



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA

**Diseño e implementación de una central de energía
fotovoltaica para el bombeo de agua subterránea en el
sector de Cataviña (Santa Isabel).**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

ORTEGA ORMAZA ANDRÉS ESTEBAN

TENEZACA PAREDES BYRON FABRICIO

Director:

ING. VÁZQUES CALERO FRANCISCO EUGENIO

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA:

Este trabajo lo dedico a mis padres, Boris Ortega y Talía Ormaza, quienes han sido mis más grandes apoyos y motivadores a lo largo de todos mis años y en todos los aspectos de mi vida, ellos han sabido darme la guía necesaria para poder alcanzar los diferentes objetivos que me he planteado a lo largo de mi vida y estoy seguro de que sin ellos nada de esto sería posible.

También quiero dedicar un agradecimiento especial a mis dos hermanas, Thalía y Fabiola, quienes han sido dos personas incondicionales las cuales me motivan a ser mejor cada día para poder ser el hermano que ellas se merecen.

A mis abuelos, quienes han sido los ejemplos a seguir en mi vida, gracias por todos sus consejos y el amor que me han sabido entregar día a día.

No podría dejar de mencionar a mis amigos, mis hermanos con otro apellido, Israel, José, Galo, Mauricio, Juan, Byron, y a todos los otros quienes hicieron que el camino recorrido en la universidad sea inolvidable, gracias por todo el tiempo compartido. En fin, gracias a todas a esas personas que siempre me han apoyado y que de alguna u otra manera han estado a mi lado permitiéndome ser quien soy hoy en día.

Andrés Ortega O.

DEDICATORIA:

Este trabajo de graduación va dedicado en especial a mis padres Hugo y Cecilia, como símbolo de gratitud al apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida, guiándome día tras día a ser un hombre de bien; dando todo de su parte para hoy culminar con gran ilusión una etapa más. A ellos, quienes son mi modelo a seguir.

A mis hermanas Jhesenia y Joseline, quienes han estado siempre a mi lado ayudándome a superar los diferentes obstáculos que se han presentado durante toda mi carrera.

A mis grandes amigos que han estado presente en todos los momentos e hicieron que mi vida universitaria sea inolvidable. Gracias totales por ser parte de mi vida.

Byron Tenezaca P.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos a la universidad del Azuay, por ser el espacio donde pudimos obtener todos los conocimientos necesarios que nos permitirán enfrentarnos a una vida laboral cada día más difícil y competitiva. A todos nuestros profesores, quienes entregaron su mayor esfuerzo en las clases impartidas permitiéndonos tener los conocimientos necesarios para poder alcanzar el objetivo deseado de culminar exitosamente los estudios universitarios.

A nuestro director de Tesis, Ing. Francisco Vázquez, por su tiempo y por guía a lo largo del desarrollo de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA:	ii
AGRADECIMIENTOS:	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
 CAPÍTULO I: MARCO TEORICO	 19
 1.1 Paneles Fotovoltaicos	 19
1.1.1 Energías renovables	20
1.1.1.1Tipos de energías renovables	20
1.1.1.2 Energía Renovable en el Ecuador	22
1.1.2 Energía solar fotovoltaica	23
1.1.3 Efecto fotovoltaico.....	23
1.1.4 Célula fotovoltaica	25
1.1.5 Panel fotovoltaico	27
1.1.5.1 Constitución de un panel fotovoltaico	27
1.1.5.2 Aspectos eléctricos de los paneles fotovoltaicos	28
1.1.5.3 Representación de un panel fotovoltaico	29
1.1.5.4 Efectos de la intensidad luminosa sobre un panel fotovoltaico	29
1.1.5.5 Efectos de temperatura sobre un panel fotovoltaico	30
1.1.5.6 Tipos de paneles fotovoltaicos	31

1.2 Radiación Solar	32
1.2.1 Irradiancia solar	32
1.2.2 Irradiación solar	32
1.3 Bombas Hidráulicas	33
1.3.1 Tipos de Bombas.	34
1.3.1.1 Bombas Volumétricas o de Desplazamiento Positivo	34
1.3.1.2 Bombas Rotodinámicas.....	39
1.3.2 Tipos de accionamiento para bombas hidráulicas	40
1.3.2.1 Eléctrico	40
1.3.2.2 Neumático	40
1.3.2.3 Hidráulico.....	41
1.3.2.4 Manual	42
 CAPÍTULO II: PLANEAMIENTO Y ESTUDIO GEOGRAFICO DEL	
LUGAR A SER INTERVENIDO	43
 2.1 Estudio demográfico del lugar a ser intervenido.....	43
2.2 Análisis de la radiación solar en el sector de Cataviña	49
2.3 Condiciones climáticas del sector de Cataviña	50
 CAPÍTULO III: CÁLCULOS, ANÁLISIS, SIMULACIONES Y AJUSTE DE	
VALORES.	52
 3.1 Cálculos	52
3.1.1 Componente hidráulico.....	52
3.1.1.1 Carga estática	53
3.1.1.2 Carga dinámica.....	55

3.1.2 Generación fotovoltaica	59
3.1.2.1 Potencia fotovoltaica	60
3.1.2.2 Agrupación de paneles	61
3.1.2.3 Orientación de paneles	66
3.1.3 Cálculo de la tapa de bombeo	69
3.1.3.1 Cálculo de potencia	70
3.1.3.2 Análisis de la curva de funcionamiento:	71
3.1.3.3 Cálculo del volumen de agua diario	72
3.1.4 Cálculo de conductores	72
3.2 Simulación de datos obtenidos	74
3.2.1 Simulación de inclinación y potencia de paneles	74
3.2.2 Simulación de etapa de bombeo	76
3.2.2.1 Lorentz PumpMANAGER.....	76
3.2.2.1 Atersa EasySun Pump	79
3.3 Ajuste de valores	81

CAPÍTULO IV: ELECCIÓN DE EQUIPOS Y ADQUISICIÓN DE LOS MISMOS

82

4.1 Análisis de las características de los equipos	82
4.1.1 Análisis técnico de los paneles fotovoltaicos	82
4.1.2 Análisis de los equipos para la etapa de bombeo.....	84
4.1.2.1 Franklin Solar Pack 25sdsp 3HP	84
4.1.2.2 Lorentz PS4000 C-SJ5-25.....	89
4.2 Análisis del costo total del proyecto.....	93

CAPITULO V: MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO	97
5.1 Características del sistema Fotovoltaico	97
5.1.1 Generación fotovoltaica	98
5.1.1.1 Interconexión de paneles fotovoltaicos	98
5.1.1.2 Tipos de controladores	99
5.1.2 Etapa de bombeo.....	99
5.2 Usos y manejo de los equipos	99
5.2.1 Consideraciones generales al manipular los elementos del sistema	99
5.2.2 Paneles solares	99
5.2.3. Controlador de potencia.....	100
5.2.4 Bomba solar	100
5.3 Mantenimiento del sistema fotovoltaico	100
5.3.1 Mantenimiento preventivo	100
5.4 Mantenimiento correctivo	102
5.3.2.1 Mantenimiento del panel solar	102
5.3.2.2 Mantenimiento del controlador de potencia.....	103
5.3.2.3 Mantenimiento de la bomba.....	104
5.3.3 Consideraciones para un mantenimiento en tensión.....	105
 CAPITULO VI: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	 107
6.1 Resultados de las pruebas de bombeo	107
6.2 Proyecciones después de la prueba de bombeo	111
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 114
REFERENCIAS	117

ANEXOS	122
---------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Central de energía hidráulica	20
Figura 1.2 Central de energía eólica	20
Figura 1.3 Central de energía solar	21
Figura 1.4 Central de energía geotérmica	21
Figura 1.5 Central de energía mareomotriz.....	22
Figura 1.6 Central de energía de biomasa	22
Figura 1.7 Producción mensual de energía eléctrica por tipo en el Ecuador	23
Figura 1.8 Dispositivo para estudio de efecto fotoeléctrico.....	24
Figura 1.9 Modelo circuital célula fotovoltaica	25
Figura 1.10 Elementos de un panel fotovoltaico.....	28
Figura 1.11 Curva característica de un panel fotovoltaico.....	29
Figura 1.12 Efecto de la irradiación sobre la característica I-V de un panel FV	30
Figura 1.13 Efecto de la temperatura sobre el panel FV	31
Figura 1.14 Software en línea de la Atmospheric science data center para el cálculo de irradiación.....	33
Figura 1.15 Bomba de engranajes internos	35
Figura 1.16 Bomba de paletas deslizantes	36
Figura 1.17 Bomba pesada de paleta deslizante.....	37
Figura 1.18 Bomba de paleta rodante	37
Figura 1.19 Bomba de paleta flexible	38
Figura 1.20 Bomba de accionamiento eléctrico	40
Figura 1.21 Bomba de accionamiento neumático	41
Figura 1.22 Bomba de accionamiento Hidráulico.....	41
Figura 1.23 Bomba de accionamiento manual	42
Figura 2.1 Resultados de la encuesta No1	45
Figura 2.2 Resultados de la encuesta No2	46
Figura 2.3 Atlas solar del Ecuador provincias de Azuay y El Oro	49
Figura 3.1 Tanques de reserva de 30.000l construidos para el desarrollo del proyecto	53
Figura 3.2 Carga estática de un sistema de bombeo	53
Figura 3.3 Perforación y pruebas de bombeo por parte de la prefectura del Azuay ..	54

Figura 3.4 Cono de abatimiento	55
Figura 3.5 Diagrama de conexión de paneles solares	61
Figura 3.6 Conexión de paneles en serie.....	62
Figura 3.7 Conexión de paneles en paralelo	64
Figura 3.8 Aparición de máximos locales de potencia debidos al sombreado de paneles conectados en serie.....	65
Figura 3.9 Diagrama de conexión de paneles en serie y paralelo (dos ramas en paralelo de dos paneles en serie cada una).....	66
Figura 3.10 Ángulos azimut y beta de un panel fotovoltaico	66
Figura 3.11 Promedio del ángulo azimut en el cantón Santa Isabel durante un día ..	67
Figura 3.12 Panel solar sobre un seguidor de dos ejes.....	69
Figura 3.13 Curva característica de una bomba	71
Figura 3.14 Captura de pantalla del software PVSys en su pantalla de selección de locación del proyecto	75
Figura 3.15 Software PVSys en su pantalla de muestra de datos con ángulo de inclinación y azimut de 30°	76
Figura 3.16 Software PVSys en su pantalla de muestra de datos con ángulo de inclinación de 10° y azimut de 0°	76
Figura 3.17 Selección de datos de ubicación del proyecto en Software Lorentz PumpMANAGER	77
Figura 3.18 Volumen de agua extraída en promedio mensual según software Lorentz PumpMANAGER	78
Figura 3.19 Volumen de agua extraída en promedio por hora según software Lorentz PumpMANAGER	78
Figura 3.20 Diagrama de conexión de panles fotovoltaicos según software Lorentz PumpMANAGER	79
Figura 3.21 Datos del pozo y curvas de funcionamiento para las diferentes bombas de la marca EasyPum	80
Figura 4.1 Curva característica de Franklin Solar Pack 25SDSP	84
Figura 4.2 Curva característica de Lorentz PS4000 C-SJ5-25.....	89
Figura 4.4 Cotización Franklin solar Pack por Acero Comercial S.A.....	93
Figura 4.5Cotizacion Lorentz PS4000-CSJ5-25	94
Figura 4.6Cotizacion de 12 paneles solares SunLink	94
Figura 4.7 Inicios de los trabajos de construcción de cuarto de máquinas	95

Figura 4.8 Construcción de cuarto de máquinas	96
Figura 4.9 Finalización de la construcción del cuarto de máquinas	96
Figura 4.10 Instalación de los primeros paneles fotovoltaicos	96
Figura 5.1 Componentes de un sistema solar fotovoltaico	98
Figura 6.1 Autoridades del Cantón Santa Isabel	107
Figura 6.2 Panel solar y pirómetro utilizados en la prueba de bombeo	108
Figura 6.3 Bomba Shurflo 9325	109
Figura 6.4 Especificaciones técnicas de la bomba Shurflo 9325	110
Figura 6.5 Moradores del sector presentes en la prueba de bombeo	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Eficiencia de las diferentes tecnologías de fabricación de células fotovoltaica.....	27
Tabla 2.1 Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.....	47
Tabla 2.2 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio	48
Tabla 2.3 Irradiación solar diaria promedio mensual y anual presente en Cataviña..	49
Tabla 2.4 Valores de temperatura y humedad promedio mensual y anual en Cataviña	51
Tabla 3.1 Constante K para tubos de PVC y acero galvanizado.....	56
Tabla 3.2 Resultados del cálculo de pérdidas en la tubería por el método de Fair - Whipple	59
Tabla 3.3 Ángulo de inclinación en relación a la latitud del lugar	68
Tabla 3.4 Eficiencia de las bombas según su potencia y factor de seguridad.....	70
Tabla 3.5 Tabla de sección de conductores AWG	74
Tabla 3.6 Datos obtenidos de caudal promedio extraído por día y por mes en el software EasyPump.....	80
Tabla 3.7 Datos finales para el desarrollo del proyecto	81
Tabla 4.1 Coeficientes de temperatura de los paneles SunLink SL220-20SP250	83
Tabla 4.2 Características eléctricas de los paneles SunLink SL220-20SP250	83
Tabla 4.3 Características eléctricas del controlador SolrDrive Franklin	86
Tabla 4.4 Características eléctricas del controlador PS-4000.....	90
Tabla 4.5 Características para generador FV, motor y bomba del controlador PS-4000.....	90
Tabla 4.6 Lista de materiales para el proyecto.....	93
Tabla 4.7 Lista de elementos y costo de los mismos	95
Tabla 6.1 Hoja de datos de la bomba Shurflo 9325.....	109
Tabla 6.2 Resultados de las pruebas de bombeo.....	112
Tabla 6.3 Resultados de la proyección de bombeo	113

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 2.1	122
Anexo 2.2	123
Anexo 5.1	124

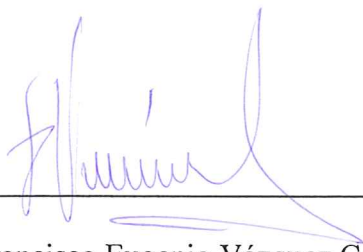
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA PARA EL BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL
SECTOR DE CATAVIÑA (SANTA ISABEL).**

RESUMEN

El proyecto realizado consiste en el diseño e implementación de una central de energía solar fotovoltaica que permitirá accionar una bomba de agua sumergible, capaz de extraer el volumen de agua necesario para el consumo de los habitantes del sector de Cataviña, en el cantón Santa Isabel. La energía generada por los paneles fotovoltaicos será la alimentación de un controlador que a su vez comandará una bomba de agua.

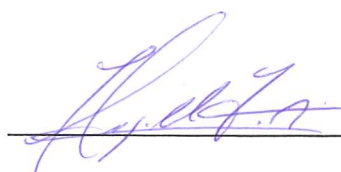
Se realizarán simulaciones en softwares como PVsyst, V5.74, PumpMANAGER y EasySun pump donde se observará el comportamiento tanto de la central de energía solar como de la bomba que extraerá el agua subterránea

Palabras Clave: Energía renovable, Panel fotovoltaico, Bomba sumergible, Controlador, PVsyst, V5.74, Lorentz PumpMANAGER, Artesa EasySun pump.



Francisco Eugenio Vázquez Calero

Director del Trabajo de Titulación



Hugo Marcelo Torres Salamea

Director de Escuela



Andrés Esteban Ortega Ormaza



Byron Fabricio Tenezaca Paredes

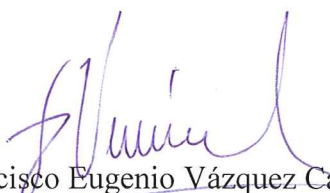
Autores

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY PLANT FOR
GROUNDWATER PUMPING IN THE SECTOR OF CATAVIÑA (SANTA ISABEL)**

ABSTRACT

The project deals with the design and implementation of a photovoltaic solar energy plant that will enable to power submersible water pump to extract the volume of water needed for the consumption of the inhabitants of the sector of *Cataviña* in Santa Isabel canton. The energy generated by the photovoltaic panels will feed a controller, which in turn will command a water pump. Simulations will be conducted in software like PVsyst, v5.74, PumpMANAGER and EasySun pump, which will enable to observe the behavior of the solar power as well as of the pump that will extract groundwater.

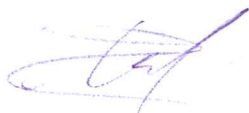
KEYWORDS: Renewable Energy, Photovoltaic Panel, Submersible Pump, Controller, PVsyst, V5.74, Lorentz PumpMANAGER, Artesa Easysun Pump.



Francisco Eugenio Vázquez Calero
Thesis Director



Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director



Andrés Esteban Ortega Ormaza



Byron Fabricio Tenezaca Paredes

Authors



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA PARA EL BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL
SECTOR DE CATAVIÑA (SANTA ISABEL).**

RESUMEN

El proyecto realizado consiste en el diseño e implementación de una central de energía solar fotovoltaica que permitirá accionar una bomba de agua sumergible, capaz de extraer el volumen de agua necesario para el consumo de los habitantes del sector de Cataviña, en el cantón Santa Isabel. La energía generada por los paneles fotovoltaicos será la alimentación de un controlador que a su vez comandará una bomba de agua.

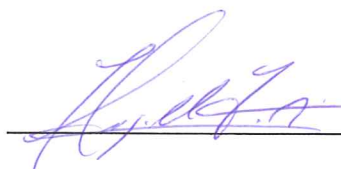
Se realizarán simulaciones en softwares como PVsyst, V5.74, PumpMANAGER y EasySun pump donde se observará el comportamiento tanto de la central de energía solar como de la bomba que extraerá el agua subterránea

Palabras Clave: Energía renovable, Panel fotovoltaico, Bomba sumergible, Controlador, PVsyst, V5.74, Lorentz PumpMANAGER, Artesa EasySun pump.



