo de vida útil, y su variedad en módulos de diversas potencias y voltajes nominales.

Ya que este proveedor siempre está preocupado de cumplir con el cliente y ofrecer un producto de alta calidad, que funciona bien. Por tal razón frecuentemente comprueban el rendimiento de los paneles. En un día solado de Quito bajo una radiación solar de aproximadamente 1000W/m^2 , han medido para los paneles de 50Wp, 80Wp, 100Wp, 150Wp, 190Wp la corriente en cortocircuito. La radiación solar es tomada por el medidor de radiación solar APOGEE MP-200, el mismo que se utilizó en el proyecto propuesto, para la toma de datos de irradiancia solar.

En este caso en la tabla 3.6 se indica las características técnicas del panel que mejor se ajusta a las condiciones del sistema.

TABLA 3. 6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL SOLAR SIMAX

Paneles Solares Marca SIMAX							
Tipo	Potencia Wp	Vcc	Voltaje max. Voc* (V)	Voltaje MPP Vmpp* (V)	Corriente max. Isc* (A)	Corriente MPP Impp* (A)	Medidas (mm)
Monocristalino	190	24	44.5	36.5	5.77	5.34	1580x808x50

ELABORADO POR: Los Investigadores

3.9. *Inclinación adecuada de los módulos fotovoltaicos*

La inclinación que deben tener los módulos fotovoltaicos siempre será en relación con la Latitud del lugar donde se instalen, por ejemplo para la ciudad de Latacunga su Latitud es 1 grados por lo tanto esa inclinación podemos considerar como la adecuada, sin embargo, existen dos parámetros que debemos tomar en cuenta.

- Si la insolación es en tiempo de invierno y queremos tener la mayor captación en los paneles, debemos agregar de 5 a 10 grados más a nuestra inclinación de acuerdo a la latitud (preferentemente).
- Si lo que necesitamos es que en verano sea nuestra mayor captación, debemos restar grados de la Latitud en la misma proporción.

Esto se debe a la posición de recorrido del sol en las diferentes épocas del año. La inclinación deberá ser de acuerdo a la Latitud del lugar donde se instalen los módulos y agregar o disminuir grados dependiendo de la época del año.

La inclinación que se aplica en el sistema fotovoltaico es de 15° como recomendación durante todo el año ya que su latitud tiende a ser a 1°.

3.10. *Cálculo y selección de la batería de almacenamiento*

El tamaño de la batería solar de almacenamiento depende de la confiabilidad del suministro de potencia. Se ha considerado estimar un almacenamiento de potencia

en la batería de 2 días. Esto significa que la capacidad de la batería debe ser de por lo menos 2 veces el consumo de carga diario para poder cubrir la energía durante 2 días sin luz solar.

Además se considera en el análisis que las baterías no funcionan a un 100% de eficiencia y que las baterías por recomendación de su fabricante nunca deben descargarse por completo.

Cuando la batería sea poco utilizada la auto descarga provocará una baja eficiencia. Las baterías no pueden ser descargadas en más del 60% de lo contrario su tiempo de vida disminuirá paulatinamente.

Para dimensionar la batería a utilizar se toma en cuenta lo siguiente:

Datos:

$$D_{AUT} = 2$$

$$\eta_{(Bat)} = 90 \%$$

$$Pd_{(Bat)} = 60 \%$$

De acuerdo a la tabla 1. 16 se puede determinar los valores anteriores que hace referencia a la profundidad de descarga de las baterías $Pd_{(Bat)}$, además del rendimiento de las baterías $\eta_{(Bat)}$, los mismos que se toman en el momento de realizar el cálculo en los dos métodos los mismos que se detallan a continuación:

Método 1

Se debe calcular el tamaño basándose a la ecuación 1.9:

$$\text{Tamaño} = \frac{D_{AUT} \times E_{(día)}}{\eta_{(Bat)} \times Pd_{(Bat)}}$$

$$\text{Tamaño} = \frac{2 \times 3.73 \text{ kWh/día}}{0,90 \times 0,6}$$

$$\text{Tamaño} = 13814,814 \text{ kWh/día}$$

Aplicando la ecuación 1.10 se tiene:

$$N_{(Bat)} = \frac{Tamaño}{A_{h(Bat)} \times V_{CC}}$$

$$N_{(Bat)} = \frac{13814,814 [kWh/día]}{150 \times 24 \left[\frac{Ah * V}{Ah * V} \right]}$$

$$N_{(Bat)} = 3,837 \approx 4 \text{ baterias}$$

Método 2

De la ecuación 1.11 se expresa lo siguiente:

$$N_{(Bat)} = \frac{D_{AUT} \times E_{(dia)}}{P_{d(Bat)} \times V_{CC}}$$

$$N_{(Bat)} = \frac{2 \times 3730 [días * kWh]}{0,6 \times 24 \left[\frac{Ah * V}{Ah * V} \right]}$$

$$N_{(Bat)} = 518,056 \text{ Ah}$$

Después se aplica la ecuación 1.12 para poder determinar el número total de baterías como se indica:

$$N_{(Bat-total)} = \frac{518,056 \text{ Ah}}{A_{h(Bat)}}$$

$$N_{(Bat-total)} = \frac{518,056 [Ah]}{150 [Ah]}$$

$$N_{(Bat-total)} = 3,453 \approx 4 \text{ baterias}$$

La conexión en paralelo técnicamente no es correcta, afectará la vida útil de las baterías, los fabricantes no dan garantía con este tipo de conexiones. Pero sin embargo en este sistema es conveniente realizar este tipo de conexión debido a que las baterías deben operar a un voltaje del sistema de 24Vcc, siendo su voltaje nominal de 12Vcc. por lo que tenemos:

$$A_{h(dia)} = 155,416 \text{ A}$$

Este valor se le debe agregar un porcentaje adicional por algún imprevisto que se pueda suscitar durante la operación, al mismo que lo denominamos carga corregida, a la misma que le aumentamos un 40% de la carga.