Francisco Eugenio Vázquez Calero

Director del Trabajo de Titulación



Hugo Marcelo Torres Salamea

Director de Escuela



Andrés Esteban Ortega Ormaza



Byron Fabricio Tenezaca Paredes

Autores

Ortega Ormaza Andrés Esteban

Tenezaca Paredes Byron Fabricio

Trabajo de Titulación

Ing. Francisco Eugenio Vázquez Calero

Septiembre, 2016.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL DE ENERGÍA
FOTOVOLTAICA PARA EL BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL
SECTOR DE CATAVIÑA (SANTA ISABEL).**

INTRODUCCIÓN

La realización del diseño e implementación de un sistema para bombeo de agua subterránea utilizando paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica, responden a la necesidad de entregar agua potable a la comunidad de Cataviña, donde entrar con sistemas cableados de energía eléctrica para realizar el bombeo de agua subterránea, resulta una inversión sumamente costosa. Por este motivo, las autoridades cantonales de Santa Isabel, han considerado oportuna la inserción de sistemas de energía renovable que permitirán extraer y distribuir el agua subterránea que se encuentra en el antes mencionado sector. El problema principal que se intenta resolver con la ejecución de este proyecto, es la falta de agua potable en el sector de Cataviña, el cual, por su ubicación geográfica, cuenta con gran cantidad de agua subterránea, pero la extracción de la misma requiere de un sistema de bombeo que necesita ser alimentado con energía eléctrica.

La red cableada de energía eléctrica resulta de costosa implementación, ya que el lugar donde se ha realizado la perforación, resulta muy lejano desde la línea de tensión principal que alimenta a la comunidad, lo cual hace que la inversión de una nueva red instalada únicamente para alimentar una bomba de extracción sea ineficiente.

Adicionalmente, los moradores han explicado que el servicio de energía eléctrica en el sector es muy irregular y no de la mejor calidad, pues sufren de variaciones de tensión constantes, lo cual puede ocasionar que los equipos, en caso de estar conectados directamente a la red, sufran daños.

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de cálculos que permitan generar una potencia eléctrica a través del uso de paneles fotovoltaicos suficiente para poder alimentar un sistema de bombeo de agua subterránea capaz de satisfacer las necesidades de los moradores de la comunidad.

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

En este capítulo se realizará un recorrido general por los diferentes conceptos necesarios para comprender el trabajo a desarrollarse posteriormente. Se desarrollarán algunos conceptos de suma importancia que permitirán entender y comprender el funcionamiento de una central de energía solar y de un sistema de bombeo fotovoltaico.

Como el proyecto depende enteramente de la radiación solar, se definirán conceptos importantes de radiación, irradiación e irradiancia solar, de la misma manera, se explicaran en qué consisten los dos elementos más importantes para el desarrollo del proyecto como son paneles solares y bombas de agua, se abordaran algunas características de los mismos, así como sus tipos, sus elementos constitutivos los tipos y características eléctricas y electrónicas más sobresalientes que permitirán tener una idea más clara de funcionamiento del sistema de bombeo en general,.

1.1 Paneles Fotovoltaicos

Antes de poder exponer en que consiste un panel fotovoltaico, es necesario definir algunos conceptos previos útiles, que facilitaran la comprensión del concepto de panel fotovoltaico; estos conceptos son:

1. Energías Renovables
2. Energía solar fotovoltaica
3. Efecto fotovoltaico
4. Célula Fotovoltaica.

1.1.1 Energías renovables

Las energías renovables, son fuentes de energía virtualmente infinita capaz de producir electricidad sin generar efectos adversos al medioambiente; se puede decir que existen los siguientes tipos de energías renovables:

1.1.1.1 Tipos de energías renovables

- **Energía hidráulica:** Producida por la transformación de energía cinética presente en una caída de agua, a energía eléctrica generada a través del movimiento de turbinas generadoras gracias al movimiento del agua. En la figura 1.1 se muestra una central de energía hidráulica



Figura 1.1 Central de energía hidráulica

Fuente: (Alejandro Ponsot)

- **Energía eólica:** Producida por el movimiento de generadores gracias a la acción del viento sobre ellos. En la figura 1.2 se muestra una central de energía eólica.



Figura 1.2 Central de energía eólica

Fuente: (INTI)

- **Energía solar:** Energía producida por la incidencia de radiación solar sobre materiales semiconductores que utilizan el efecto fotovoltaico. En la figura 1.3 se muestra una central de energía fotovoltaica.



Figura 1.3 Central de energía solar

Fuente: (Martinez, 2010)

- **Energía geotérmica:** Energía presente en el interior de la tierra en diferentes fuentes de calor (volcanes, agua térmica). La figura 1.4 muestra la composición de una central de energía geotérmica.

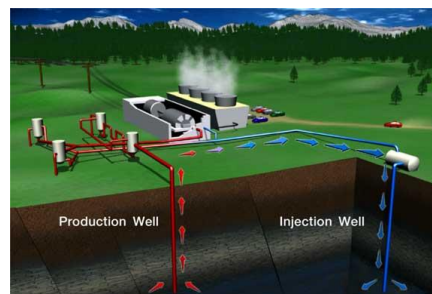


Figura 1.4 Central de energía geotérmica

Fuente: (Pepactma, 2013)

- **Energía mareomotriz:** Energía generada por el movimiento del agua en los mares y las mareas. La figura 1.5 muestra una central de energía mareomotriz.

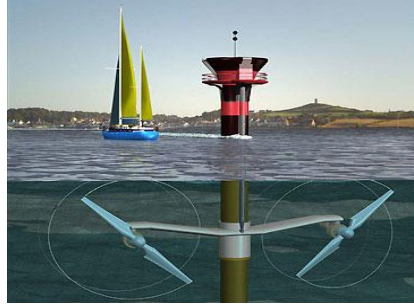


Figura 1.5 Central de energía mareomotriz

Fuente: (Almeida, 2016)

- **Energía de la biomasa:** Energía procedente de la materia orgánica y su descomposición; proceso en el que se liberan gases combustibles. La figura 1.5 muestra una planta de energía de biomasa



Figura 1.6 Central de energía de biomasa

Fuente: (Isan, 2016)

1.1.1.2 Energía Renovable en el Ecuador

En el país la generación de energías renovables ha aumentado a través de los últimos años, superando inclusive a la energía no renovable producida, esto debido al cambio de políticas que buscan una generación más limpia de energía y amigable con el medio ambiente. La figura 1.7 muestra el total de potencia energética producida a nivel nacional según el tipo de fuente energética; estos datos son presentados por Agencia de Regulación y Control de Electricidad

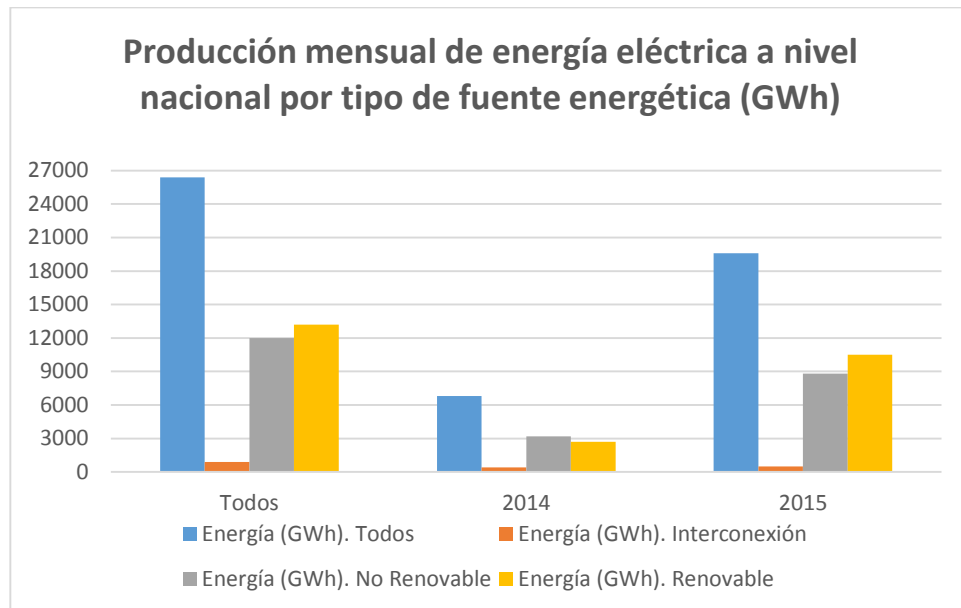


Figura 1.7 Producción mensual de energía eléctrica por tipo en el Ecuador

Fuente: (ARCONEL, 2015)

1.1.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, no es más que energía eléctrica, generada en un material semiconductor llamado célula fotovoltaica, debido a la incidencia de la radiación solar sobre este dispositivo, que utiliza el efecto fotovoltaico para generar electricidad.

En los últimos años, este tipo de energía renovable ha tenido un gran desarrollo, tanto en su uso como en el desarrollo de tecnologías cada vez más económicas que permitan utilizar este tipo de energía con costos cada vez más competitivos.

1.1.3 Efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones de un material sobre el cual incide una radiación electromagnética. Descubierta por Alexandre Edmond Bequerel, físico francés en el año de 1839 luego de observar en una pila electrolítica con electrodos de platino, que la corriente incrementaba cuando uno de los electrodos era expuesto a la luz (Montoya Rasero, 2010).

Estudios posteriores, realizados por Albert Einstein en 1905, permitieron entender de una mejor manera el efecto fotoeléctrico. Einstein escribió en su trabajo “La

concepción usual, de que la luz está distribuida continuamente en el espacio en el que se propaga, encuentra dificultades muy serias cuando uno intenta explicar los fenómenos fotoeléctricos, tal como los apuntó Lenard en su trabajo pionero”. (Montoya Rasero, 2010).

De acuerdo con el concepto de que la luz incidente consiste de cuantos de energía de magnitud igual al producto de la constante de Planck h por la frecuencia de la luz, sin embargo, uno puede concebir la expulsión de electrones por la luz de la manera siguiente. Cuantos de luz penetran la capa superficial del cuerpo y su energía se transforma, por lo menos en parte, en energía cinética de los electrones. La manera más sencilla de imaginar esto es que un cuanto de luz entrega toda su energía a un solo electrón; se supone que esto es lo que sucede. Un electrón al que se le ha impartido energía cinética dentro del cuerpo habrá perdido parte de esta energía al tiempo que llegue a la superficie. Además, se supone que para poder escapar del metal electrón tiene que hacer una determinada cantidad de trabajo, característico de la sustancia en cuestión.” (Einstein, 1905)

La figura 1.8 muestra un dispositivo típico que permite analizar el efecto fotoeléctrico: El metal A es iluminado emitiendo electrones que serán recogidos por el colector B. Entre A y B existe una diferencia de potencia que se puede variar arbitrariamente según la luz incidente en el sistema. El galvanómetro G muestra la cantidad de electrones recogidos por unidad de tiempo. (Eliezer, 1986)

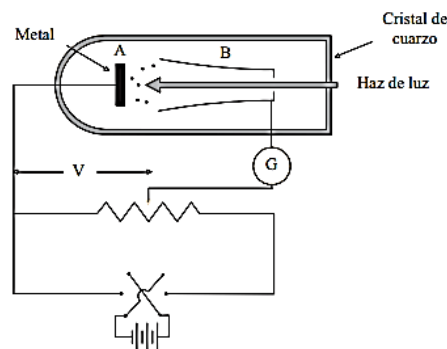


Figura 1.8 Dispositivo para estudio de efecto fotoeléctrico

Fuente: (Einstein, 1905)

1.1.4 Célula fotovoltaica

La célula fotovoltaica es un dispositivo semiconductor, con una unión p-n diseñado de manera, que sea muy sensible a la luz incidente sobre ella. Estas aprovechan el efecto fotovoltaico expuesto anteriormente, para generar energía eléctrica. Las células fotovoltaicas, se fabrican con materiales sólidos, líquidos o gaseosos, pero los sólidos semiconductores han resultado ser los mejores por su eficiencia; según el material semiconductor utilizado, las células pueden ser elaboradas con una película delgada o gruesa.

A continuación, la figura 1.9 presenta un modelo circuital de una célula fotovoltaica donde:

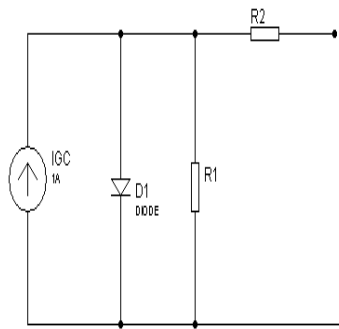


Figura 1.9 Modelo circuital célula fotovoltaica
Fuente: (Chavarria Roe, 2010)

Donde:

IGC: corriente inducida por la luz incidente dependiente de G (irradiancia) y T (temperatura) en amperios (A)

D1: corriente a través del diodo formado por la unión p-n en amperios (A)

R1: resistencia por imperfecciones en la unión p-n en ohmios (Ω)

R2: resistencia interna de la célula ohmios (Ω)

El modelo de la célula, se representa de forma simplificada, asumiendo que R1 y R2 = 0 a través de la siguiente ecuación:

$$i_{pv} = IGC (G, T) - D1 (T) \text{ (ec. 1.1)}$$

$$i_{pv} = IGC - Isat \left\{ e^{\frac{V_{pv} + i_{pv} \cdot R_2}{\eta V_t}} - 1 \right\} - \frac{V_{pv} + i_{pv} \cdot R_2}{R_1}$$

$$i_{pv} = IGC - Isat \left\{ e^{\frac{V_{pv}}{\eta V_t}} - 1 \right\}; \text{ Con } R_1 = 0 \text{ y } R_2 \text{ tendiendo al infinito}$$

Donde:

n = constante según la fabricación de la célula

$Isat$ = corriente de saturación del diodo en amperios (A)

V_t es la tensión térmica, definida como:

$$V_t = \frac{KT}{e} \text{ (ec 1.2)}$$

Donde:

K = constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

T = temperatura en Kelvin

e = energía del electrón (Chavarria Roe, 2010)

En la actualidad, la fabricación de células fotovoltaicas, tiene como elemento principal al silicio cristalino. En la tabla 1.1 se muestra la eficiencia obtenida en cada una de las diferentes tecnologías utilizadas (Green, Emery, Hishikawa, & Warta, 2008).

Tabla 1.1 Eficiencia de las diferentes tecnologías de fabricación de células fotovoltaica

Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)	Eficiencia típica en módulos comerciales (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13-15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12-14
Película de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	(8-11)
Película de silicio cristalino sobre vidrio		Película delgada	9	
Silicio amorfo (incluye tandems silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	13	6-9
Diseleniuro de cobre-indio / galio	GIGS	Película delgada	18	(8-11)
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18	(7-10)
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO ₂ sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tandems de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)	

Fuente: (Lp, 2016)

1.1.5 Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico, no es más que el conjunto de células fotovoltaicas conectadas en serie y paralelo capaces de generar un voltaje y corriente deseadas por el usuario; estos paneles utilizan el efecto fotovoltaico para generar energía eléctrica a partir de la incidencia de luz sobre un material semiconductor.

1.1.5.1 Constitución de un panel fotovoltaico

Como se puede observar en la figura 1.10, un panel fotovoltaico está compuesto por:

- Cubierta exterior.
- Capa encapsulante anterior.
- Células fotovoltaicas.

- Capa encapsulante posterior.
- Protección posterior.
- Marco soporte.
- Contactos eléctricos de salida.

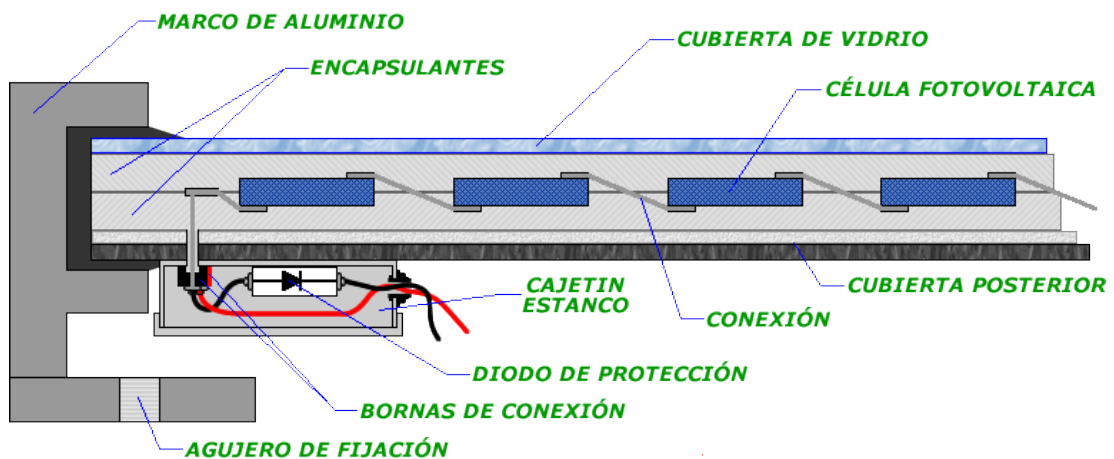


Figura 1.10 Elementos de un panel fotovoltaico

Fuente: (Universidad de Jaen, 2016)

1.1.5.2 Aspectos eléctricos de los paneles fotovoltaicos

Existen algunos aspectos eléctricos característicos de cada panel que permiten seleccionar el más adecuado para cada aplicación, estos son:

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** corriente presente en el panel cuando se conectan los dos terminales del mismo sin ninguna carga.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** voltaje máximo que entrega el panel al ser expuesto a radiación solar.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}):** es la corriente que entrega el panel en el punto de máxima potencia del mismo.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}):** voltaje generado en el panel en el punto de máxima potencia.
- **Máxima potencia (P_{mp}):** valor de potencia que genera el panel en óptimas condiciones de radiación y ubicación.

- **Eficiencia:** relación entre la energía generada por el panel y la energía incidente.

1.1.5.3 Representación de un panel fotovoltaico

La representación más utilizada para caracterizar a un panel fotovoltaico es su curva corriente-tensión; en la misma se considera condiciones estándar de radiación y temperatura (1000W/m^2 y 25°C). La figura 1.11 muestra la curva característica de un panel fotovoltaico.