$$\mathbf{Carga\ Corregida = 155,416A \times 1,40 = 217,582 A}$$

Entonces para determinar el número de baterías en paralelo tenemos:

$$\mathbf{\# Bat. Paralelo = \frac{Carga\ Corregida}{Cap. Baterias}}$$

$$\mathbf{\# Bat. Paralelo = \frac{217,528 A}{150 Ah} = 1,450 \approx 2}$$

Por otro lado se debe conocer el número de baterías en serie del sistema donde; aplicando la siguiente ecuación se tiene:

$$\mathbf{\# Bat. Serie = \frac{Vcc\ Sistema}{Vcc\ Nominal}}$$

$$\mathbf{\# Bat. Serie = \frac{24 Vcc}{12 Vcc} = 2}$$

Por último se conoce el número de baterías totales del sistema, aplicando la ecuación siguiente:

$$\mathbf{\# Bat. Totales = \#Bat. Paralelo \times \#Bat. Serie}$$

$$\mathbf{\# Bat. Totales = 2 \times 2 = 4}$$

Realizado el análisis técnico se determina que se debe utilizar 4 baterías de 150Ah.

En el mercado Ecuatoriano existe una gran variedad de marcas de baterías, siendo las más adecuadas para estos sistemas las baterías de ciclo profundo ya que están diseñadas para poder ser descargadas lentamente y volver a recargarse cuando existan disponibilidades energéticas. A continuación en las tablas 3.8 y 3.9 se muestran los tipos de baterías de acuerdo al proveedor

TABLA 3. 7 BATERÍAS SOLARES PROVEEDOR PROVIENTO

Proveedor Empresa Proviento S.A						
Baterías solares marca ULTRACELL						
Tipo	Modelo	Capacidad	Vcc	Ciclos	Dimensiones (mm)	Peso (Kg)
Batería ULTRACELL AGM	UL7-12	7Ah C20h	12	1100 a 30% DOD	151x65x93	2
Batería ULTRACELL GEL de CICLO PROFUNDO	UCG45-12	45Ah C10h	12	2400 a 30% DOD	257x132x200	14
Batería ULTRACELL GEL de CICLO PROFUNDO	UCG100-12	100Ah C10h	12	2400 a 30% DOD	327x173x212	31
Batería ULTRACELL GEL de CICLO PROFUNDO	UCG150-12	150Ah C10h	12	2400 a 30% DOD	485x170x240	44

ELABORADO POR: Los Investigadores

TABLA 3. 8 BATERÍAS SOLARES PROVEEDOR RENOVA ENERGÍA

Proveedor Empresa RenovaEnergía S.A						
Baterías solares marca RITAR						
Tipo	Modelo	Capacidad	Vcc	Max. Corriente de descarga	Dimensiones (mm)	Peso (Kg)
CICLO PROFUNDO ELECTROLITO TIPO AGM VRLA RITAR Valve Regulated Lead Acid	RT12-70E	7Ah C20h	12	70 A (5seg)	151x65x100	2
CICLO PROFUNDO ELECTROLITO TIPO AGM VRLA RITAR Valve Regulated Lead Acid	RA12-40D	40Ah C10h	12	400 A (5seg)	198x166x171	13
CICLO PROFUNDO ELECTROLITO TIPO AGM VRLA RITAR Valve Regulated Lead Acid	RA12-100D	100Ah C10h	12	1000 A (5seg)	328x172x222	30

ELABORADO POR: Los Investigadores

De las diversas marcas existentes, se recomienda elegir la batería que más se ajuste al sistema, para que no tengamos inconvenientes en la puesta en marcha y funcionamiento, además evitar un número excesivo de baterías ya que en cuanto a costos sea lo menor posible.

Para este diseño se seleccionó la marca ULTRACELL con las siguientes características como se muestra en la tabla 3.10.

TABLA 3. 9 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA

Tipo	Modelo	Capacidad	Vcc	Ciclos	Dimensiones (mm)	Peso (Kg)
Batería ULTRACELL GEL de CICLO PROFUNDO	UCG150-12	150Ah C10h	12	2400 a 30% DOD	485x170x240	44

ELABORADO POR: Los Investigadores

3.10.1. Carga y descarga de las baterías

De acuerdo a las condiciones técnicas, por lo general una batería de 150Ah trabajan con tensiones de 12Vcc. Al formar 24Vcc en baterías de 150Ah se conectan 2 baterías de 12Vcc en serie para formar 150Ah en 24Vcc.

Para el dimensionamiento del sistema se tiene en cuenta que la batería se debe descargar un 60% dejando un 40% libre para alargar la vida útil de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante. Siempre teniendo en cuenta que a temperaturas mayores de 25°C le afecta al electrolito de la batería reduciendo su vida útil en porcentajes.

Para poder forzar una corriente de carga el voltaje del panel debe ser superior al de la batería y eso es correcto con un panel de esa potencia 190Wp ya que su V_{pmp} es mayor alrededor de 37V. La fórmula, es el voltaje que tiene la batería en

este caso 24Vcc por 1,5 para lo que deberá tener el panel un voltaje alrededor de 36Vcc para su correcta carga.

Un panel de 190Wp en 24Vcc por lo general difunde una corriente en el punto de máxima potencia V_{pmp} de aprox. 5.10 A por lo que la batería se cargara tranquilamente. Por lo general estas baterías si son AGM de ciclo profundo plomo ácido se descarga o carga dentro de 10 horas, 15A cada hora en el caso de 150Ah.

Para su correcta carga y descarga y poder controlarla la batería se utiliza un regulador de carga donde se visualiza en él, si la batería está cargada para no sufrir sobrecargas y también visualizar si la batería esta descargada para no sufrir descargas profundas que afecten a la batería.

3.11. Cálculo y selección del regulador de carga

Los reguladores o controladores de carga es el encargado de proteger al sistema fotovoltaico, a la batería es la encargada de proteger contra sobrecargas y descargas excesivas, en la mayoría de los controladores son los encargados de detectar la tensión de la batería y actúan de acuerdo a los niveles de tensión, el controlador debe tener la suficiente capacidad de controlar la máxima corriente.

1. Panel-Batería = 190Wp y Batería de 24 Vcc.

Para calcular la intensidad del generador fotovoltaico se utiliza la ecuación 1.13:

$$I_{mpp} = \frac{Wp}{Vcc}$$
$$I_{mpp} = \frac{190Wp}{24Vcc} = 7,917 A$$

Para obtener la corriente total del generador multiplicamos por el número total de paneles.

$$I_{mpp} = 7,917 \times 8 = 63,333 \text{ A}$$

Para determinar la intensidad que consume la carga se obtiene mediante la ecuación 1.14:

2. Batería-Carga = 746W y 110Vcc

$$I_{maxC} = \frac{P_{max}}{V_{ca}}$$

$$I_{maxC} = \frac{746W}{110V_{cc}} = 6,781 \text{ A}$$

De acuerdo a los cálculos realizados es necesario en la instalación un controlador que soporte los **63,333 A**, para la cual se selecciona un Controlador Morningstar TriStar 60A.

3.12. Cálculo y selección del inversor

Cualquier tipo de inversor que se utiliza también consume energía, por lo tanto disminuye la eficiencia general del sistema.

La ventaja del inversor es que el voltaje de operación es mucho más alto y por tanto puede evitarse el uso de cables gruesos. Especialmente cuando deben usarse cables largos es económicamente viable utilizar un inversor.

Características principales del sistema autónomo:

- Carga energética bomba de 1HP =746 Watts
- P máxima de 3730 Watts 5 horas (día de funcionamiento).
- Voltaje de entrada 12Vcc
- Voltaje de salida 110Vca
- Frecuencia de 60 Hz

Par ello se selecciona un Inversor tipo EXMORK/POWERSTAR. De 1000W/24VDC con salida en 110VAC/60Hz senoidal pura.

Los inversores se conectan a un banco de baterías externa que debe ser dimensionada según el requerimiento de energía.

3.13. Cálculo y selección del conductor

Para determinar el calibre del conductor es necesario conocer los planos físicos de la instalación tanto interna como externamente; ya que además de la capacidad de corriente, se toma en cuenta la caída y pérdidas de potencia, que dependen de la resistencia, la distancia y la corriente del conductor.

Es necesario conocer que para garantizar el funcionamiento de la instalación, la caída de voltaje en los ramales no debe exceder el 3% y en todo el sistema ser menor al 5%. Por consiguiente se detallan a continuación lo siguiente:

Para la selección del conductor es necesario considerar las caídas de tensión y las longitudes que existen entre los elementos del sistema:

Caída de voltaje entre panel y regulador: máxima 1,5% y recomendada 1%

Caída de voltaje entre regulador y acumulador: máxima 1% y recomendada 0,5%

Caída de voltaje entre acumulador e inversor: máxima y recomendada 1%

Caída de voltaje entre acumulador/inversor y cargas: máxima y recomendada 3%

Los elementos del sistema fotovoltaico se encuentran a las siguientes distancias:

Longitud panel-regulador: máximo 1,5m

Longitud regulador-batería: máximo 1,5m

Longitud regulador – carga: máximo 1,5 m

La máxima corriente calculada que admite el sistema fotovoltaico entre los paneles y la batería es de **63,333 A**, este valor se utiliza para conocer la sección del conductor aplicando la ecuación 1.20.

Donde (Va-Vb) se define como caída entre panel y regulador:

$$(V_a - V_b) = (24 V_{cc} \times 1,5\%) = 0,36$$

Entonces aplicando la ecuación 1.20 se determina:

$$S = \frac{2(1,5 \times 63,33 \text{ A})}{56(0,36)}$$

$$S = 9,924 \text{ mm}^2$$

TABLA 3. 10 AMPACIDAD DEL CONDUCTOR TTU EN AWG y mm²

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	ESPEJOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENT E para 3 conductores en conduit Amp.
8	8,37	7 x 1,23	1,14	0,38	6,73	109	70	50
6	13,3	7 x 1,55	1,14	0,76	8,45	170	95	65
4	21,15	7 x 1,96	1,14	0,76	9,68	301	125	85
2	33,62	7 x 2,47	1,14	0,76	11,21	376	170	115
1	42,36	7 x 2,78	1,4	1,14	13,42	461,5	195	130
1/0	53,49	19 x 1,89	1,4	1,14	14,53	609	230	150
2/0	67,43	19 x 2,12	1,4	1,14	15,68	747	265	175
3/0	85,01	19 x 2,39	1,4	1,14	17,03	915	310	200
4/0	107,2	19 x 2,68	1,4	1,14	18,48	1132	360	230
250	127	37 x 2,09	1,65	1,65	21,23	1390	405	255
300	152	37 x 2,29	1,65	1,65	22,63	1641	445	285
350	177	37 x 2,47	1,65	1,65	23,89	1889	505	310
400	203	37 x 2,64	1,65	1,65	25,08	2137	545	335
500	253	37 x 2,95	1,65	1,65	27,25	2627	620	380
600	304	37 x 3,23	2,03	1,65	29,97	3144	690	420
650	329	37 x 3,37	2,03	1,65	30,95	3409	725	440
700	355	37 x 3,49	2,03	1,65	31,79	3593	755	460

FUENTE: <http://electrocable.com/productos/cobre/TTU-06.html>

De acuerdo a la tabla 3.10 de calibres AWG se selecciona el conductor, calibre # 6 con una capacidad de manejo de corriente de **95 A**.