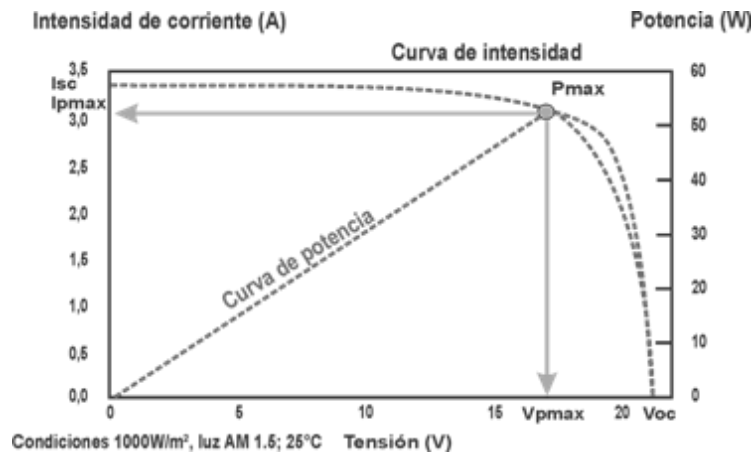


Figura 1.11 Curva característica de un panel fotovoltaico
Fuente: (Ramírez, 2016)

1.1.5.4 Efectos de la intensidad luminosa sobre un panel fotovoltaico

La intensidad de la luz que incide sobre el panel, afecta de manera lineal a la corriente de cortocircuito del mismo puesto que la corriente que genera el panel es proporcional a la irradiancia de luz. La figura 1.12 muestra el efecto de la irradiación sobre la característica corriente - voltaje de un panel fotovoltaico; esto se puede demostrar a través de la siguiente fórmula:

$$I_{sc} = I_{sc}(E_1) \frac{E_2}{E_1} \quad (\text{ec. 1.3})$$

Donde:

$I_{sc}(E2)$ = corriente de cortocircuito para un nivel de irradiancia E2 en amperios (A)

$I_{sc}(E1)$ = corriente de cortocircuito para un nivel de irradiancia E1 en amperios(A)

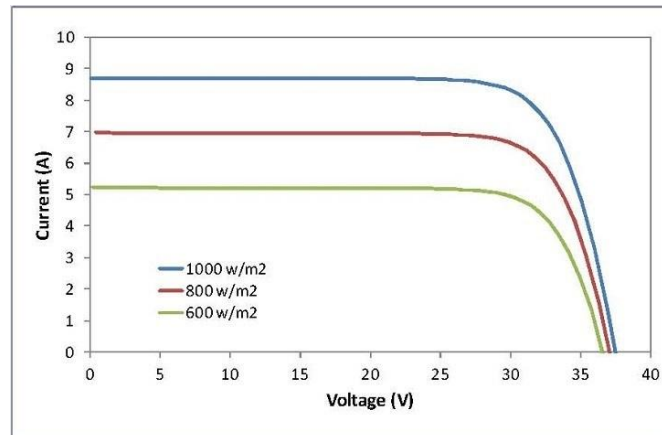


Figura 1.12 Efecto de la irradiación sobre la característica I-V de un panel FV
Fuente: (Ingemecánica, 2016)

1.1.5.5 Efectos de temperatura sobre un panel fotovoltaico

Un cambio en temperatura genera un cambio tanto de voltaje como de corriente de un panel, como se muestra en la figura 1.13, siendo el voltaje el más afectado por este agente; mientras la temperatura del panel aumenta; el voltaje disminuye de manera significativa y aunque la corriente aumenta, este aumento no compensa la pérdida de voltaje la cual es más pronunciada traduciéndose esto en una menor producción de potencia eléctrica por parte del panel. Estos valores de cambio en corriente y voltaje según la temperatura, generalmente se expresan en las hojas de datos de los diferentes fabricantes, así, α representa el cambio en corriente, β muestra el cambio del voltaje y γ la variación en la potencia. De no ser así, se pueden utilizar los siguientes expresados en la normativa UNE 60891:

$$\alpha \approx 1.5 \text{ mA/}^{\circ}\text{C}$$

$$\beta \approx -2.3 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$$

$$\gamma \approx -0.0044 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

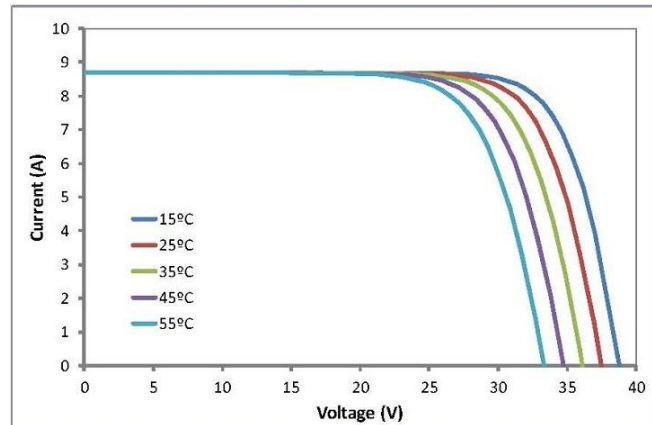


Figura 1.13 Efecto de la temperatura sobre el panel FV

Fuente: (Ingemecánica, 2016)

1.1.5.6 Tipos de paneles fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de paneles fotovoltaicos según los materiales utilizados en las células fotovoltaicas para su elaboración y su forma final:

- **Paneles con células de arseniuro de galio:** su rendimiento es cercano al 27% - 28%, presentan tecnología poco avanzada y costes elevados.
- **Paneles con células de sulfuro de cadmio y sulfuro de azufre:** presentan bajos rendimientos, aunque representan una posible alternativa de bajo coste en el futuro.
- **Paneles con células bifaciales:** elaborados con células activas en sus dos caras. Su rendimiento cercano al 30% pero son muy caras y complejas en su instalación.
- **Paneles con células de silicio amorfo:** Poseen la ventaja de que su espesor llega a ser 50 veces más fino que el equivalente en células de silicio monocristalino. Su eficiencia en torno al 9%, pudiendo aumentar en las versiones multicapa. Sus costes muy económicos.
- **Paneles con Células de silicio poli cristalino:** permiten obtener un rendimiento de hasta el 14%.
- **Paneles con células de silicio mono cristalino:** Son los más empleados en la actualidad. No olvidar que el silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno.

1.2 Radiación Solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. En el interior del mismo se producen una serie de reacciones de fusión nuclear que liberan energía, esta energía es liberada por el mediante radiación. No toda la radiación liberada por el sol llega a la Tierra puesto que cierta cantidad de radiación es absorbida en el universo. Del 100% de radiación que llega a la atmósfera, solo una cuarta parte llega directamente a la superficie terrestre y una cuarta parte más es dispersado por la atmósfera como radiación difusa hacia la superficie por lo que solo la mitad de la radiación solar llega a la superficie terrestre.

Los paneles solares, utilizan el efecto fotovoltaico para transformar las ondas de radiación solar en energía eléctrica, para poder calcular la cantidad de potencia que serán capaces de entregar los paneles, es necesario conocer la irradiancia y la irradiación de la zona sobre la cual se instalaran los paneles.

1.2.1 Irradiancia solar

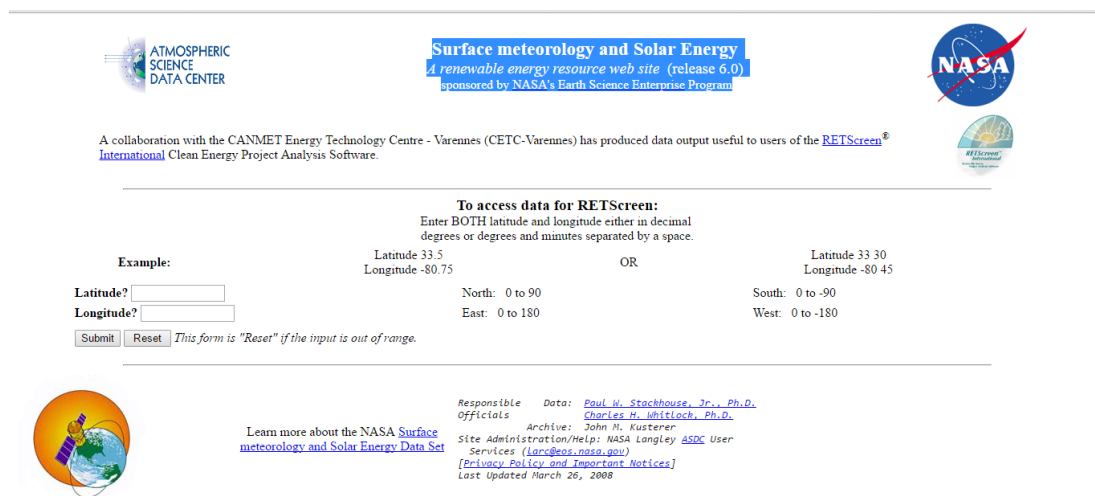
Es la cantidad de potencia de radiación solar incidente sobre unidad de superficie [w/m^2]. Dentro del desarrollo de proyectos de bombeo solar, se estima una irradiancia de 1000w/m^2 y una temperatura de 25°C (condiciones normales) para desarrollar los cálculos necesarios.

Este dato es muy necesario para poder determinar el tipo de bomba que se utilizará en todo proyecto donde se utilicen paneles solares pues determina en gran parte la potencia que el conjunto generador podrá suministrar. (Vinas, 2007)

1.2.2 Irradiación solar

Es la energía solar en una superficie durante un tiempo determinado. También conocida como horas de sol pico, determinan por cuantas horas al día se tiene una Irradiancia de 1000w/m^2 , la unidad utilizada para medir la irradiación u horas de sol pico son los KWh/m^2 .

Para determinar la irradiación solar existen varios softwares y páginas web especializadas que permiten obtener este dato con facilidad como “Surface meteorology and Solar Energy A renewable energy resource web site (release 6.0) sponsored by NASA's Earth Science Enterprise Program” la cual se muestra en la figura 1.14, así también mapas de irradiación de algunas zonas de todo el planeta. (Stackhouse, 2016)



ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

Surface meteorology and Solar Energy
A renewable energy resource web site (release 6.0)
sponsored by NASA's Earth Science Enterprise Program

A collaboration with the CANMET Energy Technology Centre - Varennes (CETC-Varennes) has produced data output useful to users of the [RETScreen® International](#) Clean Energy Project Analysis Software.

To access data for RETScreen:
Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude? North: 0 to 90 South: 0 to -90
Longitude? East: 0 to 180 West: 0 to -180

This form is "Reset" if the input is out of range.

Learn more about the NASA [Surface meteorology and Solar Energy Data Set](#)

Responsible Officials Data: [Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.](#)
Archive: [John M. Kusterer](#)
Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC User Services \(lar@ess.nasa.gov\)](#)
[Privacy Policy and Important Notices](#)
Last Updated March 26, 2008

Figura 1.14 Software en línea de la Atmospheric science data center para el cálculo de irradiación
Fuente: (Stackhouse, 2016)

1.3 Bombas Hidráulicas

Una bomba es una máquina hidráulica y su función es convertir un tipo de energía en otra, es decir, transforma la energía mecánica en energía hidráulica, al variar la energía en el fluido se puede generar un cambio en la presión, velocidad y altura sobre un líquido (agua) o sobre una mezcla entre líquido y sólido (concreto) todo esto relacionado gracias al principio de Bernoulli. Entonces, la bomba hidráulica se utiliza para incrementar la presión de un fluido añadiendo energía al sistema hidráulico para mover el fluido de una zona de menor presión y altura a otra de mayor presión y altura. (Roldán, 1998)

Generalmente las bombas tienen dos procesos de acción, uno de aspiración en el cual elevan el líquido desde el nivel frático hasta la bomba, y el segundo es un proceso de impulsión en el cual conducen al líquido desde la bomba hasta su destino.

Existen varios tipos de bombas hidráulicas, cada una se diferencia de la otra dependiendo de su aplicación, los factores que se deben tener en cuenta para escoger un sistema de bombeo son:

- Caudal suministrado
- Presión de proceso
- Tipo de materia a bombear
- Altura de aspiración
- Potencia consumida
- Rendimiento

1.3.1 Tipos de Bombas.

Dependiendo de la aplicación, existen varios tipos de bombas hidráulicas, con diferentes procesos constructivos que las caracterizan de las otras y se clasifican:

- Bombas de desplazamiento positivo
- Bombas rotodinámicas (Harper E. , 2004).

1.3.1.1 Bombas Volumétricas o de Desplazamiento Positivo

Su principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, variando la presión en las cámaras que posee la bomba el cual produce una variación del volumen. Las características principales de estas bombas son:

- Desplazan un volumen determinado de fluido al elevar la presión en las cámaras.
- Suministran un caudal secuencial.
- Suministran altas presiones.

Los componentes de este tipo de bomba se muestran en la figura 1.15

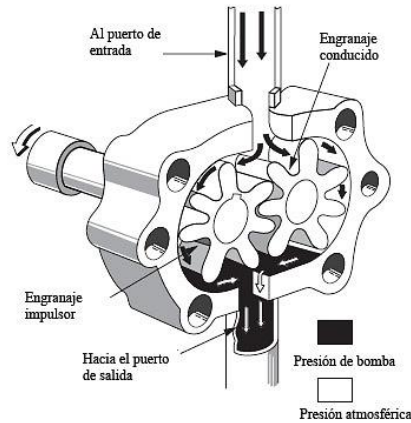


Figura 1.15 Bomba de engranajes internos y desplazamiento positivo
Fuente: (Egusquiza, 1986)

A su vez este tipo de bombas puede subdividirse en:

- **Bombas de émbolo alternativo**

En estas bombas el movimiento del fluido es discontinuo, su funcionamiento se basa en un pistón que ejerce presión sobre un fluido dentro de un cilindro mediante un movimiento de arriba hacia abajo (vaivén), dentro de este subgrupo se dividen en bomba de embolo aspirante e impelente. (Harper E. , 2004)

- **Bomba aspirante de émbolo alternativo**

En este tipo un cilindro que contiene un pistón móvil está conectado con el suministro de agua mediante un tubo. Una válvula bloquea la entrada del tubo al cilindro. La válvula es como una puerta con goznes, que solo se abre hacia arriba, dejando subir, pero no bajar al líquido. Dentro del pistón hay una segunda válvula que funciona en la misma forma. Cuando se acciona la manivela, el pistón sube, aumentando el volumen existente debajo del pistón entonces la presión disminuye. (Harper, Enríquez, 2004)

Las bombas de émbolo aspirante son de acción limitada, es decir, proporcionan un caudal discontinuo y alcanzan alturas inferiores a los 10 metros.

- **Bomba impelente de émbolo alternativo**

Se componen de un cilindro, un pistón y una tubería que baja hasta el fluido, no poseen una válvula en el pistón, desde la parte inferior del cilindro existe un tubo que llega hasta la cámara de aire y al igual que las del anterior tipo posee una válvula que deja pasar al fluido, pero no le permite regresar. (Harper E. , 2004)

- **Bombas de émbolo rotativo**

Son bombas que generan presión por medio de engranajes o rotores que impulsan periféricamente al fluido, el caudal es continuo y no posee válvulas, son ideales en aplicaciones en las que se necesita un caudal bajo como por ejemplo en fluidos viscosos. (Harper G. E., 2001)

Dentro de este subgrupo se tienen los siguientes tipos de bombas que utilizan este principio:

- **Bomba de Paletas**

Existen varios tipos de bombas de paleta, entre ellos:

- **Bomba de paletas deslizantes**

La mayoría de este tipo posee una sola cámara, son de gran velocidad y se utiliza en fluidos poco viscosos. La figura 1.16 muestra una bomba de este tipo



Figura 1.16 Bomba de paletas deslizantes
Fuente: (Karassik & Carter, 1966)

- **Bomba pesada de paleta deslizante**

Posee una sola paleta la cual abarca todo el diámetro de la cámara, son de velocidad baja y se utilizan para fluidos muy viscosos. (Harper G. E., 2001). La figura 1.17 muestra el diagrama de una bomba de este tipo

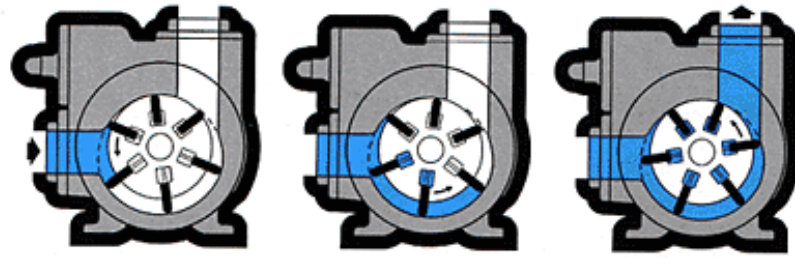


Figura 1.17 Bomba pesada de paleta deslizante
Fuente: (Drotec)

- **Bomba de paletas oscilantes**

Las paletas de este tipo de bomba se articulan en el rotor, son de velocidad baja y se utiliza para fluidos viscosos. (Domínguez, 2001)

- **Bomba de paletas rodantes**

Poseen ranuras en el rotor y dentro de estos albergan rodillos de elastómero reemplazando a las paletas, es un modelo nuevo. La figura 1.18 muestra una bomba de este tipo

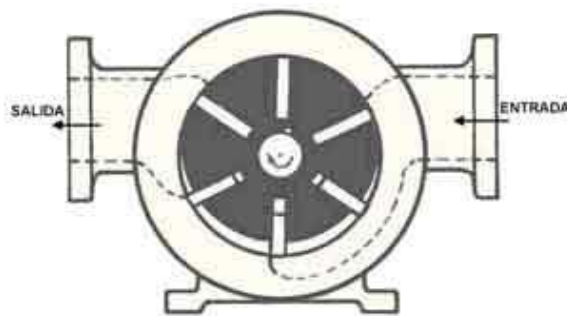


Figura 1.18 Bomba de paleta rodante
Fuente: (Briones, 2014)

- **Bomba de leva y paleta**

Poseen una sola paleta deslizante dentro de una ranura del cilindro la cual se conecta con otra ranura de un anillo que se conecta con el rotor, se utiliza como bomba de vacío y es un modelo de bomba nueva. (Harper, Enríquez, 1987).