Además en la sección comprendida entre el inversor y la carga donde se tiene una corriente máxima calculada de **6,781A**. Como se observa en la tabla 3.11 se seleccionara un conductor tipo TW calibre # 12 con una capacidad de manejo de corriente de hasta **25A**.

TABLA 3. 11 AMPACIDAD DEL CONDUCTOR TW EN AWG y mm²

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPEJOR AISLAMIENTO mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO DE CABLE
20	0,52	1x0,813	0,76	2,33	9,81	6	7	TF
18	0,82	1x1,02	0,76	2,54	13,16	6	7	TF
16	1,31	1x1,29	0,76	2,81	18,1	10	8	TF
14	2,08	1x1,63	0,76	3,15	26,1	20	15	TW
12	3,31	1x2,05	0,76	3,57	38,3	25	20	TW
10	5,26	1x2,59	0,76	4,11	57,4	40	30	TW
8	8,34	1x3,26	1,14	5,54	95,2	60	40	TW
14	2,08	7x0,62	0,76	3,38	27,8	20	15	TW
12	3,31	7x0,78	0,76	3,86	40,1	25	20	TW
10	5,26	7x0,98	0,76	4,46	59,9	40	30	TW
8	8,37	7x1,23	1,14	5,97	105,2	60	40	TW
6	13,3	7x1,55	1,52	7,69	170,4	80	55	TW
4	21,15	7x1,96	1,52	8,92	255,5	105	70	TW
2	33,62	7x2,45	1,52	10,45	388,9	140	95	TW
1	42,36	7x2,78	2,03	12,4	482,9	165	110	TW

FUENTE: www.electrocable.com

3.14. Dimensionamiento de las protecciones

El factor 1,25 lo utilizamos para prever el aumento de intensidades y tensiones que podrían suministrar los paneles fotovoltaicos en determinadas condiciones climáticas.

Para el dimensionamiento de las protecciones se aplica la siguiente ecuación:

$$I_c = \frac{1,25 \times P_{(bomba)}}{V_{cc}}$$

$$I_c = \frac{1,25 \times 746W}{24V_{cc}}$$

$$I_c = 38,854 A$$

Para la protección de la batería al inversor, se hace el dimensionamiento del fusible el cual se toma en cuenta un 125% de la corriente de la carga I_c , aplicando la siguiente ecuación tenemos:

$$I_f = 1,25 \times I_c$$

$$I_f = 1,25 \times 38,854 \text{ A}$$

$$I_f = \mathbf{48,567 \approx 50 \text{ A}}$$

Realizado el cálculo respectivo se determina que se debe colocar un fusible de 50A. Para la protección del inversor a la carga CA, se calcula el breaker, utilizando la corriente requerida por la carga CA, tenemos que:

$$I_{(carga)} = \frac{P_{(bomba)}}{V_{ca}}$$

$$I_{(carga)} = \frac{746W}{110V_{ca}}$$

$$I_{(carga)} = \mathbf{6,781A}$$

Además se debe tener en cuenta un incremento del 125% de la $I_{(carga)}$, para determinar la corriente de protección entre la carga – inversor, tenemos que:

$$I_c = 1,25 \times I_c$$

$$I_c = 1,25 \times 6,781A$$

$$I_c = \mathbf{8,476 \approx 10A}$$

Se utilizará un breaker de 10 A para protección del sistema de CA, en este caso se coloca un breaker de 20 A debido a que en el mercado no se encuentra un breaker con esta capacidad de protección.

3.15. Análisis económico y financiero

3.15.1. Generalidades

Al analizar la inversión inicial de un sistema fotovoltaico que reemplace la energía eléctrica para alimentar un sistema de bombeo fotovoltaico con una capacidad de 1HP = 746W aproximadamente, ubicado en la extensión Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la instalación de este sistema llega a convertirse en lo posterior en pequeñas centrales de generación eléctrica debido a que se puede anexar fácilmente el número de paneles fotovoltaicos para aumentar la capacidad nominal de generación eléctrica por lo cual el incremento del costo de instalación crece de acuerdo a la instalación que se realiza, teniendo que asumir los gastos de materiales de construcción, instalación, así como los de mantenimiento.

Para el análisis de un sistema fotovoltaico se han de considerar algunos aspectos de evaluación como los siguientes:

- No existe la posibilidad de comparar un sistema fotovoltaico con otro, ya que cada uno tiene sus características de evaluación como: localización del sistema, la radiación solar, ángulo de inclinación, potencias de carga, HPS, etc.
- No se puede comparar la energía producida por un sistema fotovoltaico con la energía producida por fuentes tradicionales, éstas son de distinta calidad si consideramos el impacto ambiental producido, la intermitencia de la energía e incluso su costo de generación y comercialización.
- La vida útil de estos sistemas está en los 25 años de uso con lo que el ahorro económico de consumo eléctrico será para esa cantidad de tiempo.

3.15.2. Costos de los equipos

Se detallan la inversión fija que se requiere en la elaboración del proyecto, para este análisis se divide los costos que se detallan a continuación como se aprecia en la tabla 3.12

TABLA 3. 12 COSTO DE MATERIALES

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNIT.	TOTAL (USD)
1	Panel Monocristalino 190 Wp	8	W	336,00	2688,00
2	Batería ultracell	4	A	459,20	1836,80
3	Controlador Morningstar TriStar 60 A	1	A	324,80	324,80
4	Inversor 1000W / 24Vcc	1	W	504,00	504,00
8	Cable TW CALIBRE AWG #12	15	m	0,38	5,70
9	Cable TTU CALIBRE AWG #8	50	m	1,73	86,5
	TOTAL				5444,80

FUENTE: www.proviento.com.ec

3.15.3. Análisis costo beneficio

Con los resultados obtenidos de la inversión inicial del sistema fotovoltaico aislado de la red, para satisfacer un bombeo de agua por aspersión se conoce que se va a tener un ahorro relativo en la planilla pago por consumo de energía eléctrica convencional.

Además económicamente se debe justificar los beneficios que se conseguirá con la implementación de este sistema de generación planteadas, para lo cual, se realizará un breve análisis económico en función a la energía suministrada.

3.15.4. Inversiones - Construcción del sistema fotovoltaico.

Los parámetros que se consideran en este ítem son: mano de obra de estructuras nuevas, costos de diseño y costo de operación y mantenimiento.

En la tabla 3.12 se presenta el presupuesto referencial de la instalación del sistema de generación fotovoltaico.

3.15.5. Relación costo-beneficio

Este indicador tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos y los beneficios esperados en la realización del mismo, a través de la siguiente ecuación

$$BC = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$$

Los resultados de este indicador, expresados en valor presente pueden tener significados tanto sociales como monetarios dependiendo del proyecto que se ejecute, en este caso, si el resultado es mayor que 1, significa que los beneficios netos son mayores de los egresos netos, es decir, que los beneficios son mayores que los gastos en consecuencia el proyecto es factible, caso contrario provoca pérdidas.

Para las alternativas propuestas se consideraron 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico, tiempo que es considerado por normas internacionales.

3.15.6. Costo-Beneficio

Para el análisis de Costo-Beneficio se toma en cuenta todos los parámetros del sistema fotovoltaico aislado de la red el cual es los 190Wp de los paneles solares

en un número de 8 paneles, por las horas pico solar (HPS) que oscilan alrededor de 4 horas al día , por el costo de kWh de 0,41 centavos para poder llevar acabo su ejecución y por los 25 años de vida útil del proyecto, tomando en cuenta le costó de mantenimiento de 20 dólares hasta el quinto año y después tiene un valor de 5 dólares adicionales hasta el décimo quinto año, donde se debe cambiar una parte del sistema (banco de baterías), de donde se hace un nuevo proceso de análisis como cuando se iniciara el proyecto desde cero, como se puede observar en la tabla 3.13 de beneficio anual durante los 25 años de vida útil.

TABLA 3. 13 BENEFICIO EN VALOR PRESENTE

FLUJO DE CAPITAL	USD
Inversión inicial	5444.8
Costo por Mantenimiento 25 años	575
Del año 1 al 5	997,62
Del año 6 al 15	992,62
Del año 16 al 25	1017,62
Beneficio total	20702.4

ELABORADO POR: Los Investigadores

Para determinar la tarifa mínima de kWh con la que el proyecto debería funcionar seria de acuerdo como se analiza en las siguientes ecuaciones:

Para obtener una tarifa referencial en la cual el inversionista obtenga una rentabilidad en el proyecto, se realiza un análisis del TIR considerando el flujo de efectivo de la tabla 3.13 y una tasa referencial del 18 % se obtuvo que la tarifa deba ser de 0,41 centavos de dólar el kWh

TABLA 3. 14 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Sistema fotovoltaico aislado	Análisis Costo/Beneficio
Vida útil (años)	25
Beneficio total (USD)	20702,4
Costo total en valor presente (USD)	5444,8
BC	3,802

ELABORADO POR: Los Investigadores

Un proyecto es factible económicamente cuando el valor C/B obtenido es superior a 1; en el análisis realizado en el presente proyecto investigativo se concluye que el proyecto es factible.

CONCLUSIONES

- El sistema fotovoltaico se ha dimensionado en función a los datos históricos de: Heliofanía (Horas pico solar), de la ciudad de Latacunga, proporcionados por la Estación Meteorológica de la UTC entre los años 2013 y 2014 que oscila entre **4,532 y 4,235 (horas/día) de brillo solar** respectivamente, además de los datos proporcionados por el Atlas Solar del año 2008 de Irradiación global promedio que es **4,420 HPS promedio** y los datos obtenidos por el equipo de medición solar Piranómetro, dando como resultado **4,9045 HPS promedio**, realizado el análisis de estos datos se llega a la conclusión que se tiene un valor de irradiación solar incidente promedio que sobrepasa las de 4 HPS, sin embargo para asegurar el dimensionamiento se decide utilizar el valor menor encontrado en ese rango de tiempo que es 4 HPS.
- La potencia total instalada con el panel fotovoltaico es de 190 Wp, para alimentar una carga de 3730 W-h/día, usando un panel marca SIMAX monocristalino.
- Al dimensionar y seleccionar los equipos de generador fotovoltaico del sistema de bombeo de agua se ha conseguido alimentar energéticamente con absoluta seguridad.
- La implementación de un pequeño generador fotovoltaico si bien es cierto contempla un alto costo de inversión, a la larga produce rentabilidad económica debido a que la energía utilizada del sol no tiene costo, y con bajo gastos por mantenimiento.
- En el Ecuador aún existe falta de información con respecto a los sistemas solares fotovoltaicos y sus grandes beneficios ecológicos, además de que muy pocas son empresas que se dedican a la elaboración y comercialización de sus componentes.
- La posición geográfica de todo el territorio ecuatoriano facilita la planificación e instalación de sistemas fotovoltaicos ya que el sol recorre durante todo el año en un sector prácticamente perpendicular a nuestro país, es decir se puede superar factores críticos como la orientación de los

paneles o sistemas de seguimiento solar que encarecerían los costos del proyecto.