- **Bomba de paleta flexible**

Con la paleta cubren al rotor de elastómero dentro de una caja cilíndrica, dentro de este cilindro existe un bloque en media luna que procura un paso excéntrico para el barrido de las paletas flexibles del rotor. (Harper, Enríquez, 1987). En la figura 1.19 se muestra una bomba de paleta flexible



Figura 1.19 Bomba de paleta flexible
Fuente: (Totolhua, 2014)

- **Bomba de Engranajes**

Son bombas robustas con cuerpos de aluminio reforzado y acero, de caudal fijo, manejan presiones de hasta 3600 psi y llegan a velocidades de hasta 6000 rpm es decir de alto rendimiento, son utilizadas para bombear aceites de lubricación estando el mismo a temperaturas elevadas, son de bajo nivel sonoro siempre y cuando los dientes no estén dañados o cuarteados. (Laboratories)

- **Bomba de Tornillo**

En este tipo de bombas el flujo del líquido es axial, es decir, el fluido es transportado mediante el giro de un perno sin fin que desplaza axialmente al fluido generando presión sobre el mismo. Puede bombear fluidos como aceites que poseen una viscosidad media y fluidos como el agua, gasolina, etc. Tienen una posibilidad de trabajar en altas velocidades con una baja vibración mecánica. Las aplicaciones para esta bomba son varias.

- **Bomba Peristáltica**

Son usadas para el bombeo de fluidos limpios o estériles o también fluidos agresivos. Pueden bombear líquidos con hasta un 80% de sólidos inorgánicos, son bombas con

auto-cebado, son de fácil y completa limpieza sin la necesidad de desmontarla, aptas para la manipulación de productos sensibles. (Bombas de engranajes, 2015)

1.3.1.2 Bombas Rotodinámicas

La bomba rotodinámica posee un rodete que esta sobre un eje, el cual transforma la velocidad de rotación del mismo en presión sobre el líquido, son muy utilizadas y sus aplicaciones van desde abastecimientos de agua público hasta transporte de hormigón.

Unas de las ventajas principales de este tipo de bombas es que suministran caudales altos y continuos a presiones moderadas, su construcción es sencilla lo cual las hace compactas y de poco peso, son silenciosas y de baja vibración.

La desventaja de este tipo de bombas es que no tienen auto-cebado, es decir, que no trabajan cuando tienen aire dentro de ellas. Para realizar el cebado de este tipo de bombas existen varios métodos:

- Perforando (si es que no tiene) un orificio en la parte superior de la bomba y llenando del fluido que este transportando, todo esto mientras la bomba este apagada, este es un método no muy eficiente.
- Utilizar una válvula sin retorno, es decir, que solo deje subir al fluido, pero no lo deje bajar, esto impide que la bomba se quede sin un fluido en la tubería, funciona correctamente mientras el fluido a transportar no tenga sedimentos solidos los cuales pueden impedir el cierre completo de la válvula.
- Usar una bomba de vacío, la cual extraerá el aire de la bomba rotodinámica y siempre la mantendrá autocebada.

Este tipo de bombas se pueden dividir en dos grupos:

- **Bombas Centrífugas o Radiales**

El rodete consiste en cierto número de alabes curvados en dirección contraria al movimiento, similar a un ventilador, y colocados entre dos discos metálicos, el fluido entra por el centro o también llamado ojo del rodete, es absorbido por los alabes y empujado en dirección radial, de esta manera se logra el bombeo del fluido de un nivel a otro. Para lograr este efecto radial, la carcasa es construida en forma espiral, por lo que el caudal en la periferia del rodete aumenta en forma gradual. Las aplicaciones para este tipo de bomba son muy amplias siempre y cuando este construidas bajo la

norma DIN 24255, destacando los principales como son para procesos químicos, transporte de agua marina, etc. (Harper, Enríquez, 1987)

- **Bombas diagonales o helicentrífugas**

En estas bombas el flujo del líquido ingresa al impulsor en dirección axial o diagonal y sale del mismo en dirección diagonal. Los alabes del impulsor pueden ser orientables o fijos. La salida del fluido del impulsor puede ser a un difusor y/o una cámara espiral o en dirección axial. (Español, n.d.).

1.3.2 Tipos de accionamiento para bombas hidráulicas

1.3.2.1 Eléctrico

Se utiliza un motor eléctrico como accionador. (TWG, 2008). La figura 1.20 muestra una bomba con accionador eléctrico.



Figura 1.20 Bomba de accionamiento eléctrico
Fuente: (Siemens, 2015)

1.3.2.2 Neumático

Son del tipo desplazamientos positivos o volumétricos en las que la energía de entrada es neumática (aire comprimido). (TWG, 2008). La figura 1.21 muestra una bomba de este tipo



Figura 1.21 Bomba de accionamiento neumático
Fuente: (Agencia Andaluza de la Energía, 2012)

1.3.2.3 Hidráulico

A la entrada del accionador se aplica energía hidráulica, permitiendo que entre en funcionamiento la bomba, en ejemplo de este tipo es la bomba de ariete, la noria, etc. (TWG, 2008)

La figura 1.22 muestra una bomba con ese tipo de accionador

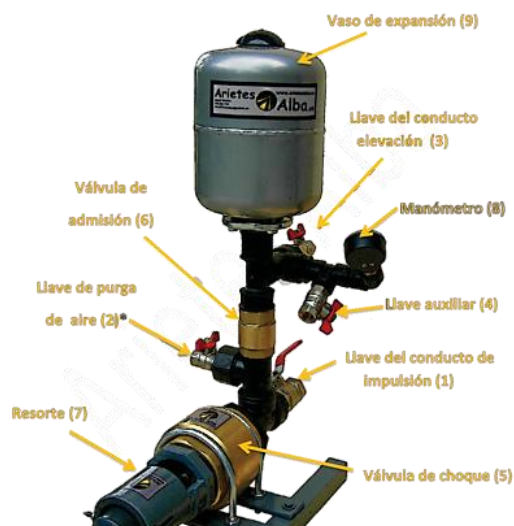


Figura 1.22 Bomba de accionamiento Hidráulico
Fuente: (Arietes Alba, 2015)

1.3.2.4 Manual

Para que entre en funcionamiento la bomba es necesario aplicar energía de forma manual, un ejemplo de este tipo es la bomba de Balancín como la que se muestra en la figura 1.23 (TWG, 2008)



Figura 1.23 Bomba de accionamiento manual
Fuente: (Adblue, 2014)

CAPÍTULO II

PLANEAMIENTO Y ESTUDIO GEOGRÁFICO DEL LUGAR A SER INTERVENIDO

En este capítulo se mostrarán las características geográficas y demográficas más sobresalientes del Sector de Cataviña en el cantón Santa Isabel provincia del Azuay, sector en el cual las autoridades locales implementaran el proyecto de bombeo solar que será diseñado a lo largo de este trabajo de titulación.

Dentro de las características físicas que pueden afectar el rendimiento de los equipos se encuentran la radiación solar presente en el sector, la temperatura y humedad promedio, factores que pueden alterar el funcionamiento de los componentes eléctricos y electrónicos que constituyen el proyecto.

Dentro de los aspectos demográficos, se analizarán el número de habitantes y el uso que dan al agua; esto permitirá dimensionar de una manera correcta el sistema de bombeo y evitar el desabastecimiento de agua para los moradores del sector.

2.1 Estudio demográfico del lugar a ser intervenido

Cataviña es un lugar poblado perteneciente a la parroquia Abdón Calderón, del Cantón Santa Isabel en la provincia del Azuay en Ecuador. Se encuentra a una hora de Cuenca, capital de la provincia; la parroquia Abdón Calderón, también conocida como La Unión, se localiza a siete kilómetros, al este de la cabecera cantonal de Santa Isabel. La parroquia se encuentra ubicada en las coordenadas:

Lat: -3,25

Long: -79,26 (Google, n.d.)

El proyecto busca beneficiar alrededor de 350 familias carecientes del servicio de agua potable.

Para determinar el volumen de agua necesario se aplicaron encuestas a los moradores del sector arrojando los resultados mostrados en figura 2.1: (ECUESTA: ANEXO 2.1)

Con los resultados de esta encuesta, se pudo demostrar que la mayoría de habitantes del sector está dispuesto a recibir el suministro de agua a través de un proyecto de bombeo solar. Así mismo se demostró que la mayoría del agua obtenida será utilizada para el consumo humano.

Una vez que se conocieron estos datos se procedió a aplicar una segunda encuesta tratando de determinar de manera más precisa el número de personas que serán beneficiadas con el proyecto para así poder determinar los parámetros del grupo generador y de la bomba con el objetivo de no sobredimensionar el proyecto en cuanto a capacidad de equipos y costos de implementación, la encuesta se aplicó en una asamblea de habitantes a un total de 131 representantes de las diferentes familias beneficiarias del proyecto (ANEXO 2.2). Los resultados se muestran en la figura 2.2

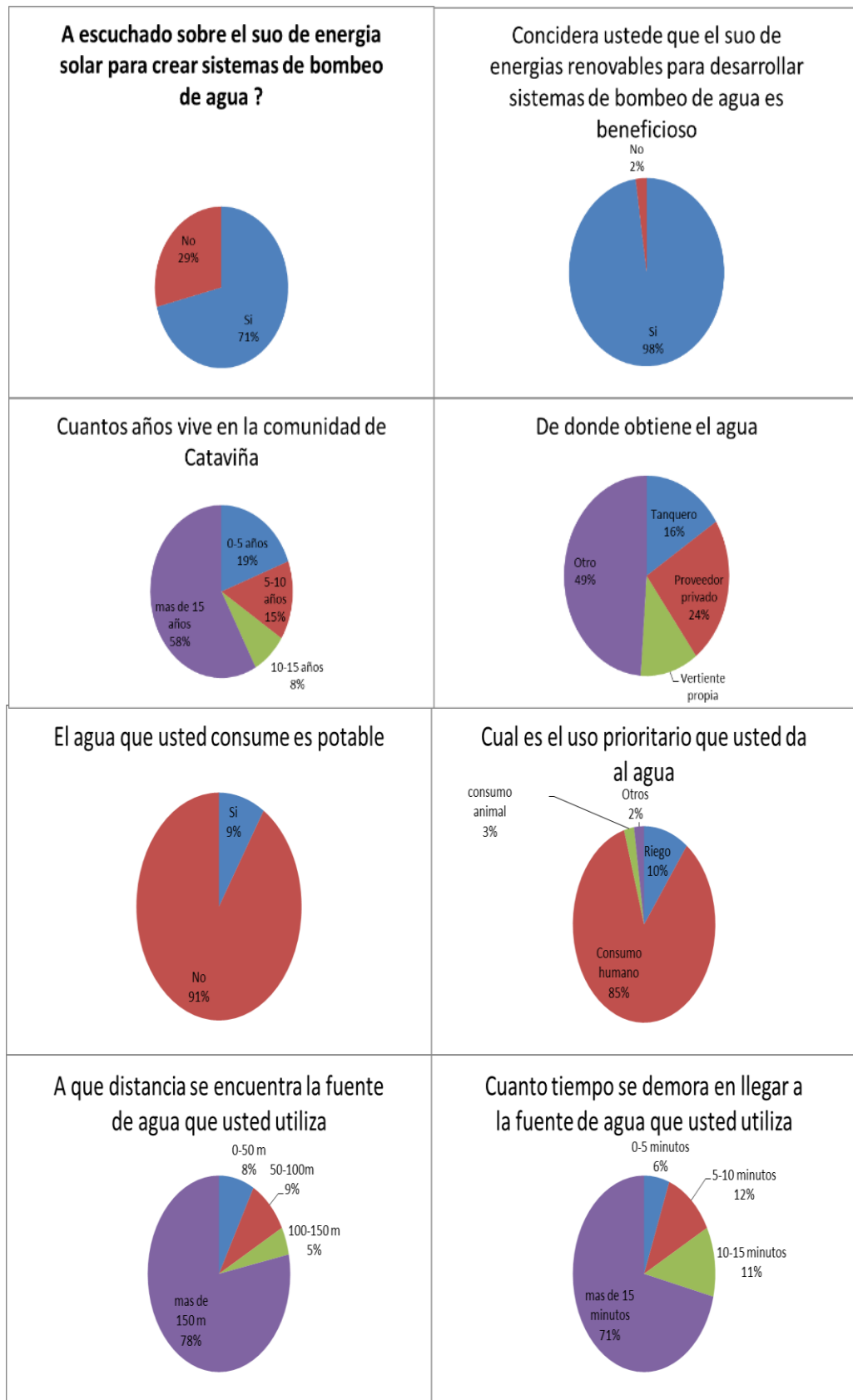


Figura 2.1 Resultados de la encuesta No1
Fuente: (Autoría Propia)

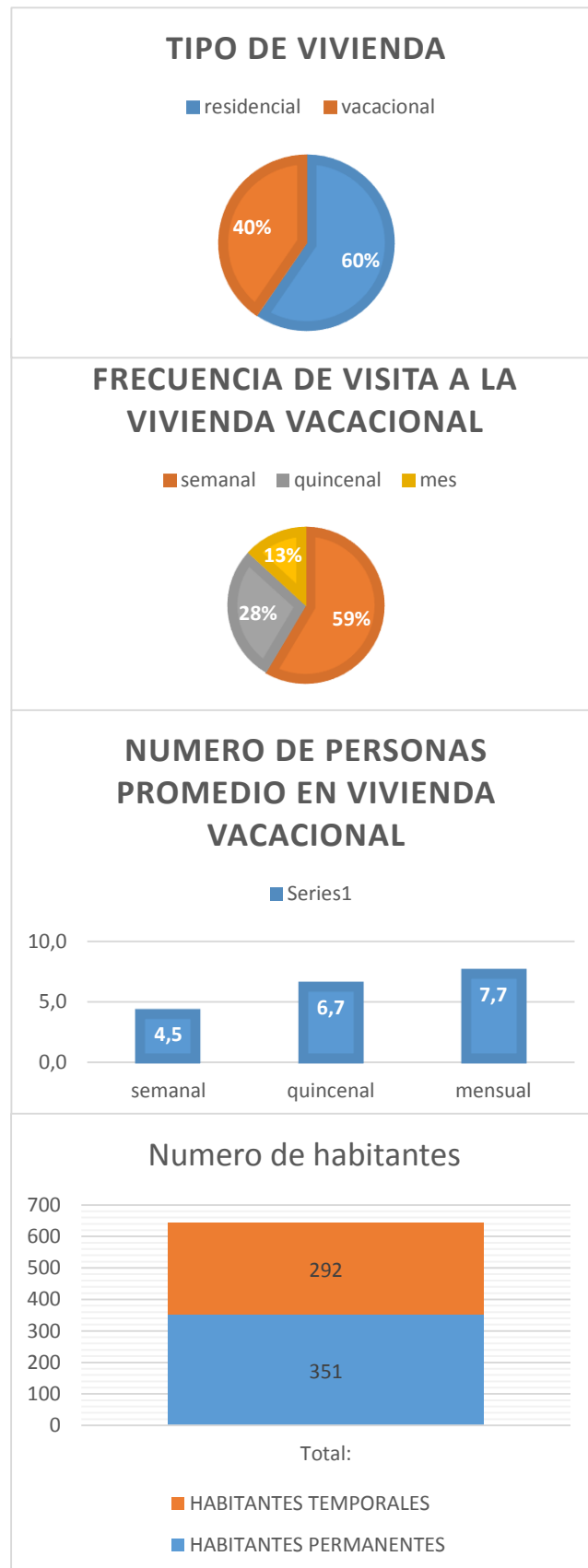


Figura 2.2 Resultados de la encuesta No2
Fuente: (Autoría Propia)

Luego de obtenidos estos resultados, se procedió a analizarlos juntos con las autoridades parroquiales y cantonales quienes determinaron que volumen de agua a ser extraído tiene que ser 30m³ al día, volumen que según el consumo promedio de cada familia será suficiente para satisfacer las necesidades de los moradores del sector. Según la norma ecuatoriana los valores necesarios de agua al día son los mostrados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Desenar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario.
Ia	AP EE	Grifos Públicos, letrinas sin arrastre de agua.
Ib	AP EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño, letrinas sin arrastre de agua.
Iia	AP EE	Conexiones domiciliarias con un grifo por casa, letrinas con o sin arrastre de agua.
Iib	AP ERL	Conexiones domiciliarias con más de un grifo por casa, sistema de alcantarillado sanitario.
Simbología: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

Fuente: (SENAGUA, 2010)

Con los valores de la tabla se determinó que el proyecto a ser desarrollado corresponde a un nivel “Iia” sistema “AP - EE”, puesto que las viviendas carecen de un sistema de alcantarillado utilizando únicamente letrinas. Con este dato se procedió a determinar el consumo de agua promedio por habitante utilizando la tabla 2.2 (SENAGUA, 2010)

Tabla 2.2 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CÁLIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
Iia	60	85
Iib	75	100

Fuente: (SENAGUA, 2010)

Realizando los cálculos con los valores de la norma y el número de habitantes del sector se logró determinar lo siguiente:

$$VolumenAguaDiario = VolumenNorma * NumeroHabitantes \text{ (ec. 2.1)}$$

$$VolumenAguaDiario = 60 * 351$$

$$VolumenAguaDiario = 21,06m^3$$

Al ser 351 los habitantes permanentes del sector se ocupó este número como referencia para realizar los cálculos, a esto se sumó el número de habitantes ocasionales para poder determinar el volumen máximo de agua necesario en el sector, aplicando la ecuación ec. 2.1 se obtuvieron los siguientes resultados:

$$VolumenAguaDiario = VolumenNorma * NumeroHabitantes$$

$$VolumenAguaDiario = 60 * 643$$

$$VolumenAguaDiario = 38,58m^3$$

Con esto se logra determinar que el volumen de 30m³ estimado al inicio en conjunto con las autoridades será suficiente para satisfacer la demanda de los habitantes del sector, puesto que el exceso de agua obtenida en los días de más bajo consumo, podrá abastecer a la comunidad en los días que los habitantes no permanentes de la misma realicen sus actividades dentro de la comunidad.

2.2 Análisis de la radiación solar en el sector de Cataviña

Para poder analizar y cuantificar el recurso solar en el sector de Cataviña, se procedió a utilizar el atlas de radiación solar del Ecuador, proporcionado por el CONELEC en su versión digital como se muestra en la figura 2.3.