- Los acumuladores de energía requeridos en estos tipos de sistemas son de ciclo profundo, es decir que se requiere que estos mantengan largos períodos de descarga con bajo amperaje, contrario a las baterías de automóvil las cuales producen altos amperajes pero en muy cortos períodos de tiempo, es por esta razón que no es posible la utilización de baterías de automóvil en los sistemas fotovoltaicos.
- Un aspecto muy importante del generador fotovoltaico es la selección de los cables conductores, en este caso se coloca el conductor TTU # 6 desde el generador hasta el inversor y un conductor TW # 12 desde el inversor hasta la carga, puesto que estos deben ser los adecuados cumpliendo con las características y normas establecidas para estos proyectos, teniendo en consideración que no debe superar el 3% de caídas de tensión en todo el sistema.
- De acuerdo a la utilidad y trabajo de los equipos se concluye que existe incidencias fundamentales de la temperatura ambiental y radiación, generación, y a mayor temperatura, menor generación de energía, y a mayor radiación mayor generación eléctrica.
- Las especificaciones técnicas y la posición donde se encuentra situado nuestro país no es necesario la utilización de equipos de seguimiento solar, debido a que Latacunga se encuentra a una Latitud geográfica: $0^{\circ}58'60''$ S y $78^{\circ}37'0''$ W, la colocación del panel a 15° de inclinación es suficiente para que exista una generación promedio durante todo el año.
- Del análisis Costo/Beneficio se puede deducir que durante el periodo de vida útil vamos a tener un costo beneficio favorable de alrededor de 3,802, el mismo que se podrá ejecutar el proyecto de manera segura.
- La tarifa que se debe pagar para que el proyecto tenga una rentabilidad considerando una tasa referencial del 18% es de 0,41 centavos de dólar, esto indica que para poder realizar este tipo de proyectos debería existir un incentivo por parte del estado y de esta manera lograr incrementar el uso de este tipo de energía a nivel usuario.

RECOMENDACIONES

- La evolución de los sistemas fotovoltaicos en los últimos años en nuestro país ha tenido un avance muy importante gracias a las empresas proveedoras, es por ello que se debería impulsar al uso de estos sistemas de generación con energía renovable.
- Es recomendable crear una normativa por parte del CONELEC para el diseño, construcción y funcionamiento de sistemas de energía alternativa fotovoltaica aisladas de la red eléctrica, el cual implica poder realizar un dimensionamiento óptimo de acuerdo a los datos de irradiancia o Heliofanía que se tengan con respecto al lugar donde se pretende llevar a cabo cualquier proyecto.
- A fin de optimizar el funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos aislados de la red convencional es recomendable realizar un monitoreo constante de los equipos ya instalados de tal manera que se pueda ampliar la capacidad de generación.
- Además se recomienda que el equipo o espacio físico que contiene tanto el regulador como la batería de almacenamiento no se coloquen en los interiores de habitaciones debido a que dichas baterías emiten gases con el fin de evitar posibles accidentes en la manipulación de estos equipos.
- Es recomendable colocar o mantener una adecuada ventilación hacia el panel, para tratar de mantener una temperatura de acuerdo a la especificada por el fabricante (20 – 25°C). Por qué a mayor temperatura, la potencia generada se reduce. Por esta razón se debe verificar la temperatura de operación de los paneles.
- En el caso de que el sistema de bombeo no entre en funcionamiento por algún motivo, se recomienda hacer uso de la energía disponible en cualquier otro ámbito, como puede ser iluminación del sector de Agroindustria como se detalla en el plano del ANEXO N° 14.

GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

AC: Corriente Alterna

Baterías: Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

Baterías de ciclo profundo.- Las baterías de ciclo profundo guardan energía de modo que las fuentes de la corriente eléctrica las recarguen por medio de los alternadores, paneles solares, molinos de viento, etc.

Carga: Potencia utilizada por los artefactos, instalaciones y otros elementos conectados a un circuito.

Célula Fotovoltaica: Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

Central Fotovoltaica: Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

Conjunto de módulos: Los paneles o módulos que generan electricidad en un sistema Fotovoltaico.

Conjunto de paneles: Grupos de paneles en una instalación Fotovoltaica.

Concentrador: Dispositivo que mediante distintos sistemas, concentra la radiación solar sobre las células fotovoltaicas.

Controlador de Carga: Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.

DC: Corriente directa.

Dimensionado: Proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.

Efecto Fotovoltaico: Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

Eficiencia: En lo que respecta a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.

Estructura de montaje: Elemento de apoyo de los paneles fotovoltaicos, con estructura resistente a las cargas de viento, movimiento térmico, etc. con sistema de fijación y colocación de cables. Puede ser montaje integral o montaje independiente.

Fotovoltaico (FV): Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Generador: Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del Sol en energía eléctrica y carga las baterías.

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

Inversor: Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.

Irradiancia.- Es la densidad de potencia incidente por unidad de superficie, medida en W/m^2 .

Irradiación.- Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en kWh/m^2 .

Kilovatio (kW): Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios.

Kilowatt hora (kWh): La potencia de mil watts aplicada durante una hora (o una potencia equivalente). 1 kWh es una unidad de energía - $1 kWh = 3600$ Joules.

Módulo o Panel Fotovoltaico: Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

Orientación: Ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula, aunque en el caso de España la diferencia no suponga grandes desviaciones.

Punto de máxima potencia de un Panel: Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Radiación directa.- Es la radiación proveniente directamente del disco solar.

Radiación difusa.- Corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera.

Radiación Global.- Es el resultado de la suma de la radiación directa y la difusa.

Radiación reflejada.- Es la radiación reflejada por el suelo (albedo).

Red: Nombre convencional del sistema de distribución de energía eléctrica.

Regulador: Véase Controlador de Carga.

Rendimiento: Es la relación que existe entre la energía que realmente transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.

Seguridad: Las medidas de seguridad contra descarga eléctrica son importantes, ya que no se puede 'apagar' un panel PV expuesto al sol.

Semiconductor: Material con propiedades conductoras intermedias entre un conductor y un aislante. La luz y la temperatura pueden disminuir su resistencia

Silicio: Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.

Sistemas aislados: Sistemas PV sin conexión a la red eléctrica convencional, normalmente en áreas rurales aisladas.