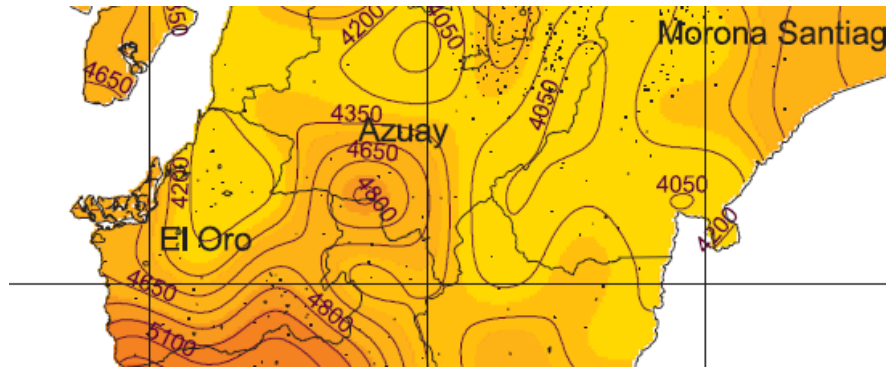


Figura 2.3 Atlas solar del Ecuador provincias de Azuay y El Oro
Fuente: (CONELEC, 2008)

Aquí se puede apreciar, que la irradiación en el sector de Cataviña en promedio durante el año es de $4,8 \text{ KWh/m}^2$. Para corroborar estos datos, se utilizó también la “Atmospheric Science Data Center” de la NASA en su versión online donde se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 2.3. (CONELEC, 2008)

Estos datos obtenidos en las dos fuentes de búsqueda arrojan resultados similares. Para los cálculos y diseño, se utilizará el valor de $4,2 \text{ KWh/m}^2$ correspondiente a la irradiación más baja existente en el sector durante el mes de junio ($4,152 \text{ KWh/m}^2$) (Earthdata - Nasa, n.d.).

Este valor, comúnmente es conocido como hora de sol pico; una hora sol pico se la puede definir como la una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1.000 W/m^2 . (Velasco & Cabrera, s.f.).

Tabla 2.3 Irradiación solar diaria promedio mensual y anual presente en Cataviña

MES	RADIACION SOLAR HORIZONTAL DIARIA
	kWh/m ² /d
Enero	4,39
Febrero	4,25
Marzo	4,45
Abril	4,33
Mayo	4,19
Junio	4,15
Julio	4,19
Agosto	4,19
Septiembre	4,55
Octubre	4,54
Noviembre	4,73
Diciembre	4,57
ANUAL:	4,38

Fuente: (CONELEC, 2008)

2.3 Condiciones climáticas del sector de Cataviña

Dentro de los aspectos climáticos, se analizó la temperatura promedio del lugar y la humedad, puesto que estos valores podrían alterar el funcionamiento de los equipos electrónicos. Según datos oficiales, la temperatura promedio del cantón Santa Isabel, es de 18°C, la altitud es de 1450m.s.n.m (Santa Isabel, n.d.).

La humedad relativa se obtuvo del “Atmospheric Science Data Center” de la NASA en su versión online mostrando que su valor es de 67% promedio anual como se puede observar en la tabla 2.4 (Earthdata - Nasa, n.d.).

Tabla 2.4 Valores de temperatura y humedad promedio mensual y anual en Cataviña

MES	TEMPERATURA DEL AIRE	HUMEDAD RELATIVA
	°C	%
Enero	17,8	76,7%
Febrero	17,7	79,4%
Marzo	18,0	77,9%
Abril	17,6	77,3%
Mayo	17,1	72,4%
Junio	16,7	66,5%
Julio	16,8	57,3%
Agosto	17,9	51,3%
Septiembre	18,9	51,2%
Octubre	19,5	54,9%
Noviembre	18,9	64,3%
Diciembre	18,1	74,4%
ANUAL	17,9	67,0%

Fuente: (Earthdata - Nasa, s.f.)

Luego de analizados estos datos se logró demostrar que los equipos electrónicos no tienen que soportar ninguna condición climática adversa que afecte su normal funcionamiento pues las condiciones presentes en el lugar no representan una amenaza para los mismos.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS, ANÁLISIS, SIMULACIONES Y AJUSTE DE VALORES.

En este capítulo se mostrarán los cálculos realizados tanto para el dimensionamiento de la central generadora de energía fotovoltaica, así como para el sistema de bombeo.

Aparte de los cálculos, se compararán y evaluarán los resultados de los mismos haciendo un contraste con datos obtenidos en softwares libres de las diferentes marcas productoras de bombas de corriente continua, esto permitirá ajustar los valores de los cálculos realizados en el caso de ser necesario, para ajustar los elementos y permitir un dimensionamiento adecuado de las diferentes etapas que componen el proyecto.

Dentro de este capítulo también se explicará los elementos eléctricos y físicos que deben ser considerados para poder desarrollar un proyecto de bombeo de agua subterránea.

3.1 Cálculos

Para realizar los cálculos, se dividirá el proyecto en diferentes etapas: la primera etapa será el componente hidráulico, luego se analizará la generación fotovoltaica para finalmente desarrollar los cálculos correspondientes a la etapa de bombeo.

3.1.1 Componente hidráulico

Por componente hidráulico se refiere a la altura total que la bomba deberá elevar el agua para poder ser almacenada en los tanques de reserva existentes en el sector.

Los tanques construidos por las autoridades del sector tienen una capacidad de almacenamiento de 30.000L como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1 Tanques de reserva de 30.000L contruidos para el desarrollo del proyecto
Fuente: (Autoría Propia)

Para analizar esto se debe conocer la carga dinámica total (CDT), la cual equivale a la suma de la carga estática y carga dinámica. (Sandia National Laboratories, 2001)

$$CDT = CE + CD \text{ (ec. 3.1)}$$

3.1.1.1 Carga estática

Es la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de espejo de agua antes del abatimiento del pozo, hasta la altura en la que se descarga. Se obtiene sumando la profundidad de bombeo (P_b) más la altura desde la superficie al punto de descarga (H_s) como se muestra en la figura 3.2.

$$CE = P_b + H_s \text{ (ec. 3.2)}$$

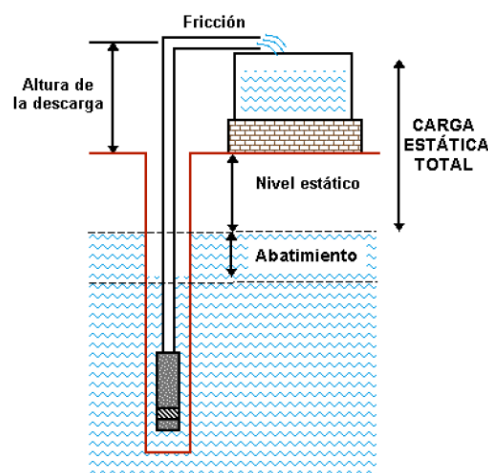


Figura 3.2 Carga estática de un sistema de bombeo
Fuente: (Suelosolar, s.f.)

- **Profundidad de bombeo**

La profundidad de bombeo, es la diferencia en altura existente entre la boca del pozo y el nivel de succión dinámico. (Gasquet, 2004).

La profundidad de bombeo, se la obtuvo a través de pruebas de bombeo realizadas por la Prefectura del Azuay, organismo encargado de realizar la perforación, los resultados de estas pruebas determinaron que la profundidad a la que debe instalarse la bomba es de 30m. La figura 3.3 muestra los equipos utilizados durante las pruebas de bombeo.



Figura 3.3 Perforación y pruebas de bombeo por parte de la prefectura del Azuay
Fuente: (Autoría Propia)

- **Altura de descarga**

La altura de descarga es la diferencia de cotas entre la boca del pozo y el nivel de vaciado. (Sandia National Laboratories, 2001).

La altura de descarga se obtuvo a través del uso de un altímetro, el resultado de esta medición dio de 54,21 metros.

Por lo tanto, aplicando la ecuación ec. 3.2, se obtuvo una carga estática de 89,21m

$$CE = Pb + Hs$$

$$CE = 30 + 54,21$$

$$CE = 30 + 84,21$$

3.1.1.2 Carga dinámica

Es la suma del abatimiento (Ab) más las pérdidas por fricción del agua en la tubería (Pf) (Gasquet, 2004).

$$Carga\ dinamica = Ab + Pf\ (ec.\ 3.3)$$

El abatimiento es la distancia que baja el nivel del agua por una extracción constante. Este valor se lo determino a través de las pruebas de bombeo y como se mencionó anteriormente, la profundidad de bombeo total es de 30m. La figura 3.4 muestra el cono de abatimiento que se forma durante el proceso de bombeo.

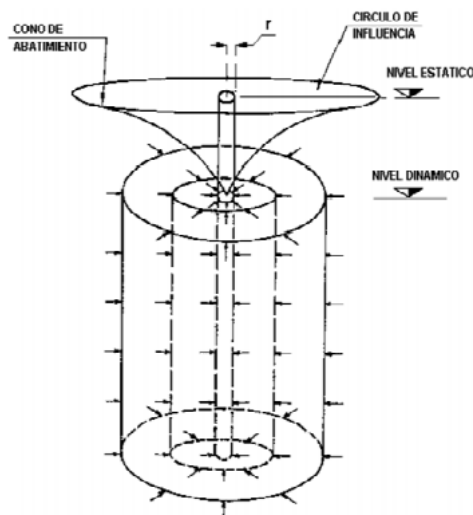


Figura 3.4 Cono de abatimiento
Fuente: (Arocha, 1979)

Las pérdidas por fricción representan un incremento en la presión que soporta el líquido por la resistencia al flujo del mismo que presenta el medio por el cual circula y todos los elementos presentes el sistema como son codos, válvulas, etc. Estas

pérdidas dependerán del material usado, del diámetro de las tuberías y del caudal circulante. (Arocha, 1979).

Es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Para este cálculo existen varias maneras, pero en este trabajo se abordarán las más utilizadas:

- **Valor por omisión**

En este caso se acepta que la carga dinámica es el 2% de la longitud total de la tubería. Por lo general este valor es muy conservador asumiendo que en los sistemas de bombeo solar típicos se tiene flujos menores a 1L/s y las tuberías usadas son amplias.

- **Tablas de fricción**

Son tablas creadas y distribuidas por los mismos fabricantes de tubería en porcentaje de pérdidas en base al caudal, diámetro y material de las mismas.

- **Fórmula de Manning**

Método matemático de simple aplicación que responde a la siguiente fórmula:

$$H_f = k \times L \times Q^2 \text{ (ec. 3.4)}$$

Donde:

H_f = incremento en la presión causada por la fricción y expresada en distancia lineal (m).

K = constante empírica con unidades de $(m^3/s)^{-2}$

L = distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

Q = flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s). (Gasquet, 2004).

El valor de la constante k se muestra en la tabla 3.1 para tuberías de PVC y acero galvanizado.

Tabla 3.1 Constante K para tubos de PVC y acero galvanizado

MATERIAL	DIÁMETRO EN PULGADAS				
	0,5	0,75	1	1,5	2
PVC	9544491	1261034	291815	31282	7236
Galvanizado	19909642	2631046	608849	65263	15097

Fuente: (Gasquet, 2004)

- **Ecuación de Fair - Whipple**

Fórmulas establecidas para tuberías de pequeños diámetros. Este método fue el que se utilizó para el desarrollo de este proyecto.

El método es el siguiente:

$$j = 4m \left(\frac{4}{\pi} \right)^{7/4} \frac{Q^{7/4}}{D^{19/4}} \text{ (ec. 3.5)}$$

Donde:

j = pérdida de carga (m/m)

m = factor de rugosidad del material

Q = caudal (litros / segundos)

D = diámetro de la tubería (milímetros)

El resultado se es adimensional y se lo expresa en metros sobre metros; una vez obtenido el valor de j, se lo multiplica por la longitud de cada tramo de tubería para obtener la pérdida en cada uno de ellos.

$$hf = j \cdot L \text{ (ec. 3.6)}$$

Donde:

hf = pérdida (m)

j = pérdida de carga (m/m)

L = longitud del tramo de tubería (m)

Unas ves calculadas la pérdida por cada tramo se realiza una sumatoria de cada tramo para obtener la pérdida total a lo largo de la tubería

$$\sum_{i=0}^n = hf_1 + hf_2 + \dots + hf_n \text{ (ec. 3.7)}$$

Donde:

i = tramo de la tubería

n = número de tramos

hf_i = tramo actual de tubería (Universidad de Valparaíso, s.f.)

En el proyecto a ser desarrollado se tomaron los siguientes valores para el cálculo de las pérdidas:

Caudal (Q) = 1,55 l/s valor solicitado por las autoridades

Diantre (D) = 50mm por recomendación del diseñador

Factor de rugosidad (m) = 0,000135 constante expresada para el PVC, material del cual está elaborada la tubería que se utilizara.

El número de tramos de tubería es de 26, valor entregado por el GAD de Santa Isabel luego de realizar un levantamiento topográfico del sector a ser intervenido.

Para el cálculo de este valor se contó con el apoyo de estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay, quienes entregaron los resultados mostrados en la tabla 3.2

Luego de realizadas todas estas mediciones, se aplicó la ecuación ec. 3.1 para determinar la carga dinámica total, obteniendo los siguientes resultados:

$$CDT = CE + CD$$

$$CDT = 89,21 + 5,42$$

$$CDT = 94,63 \text{ m}$$

Para efectos de corregir errores de medición se usará una CDT de 100m.

Tabla 3.2 Resultados del cálculo de pérdidas en la tubería por el método de Fair - Whipple

TRAMO	Q (l/s)	D (mm)	V (m/s)	Long Tubería (m)	J (m/m)	Hf (m)
26-27	1,55	50	0,79	22,74	0,02	0,343
25-26	1,55	50	0,79	12,22	0,02	0,185
24-25	1,55	50	0,79	12,82	0,02	0,194
23-24	1,55	50	0,79	14,06	0,02	0,212
22-23	1,55	50	0,79	18,62	0,02	0,281
21-22	1,55	50	0,79	17,89	0,02	0,27
20-21	1,55	50	0,79	18,07	0,02	0,273
19-20	1,55	50	0,79	16,79	0,02	0,253
18-19	1,55	50	0,79	11,39	0,02	0,172
17-18	1,55	50	0,79	12,43	0,02	0,188
16-17	1,55	50	0,79	14,18	0,02	0,214
15-16	1,55	50	0,79	17,1	0,02	0,258
14-15	1,55	50	0,79	15,16	0,02	0,229
13-14	1,55	50	0,79	7,02	0,02	0,106
12-13	1,55	50	0,79	6,56	0,02	0,099
11-12	1,55	50	0,79	11,86	0,02	0,179
10-11	1,55	50	0,79	12,69	0,02	0,192
9-10	1,55	50	0,79	12,51	0,02	0,189
8-9	1,55	50	0,79	13,06	0,02	0,197
7-8	1,55	50	0,79	8,34	0,02	0,126
6-7	1,55	50	0,79	9,47	0,02	0,143
5-6	1,55	50	0,79	12,75	0,02	0,192
4-5	1,55	50	0,79	13,46	0,02	0,203
3-4	1,55	50	0,79	12,64	0,02	0,191
2-3	1,55	50	0,79	16,77	0,02	0,253
1-2	1,55	50	0,79	18,59	0,02	0,281
Pérdidas por fricción (m)						5,424

3.1.2 Generación fotovoltaica

Para esta etapa se debe tener en cuenta las siguientes condiciones antes de poder iniciar la conexión de paneles fotovoltaicos con el fin de maximizar la potencia:

- Los paneles que se utilicen deben tener características eléctricas iguales.
- Deben estar sometidos a condiciones ambientales similares.

Otro elemento necesario que permitirá definir el número de paneles que se debe utilizar para el desarrollo de este proyecto, son las horas de sol pico, como se ha expresado en capítulos anteriores, en el sector existe un promedio de 4,2HSP en el mes de junio, siendo este el más desfavorable en términos de radiación solar.

3.1.2.1 Potencia fotovoltaica

Para determinar la cantidad de potencia que es necesario entregar al sistema se necesita aplicar el siguiente método:

$$EHR = \frac{Q_{dia} \times CDT \times \delta_{agua} \times g}{3,6 \times 10^6} \quad (ec. 3.8)$$

Dónde:

EHR = energía hidráulica requerida (Kwh/d)

δ agua = densidad del agua (1000kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (9,8m/s²)

Luego de conocida la energía hidráulica requerida, se procede a calcular la potencia requerida del sistema en paneles fotovoltaicos:

$$Kwp = \frac{EHR}{HSP \times F \times E} \quad (ec. 3.9)$$

Donde:

Kwp = potencia fotovoltaica requerida (Kw)

F = factor de emparejamiento de los paneles (0,8 como media)

E = eficiencia diaria del subsistema (0,25 – 0,40 en condiciones normales)

Para iniciar con este cálculo, se tomó el Q_{dia} como 30m³ debido al promedio entre el consumo de la comunidad de los habitantes fijos (21,06m³) y los visitantes que llegan ocasionalmente al sector (38,58m³)

$$Q_{prom} = \frac{Q_{fijo} + Q_{ocasional}}{2} \quad (ec. 3.10)$$

$$Q_{prom} = \frac{21,06 + 38,58}{2}$$

$$Q_{prom} = 29,82 \approx 30m^3/d$$

Para nuestro caso, aplicando la ec. 3.8, obtuvimos los siguientes resultados:

$$EHR = \frac{Q_{dia} \times CDT \times \partial_{agua} \times g}{3,6 \times 10^6}$$

$$EHR = \frac{30 \times 100 \times 1000 \times 9,8}{3,6 \times 10^6}$$

$$EHR = 8,167 \frac{Kwh}{d}$$

Posteriormente, aplicando la ec. 3.9 se logró obtener la potencia del arreglo fotovoltaico (Maupoux, 2010).

$$Kwp = \frac{EHR}{HSP \times F \times E}$$

$$Kwp = \frac{8,167}{4,2 \times 0,8 \times 0,33}$$

$$Kwp = 7,366 Kw$$

3.1.2.2 Agrupación de paneles

La generación eléctrica de los paneles debe responder a la necesidad de potencia que necesita la bomba para su funcionamiento; para esto es necesario agrupar los paneles en serie y paralelo, buscando obtener voltaje, corriente y potencia adecuada para accionar la bomba. El diagrama de conexión de paneles se muestra en la figura 3.5.

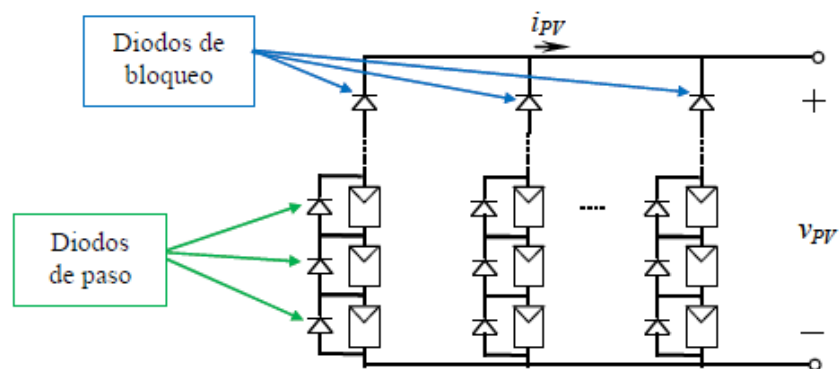


Figura 3.5 Diagrama de conexión de paneles solares
Fuente: (Maupoux, 2010)

- **Agrupación de paneles en serie**

La conexión de varios paneles en serie permite aumentar el voltaje que entregara el arreglo de paneles, este valor de voltaje debe responder al voltaje que necesita la bomba para iniciar su funcionamiento, dicho valor se lo obtiene en la hoja de datos de las diferentes bombas. El valor del voltaje no deberá superar el voltaje de entrada recomendado por el fabricante de la bomba y controlador. El esquema de conexión de paneles en serie se muestra en la figura 3.6.

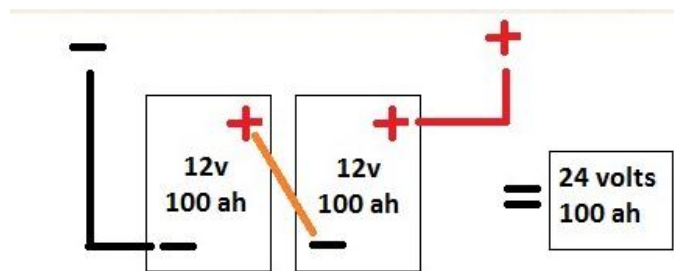


Figura 3.6 Conexión de paneles en serie
Fuente: (Eliseo, 2011)

Para poder calcular el número de paneles en serie se deberán conocer algunos aspectos tanto del panel como del controlador y bomba presentes en la siguiente ecuación:

$$\text{mín} (Ns) = \text{Int} \left[\frac{V_{bomba_{\min}}}{V_{mod_{\min}}} \right] + 1 \quad (ec. 3.11)$$

Donde:

$\text{min} (Ns)$ = número mínimo de paneles en serie

$V_{bomba_{\min}}$ = voltaje mínimo que necesita el controlador y bomba

$V_{mod_{\min}}$ = voltaje mínimo que entrega cada panel

Para calcular el $V_{mod_{\min}}$ se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$V_{mod_{\min}} = V_{mod_{MSTC}} + T_{max} \beta_{Mod} V_{oc} \quad (ec. 3.12)$$

Donde:

$V_{mod_{MSTC}}$ = tensión a máxima potencia del módulo fotovoltaico (v)

T_{max} = temperatura máxima a la que trabaja el módulo fotovoltaico ($^{\circ}C$)

β_{ModVoc} = coeficiente de temperatura del módulo fotovoltaico (%/K)

Es necesario expresar el B_{ModVoc} en voltios sobre grado centígrado ($V/^{\circ}C$), para esto aplicamos la siguiente ecuación:

$$B_{ModVoc} \left(\frac{V}{^{\circ}C} \right) = - \beta_{ModVoc} \frac{V_{oc}}{100} \text{ (ec. 3.13)}$$

Donde:

B_{ModVoc} ($V/^{\circ}C$) = coeficiente de temperatura del módulo en voltios sobre grado Celsius

V_{oc} = voltaje del módulo a máxima temperatura

El número máximo de módulos a conectar en serie se lo puede determinar a través del siguiente procedimiento:

$$\max (Ns) = \text{Int} \left[\frac{V_{bomb_{max}}}{V_{mod_{max}}} \right] + 1 \text{ (ec. 3.14)}$$

Donde:

$\max (Ns)$ = número máximo de paneles en serie

$V_{bomb_{max}}$ = voltaje máximo que soporta el controlador y bomba

$V_{mod_{max}}$ = voltaje máximo que entrega cada panel

Para calcular el $V_{mod_{max}}$ se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$V_{mod_{max}} = V_{mod_{OC.STC}} + T_{min} \beta_{ModVoc} \text{ (ec. 3.15)}$$

Donde:

$V_{mod_{OC.STC}}$ = tensión a circuito abierto del módulo fotovoltaico (v)

T_{min} = temperatura mínima a la que trabaja el módulo fotovoltaico (v) (Dominguez, 2011).

- **Agrupación de paneles en paralelo**

La conexión de paneles en paralelo permite aumentar la corriente de cada rama, al igual que con el valor de voltaje al que trabaja la bomba y controlador como se muestra en la figura 3.7, el valor máximo de corriente que se deberá generar en el arreglo fotovoltaico no deberá sobrepasar un límite máximo expresado por el fabricante en la hoja de datos del controlador y bomba, pero tampoco podrá estar por debajo de un valor límite mostrado también en las hojas de datos.

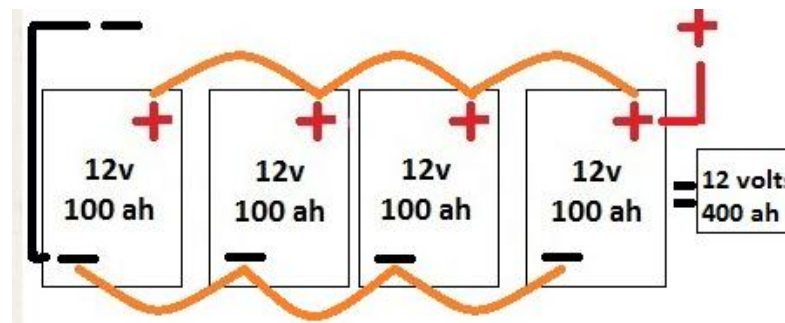


Figura 3.7 Conexión de paneles en paralelo
Fuente: (Eliseo, 2011)

En ocasiones puede darse el caso en el que una de las ramas derive su corriente hacia otra debido al deterioramiento en alguna de ellas o por efecto de sombras, para evitar este efecto, se colocan diodos de bloqueo como se muestra en la Fig.3.8 que permiten aislar las ramas defectuosas.

Los diodos de paso en paralelo a cada panel, permiten evitar la pérdida de potencia del conjunto generador cuando uno de los paneles limita la corriente de su serie.

Estos desajustes en la generación de cada panel o cada rama, producen picos de potencia como los que se muestran en la figura 3.8 (Chavarria Roe, 2010).

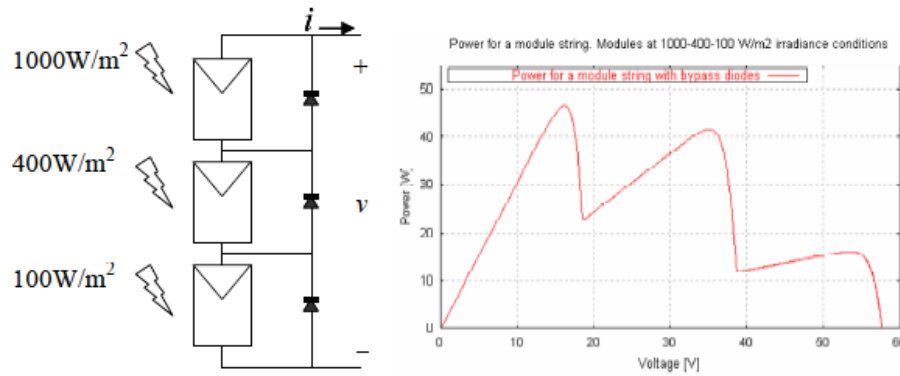


Figura 3.8 Aparición de máximos locales de potencia debidos al sombreado de paneles conectados en serie.

Fuente: (Chavarria Roe, 2010)

La presencia de estos picos es muy común cuando se conectan varios paneles con el fin de generar voltajes elevados, la forma más utilizada para eliminar estos picos es a través de la instalación de seguidores solares, que permiten siempre buscar el punto donde la radiación es máxima y por lo tanto el efecto de las sombras es mínimo.

El cálculo del número de paneles que se deben conectar en paralelo se lo obtuvo a través del siguiente proceso:

$$N_{mp} = ABS \left| \frac{I_{max.motor}}{I_{max.STC}} \right| \quad (ec. 3.16)$$

Donde:

N_{mp} = número de paneles en paralelo

$I_{max.motor}$ = corriente máxima que soporta el motor y controlador

$I_{max.STC}$ = corriente máxima de cada módulo solar (Dominguez, 2011).

La forma en la que interconectarán las ramas en paralelo y los paneles en serie, se muestra en la figura 3.9

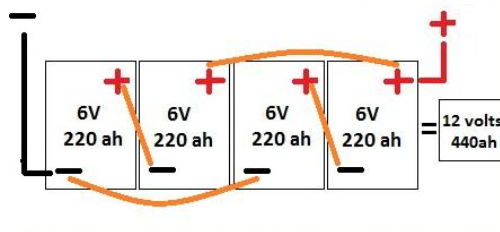


Figura 3.9 Diagrama de conexión de paneles en serie y paralelo (dos ramas en paralelo de dos paneles en serie cada una)

Fuente: (Eliseo, 2011)

3.1.2.3 Orientación de paneles

La orientación de los paneles fotovoltaicos permite obtener un mayor rendimiento del sistema generador; se los debe orientar de tal manera que la incidencia de la luz solar sea perpendicular a los paneles. En sistemas con seguimiento solar, la eficiencia del sistema generador es un 30% a 35% mayor que en sistemas sin seguimiento, si no se dispone de un sistema de seguimiento se debe orientar los paneles de tal manera que su rendimiento sea el mayor durante todos los meses del año. Para poder orientar los paneles de una manera correcta hay que definir su ángulo de desviación con respecto al ecuador (azimut α) y su ángulo de inclinación o elevación formador entre el panel y el plano horizontal (Beta β) (Chuquin Vasco, 2011). La representación de estos ángulos se muestra en la figura 3.10.

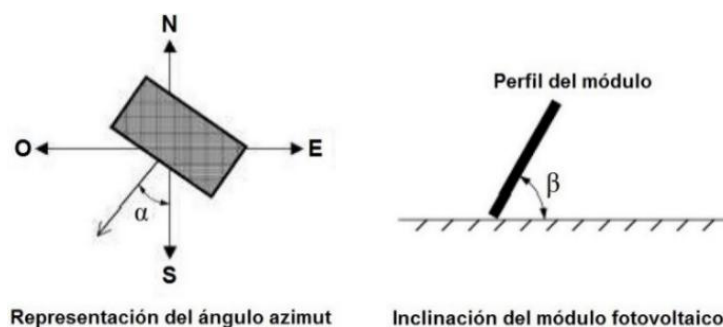


Figura 3.10 Ángulos azimut y beta de un panel fotovoltaico

Fuente: (Chuquin Vasco, 2011)

El azimut, es el ángulo formado sobre el plano entre la proyección del generador y la dirección sur. Su valor es cero si coincide con el sur, -90 si coincide con el este y 90 si coincide con el oeste. La posición idónea es con $\alpha = 0^\circ$, es decir, orientado hacia el ecuador, ya que el sol sale por el este y se pone por el oeste, para que durante el día

el panel capte la mayor cantidad de radiación posible. (Lojano Chacha, 2013). El promedio del valor de este ángulo por hora en el sector de Cataviña se muestra en la figura 3.11

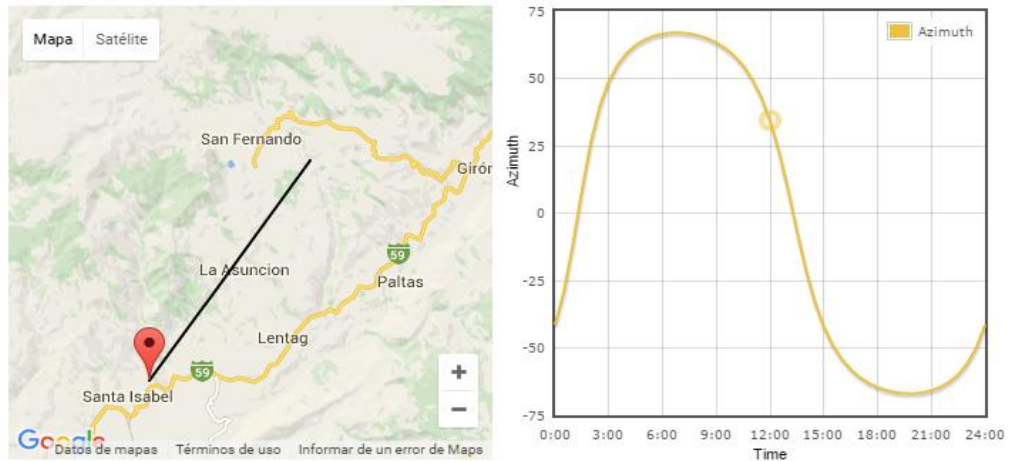


Figura 3.11 Promedio del ángulo azimuth en el cantón Santa Isabel durante un día
Fuente: (Google, n.d.)

Por otro lado, el ángulo de inclinación β , es el ángulo formado entre la superficie del panel fotovoltaico y el plano horizontal, su valor es 0 cuando está totalmente horizontal y 90 cuando es totalmente vertical. Se recomienda que su valor no sea menor a 10° con el objetivo de poder realizar mantenimiento sobre los paneles y también de esta manera evitar la acumulación de basura sobre la superficie del panel. Para su cálculo se necesita conocer la latitud del lugar donde se instalarán los paneles, el valor de este ángulo es igual al valor de la latitud en sentido opuesto al hemisferio en el que se encuentra. Debido a que la trayectoria del sol varía en los diferentes meses, existen tablas que permiten conocer cuál será la inclinación que deba tener el panel para maximizar su funcionamiento como se muestra en la tabla 3.3 (Pereja Aparicio, 2010).

Tabla 3.3 Ángulo de inclinación en relación a la latitud del lugar

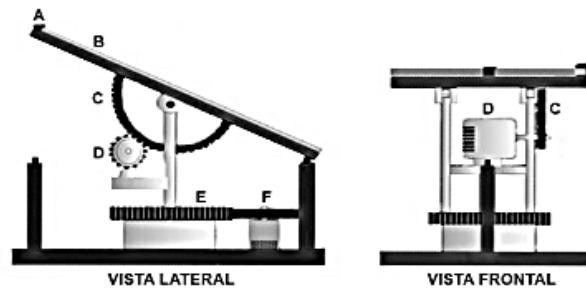
LATITUD DEL LUGAR	ÁNGULO EN INVIERNO	ÁNGULO EN VERANO
0 a 5 grados	15 grados	15 grados
15 a 25 grados	Latitud	Latitud
25 a 30 grados	Latitud +5 grados	Latitud -5 grados
30 a 35 grados	Latitud +10 grados	Latitud -10 grados
35 a 40 grados	Latitud +15 grados	Latitud -15 grados
más de 40 grados	Latitud +20 grados	Latitud -20 grados

Fuente: (Pereja Aparicio, 2010)

El proyecto al estar ubicado en el cantón Santa Isabel, tendrá un ángulo azimut de 0° y un ángulo de elevación de 15° .

3.1.2.3.3 Seguidores solares

Los seguidores solares, son mecanismos que permiten mover al panel fotovoltaico de tal manera que su ubicación cambie con respecto a la ubicación solar, y de esta manera, la incidencia de los rayos solares sobre el generador fotovoltaico sea la mayor en todo momento del día. La ventaja del uso de seguidores solares es que aumentan la potencia generada por los módulos en porcentajes entre el 30% y 35%, aunque, por otro lado, su alto costo de inversión para instalación y mantenimiento hacen que su uso aun sea muy limitado. La figura 3.12 muestra un mecanismo de seguimiento solar en dos ejes, tanto del ángulo azimutal como del ángulo de inclinación



A	Sensores
B	Panel solar
C	Engranajes para movimiento de inclinación
D	Motor de inclinación
E	Corona para movimiento azimutal
F	Motor azimutal

Figura 3.12 Panel solar sobre un seguidor de dos ejes
Fuente: (Energizar, s.f.)

Debido a los altos costos de implementación, el proyecto de extracción de agua no llevara seguidores solares, en su lugar se construyó una estructura metálica en el techo de una caseta donde se instalarán los componentes eléctricos y electrónicos del proyecto.

El número de paneles dependerá del análisis de la bomba que se utilizará en el proyecto, dicho análisis se lo desarrollará en capítulos siguientes.

3.1.3 Cálculo de la tapa de bombeo

Para iniciar este análisis es necesario conocer la carga dinámica total y la radiación presente en el sector para poder determinar el tipo de bomba y las características de la misma. Como se trató anteriormente, la CDT es de 100m y recurso solar presente en el sector, da un total de 4,2h de sol pico promedio. A partir de estos datos, se partirá con el análisis de la etapa de bombeo (Streeter, 2000).

3.1.3.1 Cálculo de potencia

Lo primero que se desarrollara, es el cálculo de la potencia necesaria para la bomba. Para esto se aplicará la siguiente fórmula (Larriva, 2015),

$$P_{calculada} = \frac{G \times Q \times CDT}{75 \times n} \quad (ec. 3.17)$$

Donde:

$P_{calculada}$ = potencia de la bomba expresada en caballos de potencia (hp)

G = peso específico del agua (1000Kg / m³)

Q = caudal expresado (m³/s)

CDT = carga dinámica total (m)

n = rendimiento par motor bomba (%)

El valor de n se expresa en la tabla 3.4: (Larriva, 2015).

Tabla 3.4 Eficiencia de las bombas según su potencia y factor de seguridad

Eficiencia Bombas		
Bombas(Edificios)	N	F.S.
Pequeñas (≤ 2 HP)	40 - 60%	1,5
Medianas (2 - 5 HP)	70 - 75%	1,3
Grandes (> 5 HP)	80%	1,2

Fuente: (Larriva, 2015)

En el caso expuesto en este trabajo, los parámetros son los siguientes y aplicada la fórmula da el siguiente resultado:

$$Q = 0,00155 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$CDT = 100\text{m}$$

$$n = 70\%$$

Aplicando la ec. 3.17 se obtiene

$$P_{calculada} = \frac{G \times Q \times CDT}{75 \times n}$$

$$P_{calculada} = \frac{1000 \times 0,00155 \times 100}{75 \times 0,7}$$

$$P_{calculada} = 2,952 \text{ Hp}$$

Ya que los fabricantes expresan la potencia de sus bombas en kW se transformará el valor obtenido a dicha unidad mediante la siguiente relación:

$$P_{calculada} (kw) = P_{calculada} (Hp) \times \frac{0.7457KW}{1Hp} \text{ (ec. 3.18)}$$

$$P_{calculada} (kw) = 2,952 \times \frac{0.7457KW}{1Hp}$$

$$P_{calculada} (kw) = 2,20 Kw$$

Este valor se lo multiplica por un factor de seguridad expresado en la tabla anterior, obteniendo la potencia real:

$$P_{real} (kw) = P_{calculada} \times Fs \text{ (ec 3.19)}$$

$$P_{real} (kw) = 2,2 \times 1,3$$

$$P_{real} (kw) = 2,86 Kw$$

El análisis permitió obtener la potencia mínima que necesitara la bomba que sera instalada.

3.1.3.2 Análisis de la curva de funcionamiento:

Este sería el primer aspecto a ser analizado, puesto que esta curva, expresada por cada uno de los fabricantes para cada uno de sus productos, permite conocer si la bomba es capaz de bombear a la altura deseada y bajo las condiciones de caudal y potencia requeridas. Un modelo clásico de esta curva se muestra en la figura 3.13 donde se utiliza un modelo genérico de panel fotovoltaico.

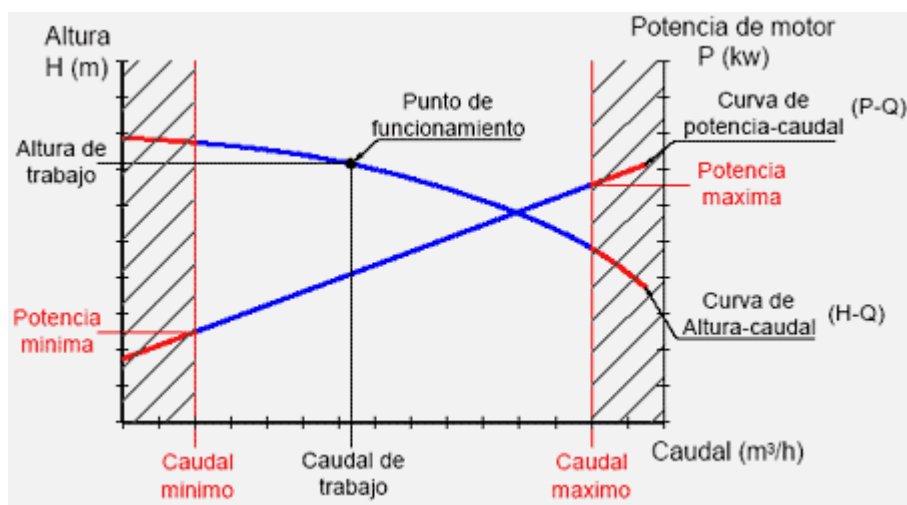


Figura 3.13 Curva característica de una bomba
Fuente: (Drotec)

La curva característica de una bomba muestra el caudal, altura y potencia a la cual la bomba a trabajar. Para poder seleccionar una bomba que pueda satisfacer las necesidades se debe fijar en la capacidad que tiene cada bomba para elevar el líquido deseado a la altura calculada, una vez que se establece este parámetro se debe fijar en la capacidad de bombear el caudal deseado. El valor del caudal podría variar aumentando potencia a la bomba, pero este valor es limitado por el fabricante, resultando muy contraproducente aumentar el valor de potencia sobre un límite máximo.

3.1.3.3 Cálculo del volumen de agua diario

Para poder determinar el volumen de agua que se podrá extraer en cada día, es necesaria conocer la potencia a la cual trabajara la bomba y el caudal que se podrá extraer a cierta potencia. Para determinar el caudal por día se aplicara la siguiente fórmula:

$$Q_{dia} = Q_{bomba} \times HSP \text{ (ec. 3.20)}$$

Donde:

Q_{dia} = caudal de líquido extraído al día (m^3)

Q_{bomba} = caudal de bombeo de la bomba (m^3/h)

HSP = horas de sol pico existentes en el sector.

3.1.4 Cálculo de conductores

Los conductores deben ser capaces de soportar la corriente que circulará a través de ellos y no provocar una caída de tensión excesiva (Blanco, s.f.).

En el proyecto se trabajará únicamente con corriente continua debido a que, de esta manera, se instalan un menor número de equipos que trabajando con un inversor de corriente continua a alterna.

Para el cálculo de la sección del conductor se aplicó la siguiente fórmula

$$s = \frac{2xLxIcc}{uxC} \text{ (ec. 3.21)}$$

Donde:

S = sección del conductor en milímetros (mm)

L = longitud del conductor en metros (m)

I_{cc} = la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles en amperios (A)

u = caída de tensión que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%. (v)

C = conductividad del elemento que forma el conductor ($m/\Omega \cdot mm^2$). (Blanco, s.f.).

Para calcular la caída de tensión, es necesario conocer el voltaje máximo que se maneja en el sistema, esto se obtiene multiplicando el voltaje que entrega cada panel por el número de paneles en serie que se conecten y por el porcentaje máximo de caída de tensión permitido:

$$u = V_{pan} \times N_{pan} \times \%_{vol} \text{ (ec. 3.22)}$$

Siendo:

V_{pan} = voltaje de cada panel (v)

N_{pan} = número de paneles conectados en serie (v)

$\% vol$ = porcentaje de la caída de tensión (%)

Luego de tener la calculad la sección del conductor, se procede a buscar el valor superior más cercano que se comercializa según la norma AWG.

Tabla 3.5 Tabla de sección de conductores AWG

Calibre AWG	Diámetro mm	Sección mm ²	Intensidad en amperios			
			Aire libre		3 conductores en tubo	
			TW	desnudo	TW	asbesto
0000	11,58	107,20	300	370	195	340
000	10,38	85,00	260	320	165	285
00	9,36	67,42	225	275	145	250
0	8,25	53,48	195	235	125	225
2	6,54	33,62	140	175	95	165
4	5,18	21,15	105	130	70	120
6	4,11	13,29	80	100	55	92
8	3,26	8,32	55	70	40	70
10	2,59	5,29	40	55	30	55
12	2,05	3,29	25	40	20	40
14	1,62	2,08	20	30	15	30
16	1,29	1,29	12	16	8	16
18	1,02	0,85	8	12	6	12

Fuente: (Latincasa, s.f.)

3.2 Simulación de datos obtenidos

Para simular los datos obtenidos se utilizarán tres softwares:

- PVsyst, V5.74
- PumpMANAGER, Lorentz
- EasySun pump, Atersa

3.2.1 Simulación de inclinación y potencia de paneles

Para simular que la inclinación seleccionada sea la óptima, se utilizará el software “PVSyst”, en su versión 5.74 desarrollado por la universidad de Geneva. El software permite seleccionar el lugar donde se desarrollará el proyecto para extraer los datos de radiación solar a través de una base de datos de la NASA.

Como se puede observar en la figura 3.14, dentro del software se seleccionó la locación de Santa Isabel en Ecuador; a continuación, se seleccionan los ángulos de inclinación y azimut y se muestra cómo cambia el punto de funcionamiento permitiendo seleccionar cual será el más óptimo.

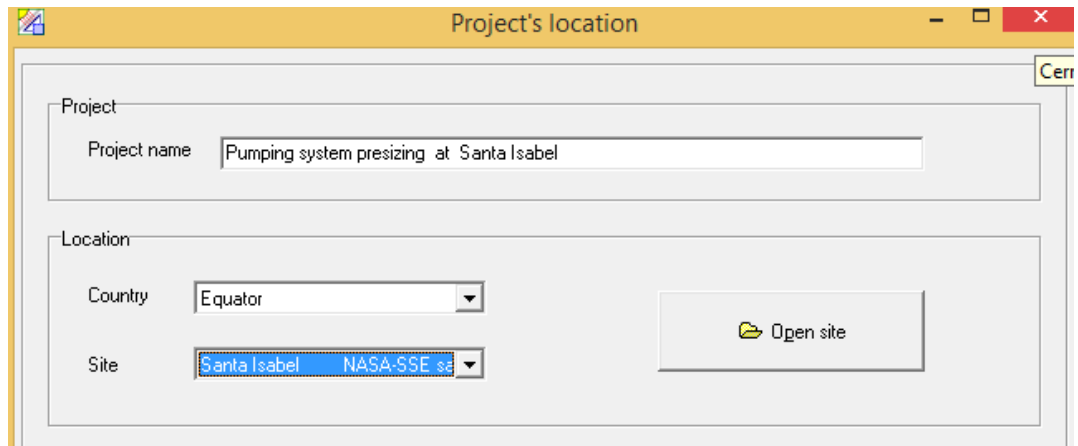


Figura 3.14 Captura de pantalla del software PVsyst en su pantalla de selección de locación del proyecto

Fuente: (PVsyst, 2012)

Como se observa en la figura 3.16, con un ángulo azimutal de 0° y una inclinación de 10° el sistema tiene una pérdida de tan solo el 0,3%, mientras que a medida de que el ángulo de inclinación y azimut varia, se tiene un rendimiento peor que el antes mencionado, este fenómeno se lo puede observar realizando una comparativa entre la figura 3.15 donde se tienen ángulos de inclinación y azimutal de 30° mostrando una pérdida en la eficiencia del 7%, y la figura 3.16 donde con los ángulos de 10° de inclinación y 0° azimutal como se había calculado al inicio del proyecto, la pérdida en la eficiencia del sistema es tan solo del 0,3%, lo que demuestra que las condiciones calculadas al inicio del desarrollo del proyecto en cuanto a la orientación e inclinación de los paneles, permiten obtener un rendimiento por demás aceptable de la etapa de generación fotovoltaica.

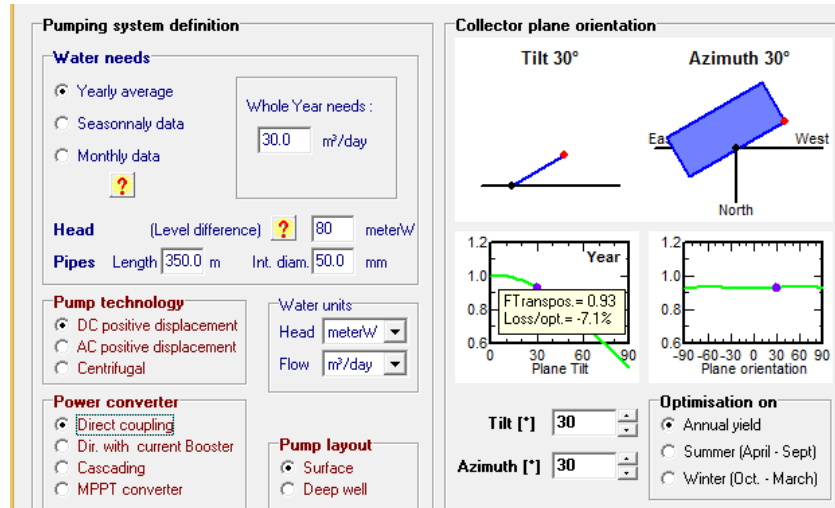


Figura 3.15 Software PVSys en su pantalla de muestra de datos con ángulo de inclinación y azimut de 30o

Fuente: (PVsyst, 2012)

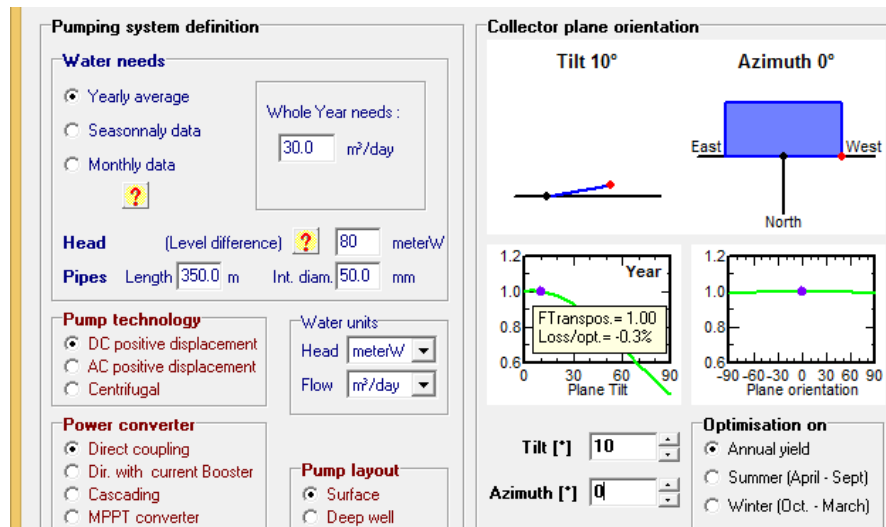


Figura 3.16 Software PVSys en su pantalla de muestra de datos con ángulo de inclinación de 10° y azimut de 0o

Fuente: (PVsyst, 2012)

3.2.2 Simulación de etapa de bombeo

3.2.2.1 Lorentz PumpMANAGER

Para la simulación de la etapa de bombeo, uno de los softwares utilizados fue “PumpMANAGER”, distribuido por la empresa Lorentz en su portal web. El software permite simular el funcionamiento de la bomba, mostrando el volumen diario de agua que se lograra extraer en cada mes, de la misma manera, permite

simular el número de paneles fotovoltaicos necesarios para su funcionamiento y su diagrama de conexiones.

Al no contar con los datos del cantón Santa Isabel, se seleccionó los datos del cantón Cuenca como se observa en la figura 3.17, pues es el más cercano al lugar donde se desarrollará el proyecto, presentando condiciones similares que permitirán tener un buen resultado al final de la simulación. Se muestra también que todos los cálculos se los ha realizado con una potencia de 6000Wp de potencia fotovoltaica y para el modelo de bomba PS4000 C-SJ5-25 –D, distribuido por la marca Lorentz.

PARAMETROS			
Ubicación:	Ecuador, Cuenca (3° Sur; 79° Oeste)	Temperatura de agua:	25° C
Salida diaria requerida:	35 m ³ ; Mes promedio		
Tipo de tubería:	-	Altura dinámica total:	100 m
PRODUCTOS		Detalles Cantidad	
PS4000 C-SJ5-25-D		1	
LC250-P60		24	
Sonda		1	
Interruptor solar		1	
Protección para sobretensión		1	
PV switch 440-40-6		1	

Figura 3.17 Selección de datos de ubicación del proyecto en Software Lorentz PumpMANAGER
Fuente: (Lorentz, 2016)

En la figura 3.18 se puede observar el promedio mensual de agua extraída por el sistema simulado. Se observa que, para el mes más bajo, se tiene un promedio de 34m³ de agua extraída, recordando que el promedio de consumo de habitantes fijos no sobrepasa los 22m³, el sistema funcionara de una manera adecuada para poder satisfacer tanto la demanda de habitantes fijos como de habitantes ocasionales.

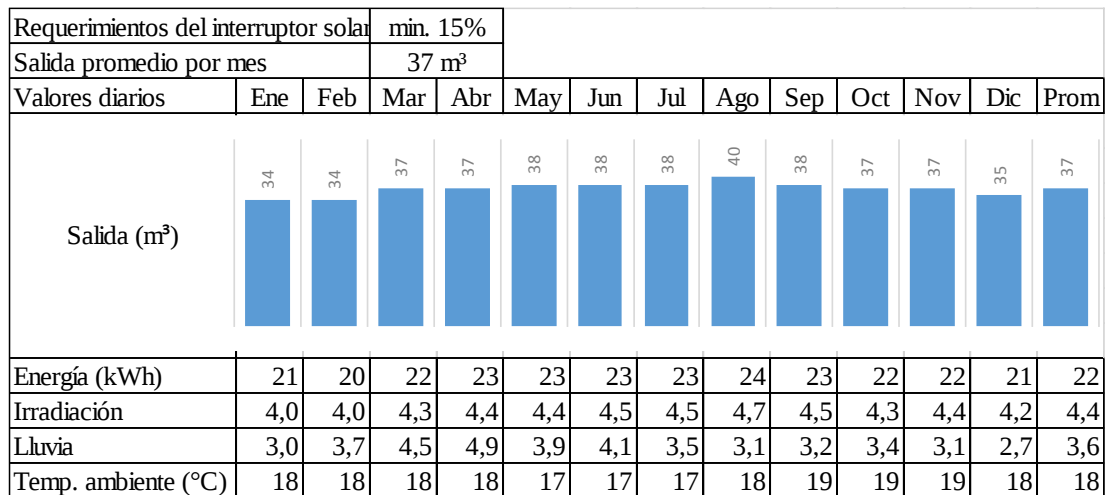


Figura 3.18 Volumen de agua extraída en promedio mensual según software Lorentz PumpMANAGER
Fuente: (Lorentz, 2016)

En la figura 3.19 se muestra el promedio de agua extraído por cada hora de funcionamiento de la bomba. Como es de esperar en las horas donde mayor radiación solar existe sobre el lugar, el sistema es capaz de bombear un mayor volumen de agua. De igual manera el software muestra los valores de irradiación y potencia generada en cada hora, así como la temperatura ambiente

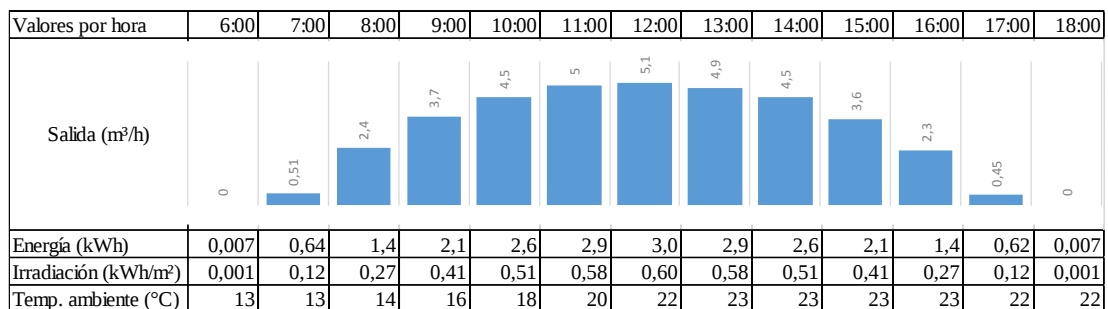


Figura 3.19 Volumen de agua extraída en promedio por hora según software Lorentz PumpMANAGER
Fuente: (Lorentz, 2016)

Como se había mencionado anteriormente, el software permite simular el diagrama de conexión de los paneles fotovoltaicos que alimentaran el controlador, cabe recordar, que los datos para la simulación de la potencia fotovoltaica son obtenidos de la tabla de radiación del cantón Cuenca, por lo que los valores simulados serán diferentes a los

valores calculados. El software señala una conexión de ocho paneles en serie y tres ramas en paralelo de ocho cada una como se muestra en la figura 3.20

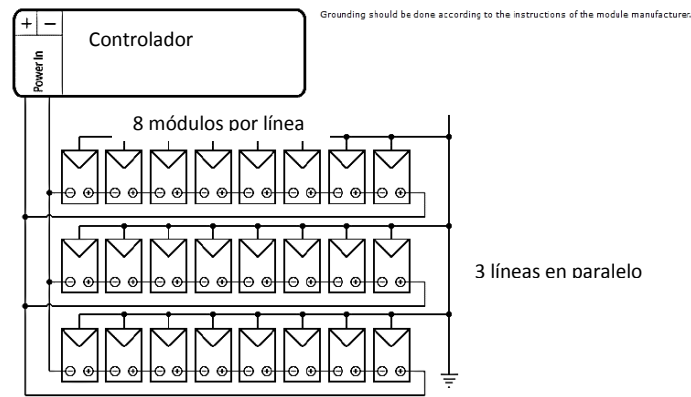


Figura 3.20 Diagrama de conexión de paneles fotovoltaicos según software Lorentz PumpMANAGER
Fuente: (Lorentz, 2016)

3.2.2.1 Atersa EasySun Pump

Se simuló el mismo sistema con la aplicación “EasySun pump”, de la compañía Atersa. Al igual que el software antes utilizado, se debe primero especificar los datos geográficos del pozo donde se extraerá agua para obtener los datos de radiación.