Sistemas conectados a la red: Sistemas de PV conectados a la red eléctrica. Estos sistemas pueden 'exportar' la producción excedente en períodos de buena radiación solar e 'importar' electricidad a la noche o en períodos nublados cuando la demanda excede la producción de los PV.

Sistema PV: Componentes del sistema que transforman la energía solar en energía eléctrica través de la tecnología fotovoltaica incluyendo los paneles y los componentes que conforman el balance del sistema.

Tensión de un Circuito Abierto: Es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.

Tensión Nominal: Diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se llama nominal porque la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la operación.

Vatio (W): Unidad de potencia eléctrica, que equivale a un julio por segundo.

Voltaje: Anglicismo del término Tensión.

Voltio (V): Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz, equivalente a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un conductor cuando al transportar entre ellos un coulomb, se realiza el trabajo de un julio.

SIGLAS

A.- Unidad de corriente (Amperios).

Ah.- Amperio-hora.

Ah (día).- Amperio hora día.

A_r. Tamaño.

AWG.- Diámetro de cable norteamericano.

AGM.- Denota un tipo de construcción de baterías herméticas (Aggregate Glass Mat)

CC.- Corriente Continua.

CA.- Corriente Alterna.

DC.- Corriente Continua.

AC.- Corriente Alterna.

CONELEC.- Consejo Nacional de Electricidad.

D_{AUT}. Días de autonomía de la instalación.

DOD.- (Deep of Discharge o profundidad de descarga)

E (día).- Energía día.

FV.- Sistema Fotovoltaico.

HPS.- Horas Pico Solar.

H.- Irradiación solar diaria incidente.

HP.- Caballos de fuerza.

ISO.- (Organización Internacional de Estándares).

IEC.- (Internacional Electrotécnica Comisión).

INAMHI.-Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

I.- Intensidad en amperios. [A]

Imp.- Corriente para máxima potencia. [A]

ImaxC.- Intensidad máxima de la carga.

Isc.- Corriente en cortocircuito. [A]

kW.- Unidad de medida de Potencia (Kilovatio)

kWh.- Unidad de medida de energía (Kilovatio hora día).

kWh/d.- Unidad de medida de energía (Kilovatio hora día).

kWh/m².- Unidad de medida de energía (Kilovatio hora por metro cuadrado).

K_p.- Coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador.

K_c.- Coeficiente de pérdidas en el inversor.

K_v.- Coeficiente de pérdidas varias.

K_a.- Coeficiente de autodescarga diaria de las baterías.

L.- Longitud en metros.

NREL.- National Renewable Energy Laboratory.

N_p.- número de paneles

N_(Bat).- número de baterías.

N_(Bat-Total).- número total de baterías.

η_p.- Rendimiento del panel.

η.- Eficiencia.

OMM.- Organización Meteorológica Mundial.

ρ.- Conductividad (inversa de la resistividad).



- Pd.-** Profundidad de descarga permitida de la batería en un ciclo diario.
- PDd.-** La profundidad de descarga de la batería.
- Pdmax.-** Máxima profundidad de descarga de la batería.
- R.-** Pérdidas de la Instalación Fotovoltaica.
- R.-** Resistencia en ohmios.
- S.-** Sección del conductor en (mm).
- V.-** Unidad de medida de voltaje (voltios).
- Vmp.-** Tensión para máxima potencia. [V]
- Voc.-** Tensión en circuito abierto. [V]
- Vcc.-** Tensión en corriente continua
- Vca.-** Tensión en corriente alterna
- VRLA. -** (Valve Regulated Lead Acid)
- W.-** Vatios
- W/m².-** Unidad de medida de potencia (vatios por metro cuadrado).
- Wp.-** Es una medida de la potencia nominal de un dispositivo de energía solar fotovoltaica (vatios pico).
- Wh.-** Watts-hora (vatios hora).

Referencias Bibliográficas:

Bibliografía Citada:

- ABELLA M. "Sistemas Fotovoltaicos: Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica". Primera Edición. 2009. Madrid. Era Solar
- ARENAS SÁNCHEZ, Danny Andrés, ZAPATA CASTAÑO, Hodman Steven, "Tesis de grado: Libro Interactivo sobre Energía Solar y sus Aplicaciones", Pereira: 2011, p. 32
- CARTA G. José, "Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables". Madrid: Pearson Educación, 2009. p. 285-286-279-284. ISBN: 978-84-8322-600-1/978-84-362-5878-3.
- CONELEC, "Plan Maestro De Electrificación Del Ecuador 2009-2020" CAPITULO 5.
- CONELEC, "Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. p. 6.
- DE JUANA, José Ma. "Energías Renovables Para El Desarrollo". Primera Edición. Madrid: s.n., 2009. p. 112-135-136. ISBN: 978-84-283-2864-7.
- FERNANDEZ, José Ma. "Fotovoltaica, Termicas y Termoeléctricas (Adaptado al Código Térmico de la Edición y al Nuevo RITE)". Madrid: Mundi-Prensa, 2010. p. 1-283-286-326-341 ISBN: 978-84-96709-51-5/978-84-8476-400-7.
- FRAILE, Daniel, "Dimensionado de un sistema fotovoltaico aislado", Perú: 2011, p. 19-20.
- GONZÁLEZ, Jaime. "Energías Alternativas. Barcelona: Reverté", 2009. ISBN: 978-84-291-7912-5.
- GUEREDIAGA ZURIARRAIN, Ander "Tesis de grado: Diseño de una instalación de energía solar fotovoltaica para generación de energía eléctrica y bombeo de agua de un centro de salud.", Madrid: 2004, p. 41-42-43.