Como se observa en la figura 3.21, al no existir los datos del cantón Santa Isabel, se seleccionaron los datos del cantón Azogues, ubicado alrededor de 95,2km del lugar de la perforación (Google, n.d.).

Datos Pozo

Altura Manométrica (m) 100 AFORO m3/Hora 100000 Lugar: Azogues

Resultados obtenidos para la bomba seleccionada**PANEL SELECCIONADO**

Mod. Panel A-265
 Pot Panel (Wp) 265
 Voc (V) 38,40
 Imp (A) 8,54
 Gamma -0,0043

CAMPO PANELES

Pot Nom (kWp) 5,3
 Nº Paneles 20
 Nº de Series 2
 Pan. por serie 10
 Voc MAX (V) 385
 Inclinación (°) 10

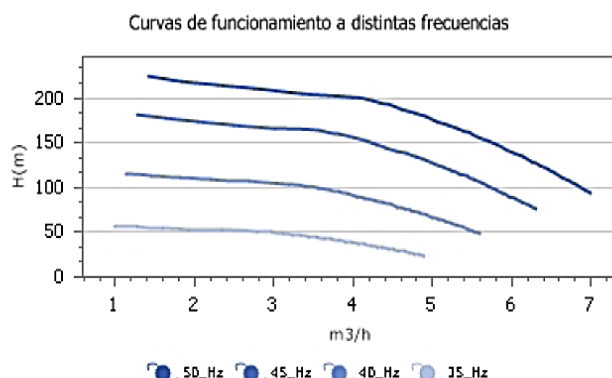


Figura 3.21 Captura de pantalla de EasySun pump con los datos del pozo y curvas de funcionamiento para las diferentes bombas de la marca EasyPum

Fuente: (EasyPump, 2015)

Como se observa en este software, bajo las condiciones de bombeo requeridas en posible extraer el volumen de agua deseado, siendo junio el mes de más baja extracción y superando los 30m³ necesarios para satisfacer la demanda de los habitantes de Cataviña. Un resumen de esto se puede observar en la tabla 3.6

Tabla 3.6 Datos obtenidos de caudal promedio extraído por día y por mes en el software EasyPump.

MES	Rad (KWh/m ²)	Temp Media (°C)	Caudal (m ³ /día)	Caudal Mes (m ³)
1	4,5	17,8	35,6	1104
2	4,3	17,7	34	952
3	4,4	18	34,9	1081
4	4,2	17,6	33,1	992
5	3,9	17,1	31,2	968
6	3,8	26,7	30,6	919
7	3,9	16,8	31,1	965
8	4,3	17,9	33,7	1046
9	4,4	18,9	34,9	1048
10	4,5	19,5	35,9	1113
11	4,8	18,9	38,1	1143
12	4,7	18,1	37,5	1162

Fuente: (EasyPump, 2015)

3.3 Ajuste de valores

Los valores obtenidos a través de los cálculos y de los simuladores no difieren mayormente mostrando una variación únicamente en la potencia pico a ser instalada mediante paneles fotovoltaicos. Debido a que los simuladores no poseen datos exactos en cuanto a radiación del lugar, sino que se utilizan datos de ciudades cercanas que tengan características semejantes, los valores con los que trabajara para la selección de los equipos serán los calculados donde sí se utilizaron los datos del lugar donde se realizara el proyecto. Para la continuación del proyecto, los datos a ser considerados serán los mostrados en la tabla 3.7:

Tabla 3.7 Datos finales para el desarrollo del proyecto

DATOS FINALES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	
Carga dinámica total (CDT)	100m
Potencia pico de los generadores fotovoltaicos	7,2Kw
Potencia de cada panel fotovoltaico	250w
Potencia mínima de la bomba	2,8Kw
Caudal de agua diario	30m ³

CAPÍTULO IV

ELECCIÓN DE EQUIPOS Y ADQUISICIÓN DE LOS MISMOS

En este capítulo se mostrarán las características técnicas de cada uno de los equipos disponibles actualmente en el mercado ecuatoriano capaces de cumplir con los requerimientos expresados en los capítulos anteriores. Se presentarán varias opciones en cuanto a marcas, en las cuales aparte de ser analizadas desde un punto de vista técnico, se analizará también el aspecto económico de cada una de las diferentes opciones para al final del capítulo, en conjunto con las autoridades encargadas del desarrollo del proyecto, realizar la adquisición de los mismos.

Con los equipos adquiridos se procederá a instalarlos en el sector de Cataviña para demostrar que lo que se ha calculado permite garantizar el correcto funcionamiento del sistema de bombeo y generación eléctrica por parte de la central fotovoltaica.

4.1 Análisis de las características de los equipos

Se presenta a continuación las características técnicas y económicas de los paneles fotovoltaicos, encargados de subintrar la potencia necesaria para el sistema de bombeo, y del solar kit de las marcas Lorentz y Franklin, dos marcas con vendedores directos en el país. Se dividirá el análisis en dos partes, analizando en la primera únicamente los componentes desde un punto de vista técnico y en la segunda parte un análisis económico.

Se partió del análisis de la bomba y controlador que se utilizará, pues según ese dato, se podrá elegir la configuración de los paneles.

4.1.1 Análisis técnico de los paneles fotovoltaicos

Dentro del análisis de paneles fotovoltaicos se partió de un estudio de disponibilidad de productos a nivel nacional. Luego de hacer este estudio se determinó que la mejor opción son los paneles “SunLink SL220-20P250” debido a que son los que mayor

potencia nominal presenta y, sobre todo, existen en el país para ser distribuidos de manera inmediata.

De la hoja de datos, se puede observar las características de temperatura y eléctricas más sobresalientes mostrados en la tabla 4.1 y 4.2:

Tabla 4.1 Coeficientes de temperatura de los paneles SunLink SL220-20SP250

COEFICIENTES DE TEMPERATURA		
Coeficiente de temperatura		1000 W/m ² , 25 °C
Coeficiente de voltaje (V_{oc})	β	- 0,32 %/K
Coeficiente de corriente (I_{sc})	α	+0,050 %/K
Coeficiente de potencia (P_{mpp})	γ	- 0,43 %/K
Mínima tolerancia de potencia		0 -+ 3 %

Fuente: (SunLink, 2009)

De la tabla de coeficientes de temperatura se extraerán los valores necesarios para el cálculo de la pérdida de voltaje de cada panel en las diferentes temperaturas a las que puede trabajar. Debido a que la temperatura promedio del sector varía entre 16° y 20° no se tomó en cuenta para su respectivo análisis.

Tabla 4.2 Características eléctricas de los paneles SunLink SL220-20SP250

DATOS ELÉCTRICOS		
Tipo de módulo	SL220-20P255	SL220-20p250
Potencia nominal pico	255 W	255 W
Voltaje nominal	30,7 V	30,5 V
Corriente nominal	8,31 A	8,20 A
Voltaje a circuito abierto	37,3 V	37,3 V
Corriente de corto circuito	8,90 A	8,79 A
Eficiencia del módulo	15,70%	15,40%
Temperatura de operación	-40 a +85 °C	-40 a +85 °C

Fuente: (SunLink, 2009)

Con los datos eléctricos del panel, se podrá diseñar el diagrama de conexión de la fuente fotovoltaica para cada una de las diferentes bombas y controladores.

4.1.2 Análisis de los equipos para la etapa de bombeo

Dentro del mercado ecuatoriano actual, las bombas que pueden satisfacer la demanda de agua necesaria bajo las condiciones anteriormente expresadas son de tipo sumergible de las marcas Lorentz y Franklin. Ambas empresas ofrecen un “solarkit” compuesto por una bomba, un motor y un controlador. Para analizar la etapa de bombeo se partirá del análisis de las curvas de cada uno de los tipos de kits anteriormente señalados, continuando con el análisis de sus hojas de datos.

4.1.2.1 Franklin Solar Pack 25sdsp 3HP

Como se mencionó anteriormente, se partió de un análisis de la curva característica de funcionamiento de este modelo. La curva se muestra en la figura 4.1

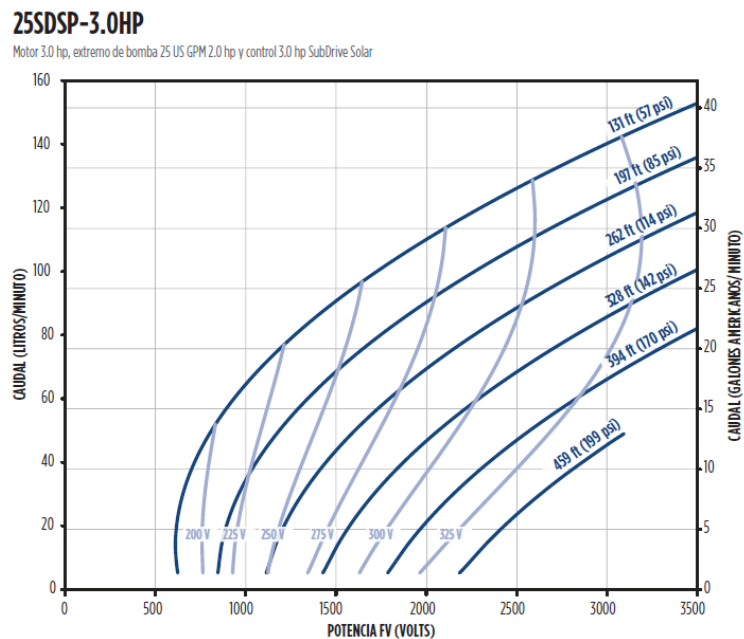


Figura 4.1 Curva característica de Franklin Solar Pack 25SDSP
Fuente: (Franklin, 2013)

Ya que la curva presenta la CDT en pies, primero se debe transformar los 100m que el proyecto presenta de CDT a pies. Esto se logra a través de la siguiente ecuación:

$$CDT_{ft} = CDT_m \times \frac{3,28ft}{1m} \text{ (ec. 4.1)}$$

$$CDT_{ft} = 100 \times \frac{3,28}{1}$$

$$CDT_{ft} = 328ft$$

Luego de aplicar esta ecuación, se determinó que la CDT representa 328ft, por lo que analizando la curva se puede expresar que la bomba será capaz, con una potencia de 3500Kw, extraer un caudal de 100 l/m. Ya que las autoridades encargadas del proyecto han solicitado expresar los caudales en m³/h se procedió a transformar el dato anteriormente obtenido a través de la siguiente relación:

$$Q_{m^3/h} = Q_{\frac{l}{m}} \times \frac{60m}{1h} \times \frac{1m^3}{1000l} \text{ (ec 4.2)}$$

$$Q_{m^3/h} = 100 \times \frac{60}{1} \times \frac{1}{1000}$$

$$Q_{m^3/h} = 6 m^3/h$$

Luego de determinar el caudal que será capaz de extraer la bomba, se procedió a calcular el volumen diario de agua promedio que se podrá extraer. Para esto se aplicó la siguiente ecuación ec. 3.20

$$Q_{dia} = Q_{bomba} \times HSP$$

$$Q_{dia} = 6 \times 4,2$$

$$Q_{dia} = 25,2 m^3$$

Recordando que el consumo diario promedio es de 21,06 m³ se demuestra que esta bomba puede satisfacer la demanda de agua diaria y almacenar el sobrante para los días donde el consumo aumenta por la presencia de visitantes en el sector.

Una vez terminado este análisis, se procedió a analizar las características eléctricas; para analizar estas características se partió del análisis de su hoja de datos, facilitada por el vendedor como muestra la tabla 4.3.

Dentro de los datos que se requieren para la conexión del sistema, el más importante es la fuente fotovoltaica ya que la conexión de los paneles no deberá superar un límite superior de voltaje ni estar por debajo del límite inferior, de la misma manera no podrá pasar el límite de corriente permitida ni el límite de potencia pues sobrepasar estos límites podría dañar el controlador y la bomba.

Tabla 4.3 Características eléctricas del controlador SolarDrive Franklin

ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR SubDrive Solar	
	Modelo 3,0 hp (2,2kW)
N. modelo del controlador	5870301223
General	
Voltaje de salida, máx.	200 V CA, trifásico
Amperios (RMS), máx.	12,5 A, cada fase
Frecuencia de salida	30-68 Hz
Eficiencia a potencia máx.	96%
Fuente FV	
Voltaje de entrada, a mpp	*190-330 V CD
Entrada máx. de amperios	12 A CC, continua
Alimentación a mpp	hasta 3500 W
Generador de CA alterno	
Voltaje de entrada	230 v CA, monofásico
Amperios (RMS), máx.	25 A
Para uso con	
Motor Franklin Electric	234306---

Fuente: (Franklin, 2013)

Analizando la hoja de datos se observa que el límite de corriente es de 12 amperios, el de potencia es de 3500 watts y el rango de voltajes esta entre 190v y 330 voltios.

Con estos datos se procedió a diseñar el esquema de conexión de los paneles solares.

- **Conexión de paneles en serie**

Para diseñar el esquema de conexión de los paneles para este modelo de bomba y controlador, es necesario conocer los datos de voltaje máximo y mínimo que pueden ingresar al sistema. Al conocer el rango de voltajes de entrada del arreglo fotovoltaico

que puede soportar este equipo se analizó el mínimo y máximo de paneles que podrán ser conectados en serie.

El voltaje mínimo que necesita el sistema para poder iniciar su funcionamiento es de 190v, conociendo este dato se aplicó la ecuación ec. 3.11

$$\text{mín} (Ns) = \text{Int} \left[\frac{V_{bomba_{\min}}}{V_{mod_{\min}}} \right] + 1$$

$$\text{mín} (Ns) = \text{Int} \left[\frac{190}{29,2} \right] + 1$$

$$\text{mín} (Ns) = 7$$

Luego de aplicar la ecuación antes mencionada, se determina que el número de paneles mínimo que se necesita conectar en serie es de 7 paneles. Al presentarse en el sector una temperatura promedio anual que no sobrepasa el rango de temperatura de funcionamiento expresada por el fabricante la de los paneles en la hoja de datos mostrada en la tabla 2, el valor del voltaje de cada panel utilizado para el desarrollo de estos cálculos será el valor del voltaje nominal mostrado en la misma tabla.

De la misma manera que para el cálculo anterior, el número máximo de paneles que podrán ser conectados en serie, depende del voltaje máximo que podrá soportar el sistema. Este dato es de 330v y se lo obtuvo de la hoja de datos. Una vez conocido ese dato, se aplicó la ecuación ec. 3.14 para desarrollar el cálculo

$$\text{max} (Ns) = \text{Int} \left[\frac{V_{bomba_{\max}}}{V_{mod_{\max}}} \right] + 1$$

$$\text{max} (Ns) = \text{Int} \left[\frac{330}{29,2} \right]$$

$$\text{max} (Ns) = 12$$

- **Conexión de los paneles en paralelo**

Para calcular el número máximo de líneas en paralelo, será necesario conocer los valores de corriente que entrega cada panel, así como los valores de corriente máxima que consume el sistema controlador-bomba, dichos valores se expresan en las hojas de datos de los fabricantes y para este caso los valores son de 6,17A de corriente máxima

de cada panel y 12A de máxima corriente para el controlador Franklin. Una vez conocidos estos valores, se aplicó la ecuación ec. 3.16 para desarrollar el cálculo.

$$N_{mp} = ABS \left| \frac{I_{max.motor}}{I_{max.STC}} \right|$$

$$N_{mp} = ABS \left| \frac{12}{6,17} \right|$$

$$N_{mp} = 1$$

Una vez determinado el número de paneles se procede a calcular el conductor que se utilizará. Para determinar el tipo de conductor que se utilizara en el proyecto, es necesario conocer el material del conductor y la distancia que deberá recorrer el mismo. El conductor seleccionado será el cobre y la distancia que recorrerá este será no mayor a 15m.

El método de cálculo para el tipo de conductor se lo expuso en el capítulo anterior en las ecuaciones 3.22 y 3.21, y utilizando estos datos, los resultados fueron los siguientes:

$$u = V_{pan} \times N_{pan} \times \%_{vol}$$

$$u = 29,2 \times 12 \times 0,015$$

$$u = 5,256$$

Para el análisis siguiente se seleccionó una longitud de cable de 15m, presente entre los paneles y el controlador:

$$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$$

$$s = \frac{2 \times 15 \times 6,17}{5,256 \times 58}$$

$$s = 0,61 mm^2$$

Con este valor, se procedió a buscar el conductor que cumpla con este diámetro en la tabla 3.3 dando como resultado