- LEIVA, Francisco, "Nociones de metodología de investigación científica.", Ecuador: 2009, p. 54
- LOPEZ, Luis, "Panel Solar Híbrido Fotovoltaico/Térmico con incremento de eficiencia de sistema fotovoltaico. p. 6
- MORO, Miguel. "Instalaciones Solares Fotovoltaicas". Primera Edición. Madrid : s.n., 2010. p. 5-58-62-63-121-122-123. ISBN: 978-84-9732-776-3.
- MÜLLER, Alfred, " Meteorologische Instrumente", Alemania: 2013, p. 2
- PEÑAFIEL, Juan, SILVA, César, "Tesis de grado: Análisis, Diseño E Implementación de un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso racional y eficiente de energía", Riobamba, 2012, p. 109.
- RABOSO LOPEZ, Antonio Manuel. "Tecnología de los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica." Madrid: s.n., 2012. ISBN: 978-84-7993-883-3.

Bibliografía Consultada:

- Alfred Müller, Meteorologische Instrumente
- BOXWELL, Michael. (2013). Solar Electricity Handbook. USA.
- BRUCE W. Forgan, Solar Radiation Measurement 2011.
- CADENA AÑAZCO, Alejandro Xavier. Tesis de grado: "Guía Para La Preparación De Anteproyectos De Energía Solar Fotovoltaica", Quito, 2009.
- CHIVELET, M. Nuria. (2011). Integración de la Energía Fotovoltaica en Edificios. España. Primera Edición.
- CHUQUÍN, N. (2011). Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (ZELIO). Riobamba, ESPOCH. Tesis de grado.
- Energías Renovables y Ambiente, Rosario, Octubre 2012.

- Guías de Diseño de la Empresa Electrica Ambato Reguional Centro Norte S.A.
- Guía del instalador de Energías Renovables
- HERRERA, V. (2011). Sistema hibrido eólico – fotovoltaico para la generacion de energia electrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de Agua Santa, UTA. Tesis de Grado.
- KALOGIROU, A. Soteris. (2009). Solar Energy Engineering Processes and Systems. USA.
- KLEISSL, Jan. (2013). Solar Energy Forecasting and Resource Assessment. USA. Primera Edición.
- Libro de Energías Renovables para el desarrollo primera edición.
- RABOSO LOPEZ, Antonio Manuel. "Tecnología de los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica." Madrid: s.n., 2012. ISBN: 978-84-7993-883-3. p. 5-25-26.
- ROSEMANN, Reinhold. (2014). A Guide to Solar Radiation Measurement from Sensor to Application. USA. Primera Edición.

Bibliografía Virtual:

- Anónimo “Medida de la radiación solar”, [ref. de 25 Noviembre 2014] Disponible en web: <<http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/tema-5>>
- “Apogee Instruments Pyranometer”, [ref. de 23 Mayo 2014] Disponible en web: <<http://www.apogeeinstruments.co.uk/pyranometer-separate-sensor-with-handheld-meter-mp-200/>>
- Cablec. “Características generales de los conductoresc ” 2014 [ref. 3 de diciembre 2014] Disponible en web: <http://electrocable.com/productos/cobre/TTU-06.html>
- “Componentes de una instalación solar fotovoltaica”, [ref. de 21 mayo 2014] Disponible en web: <<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>>

- CONELEC, “Atlas solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, 12 de Marzo 2008 [ref. de 16 Mayo 2014] Disponible en web: <http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf>
- “Energía fotovoltaica”, Disponible en web: <http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html>
- Heliógrafo (meteorología), [ref. de 26 Mayo 2014] Disponible en web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Heli%C3%B3grafo_%28meteorolog%C3%ADa%29>
- Matthias Loster “Oferta Total de Energía Primaria - A partir de la luz del sol” [en línea]. Agosto 2010 [ref. de 14 Mayo 2014] Disponible en web: <http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/>
- NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO 14 ENERGÍAS RENOVABLES, 25 de marzo de 2012 [ref. de 19 Mayo 2014] Disponible en web: <<http://www.cimeg.org.ec/normasnec/NEC2011-CAP.14 ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf>>
- Paul W. Stackhouse “Surface meteorology and Solar Energy” [en línea]. John M. Kusterer. A renewable energy resource web site, 18 de Noviembre 2013 [ref. de 15 Mayo 2014] Disponible en web: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>>
- Proviento. "Energía Renovable" 2014 [ref. de 8 Septiembre 2014] Disponible en web: <http://www.proviento.com.ec/>
- “Resistividad, Tabla de resistividades de algunos materiales”, [ref. de 5 Agosto 2014] Disponible en web: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Resistividad>>
- Sistemas de Generación con Energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red hasta 100 Kw en el Ecuador [ref. de 22 Mayo 2014] Disponible en web: <<http://www.cicp-ec.com/pdf/3.%20ENERGIA%20RENOVABLE-2.pdf>>
- 3TIER “Global Mean Solar Irradiance” [en línea]. Vaisala, [ref. de 12 Mayo 2014] Disponible en web: <<http://www.3tier.com/en/support/resource-maps/>>

ANEXOS

ANEXO N° 1: Ficha de entrevista a los encargados del sistema de bombeo de agua.

ANEXO N° 2: Características Técnicas del Panel 190 Wp.

ANEXO N° 3: Datos Técnicos de la Batería

ANEXO N° 4: Especificaciones técnicas del inversor

ANEXO N° 5: Datos técnicos del regulador

ANEXO N° 6: Datos Técnicos Del Conductor TW

ANEXO N° 7: Datos Técnicos Del Conductor TTU

ANEXO N° 8: Toma de Datos de la bomba.

ANEXO N° 9: Placa de característica de la bomba.

ANEXO N° 10: Ubicación física de la bomba.

ANEXO N° 11: Toma de datos de irradiancia in-situ

ANEXO N° 12: Pruebas del panel fotovoltaico.

ANEXO N° 13: Diagrama unifilar del sistema de bombeo de agua.

ANEXO N° 14: Diagrama unifilar del sistema de iluminación.

ANEXO N° 15: Plan de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico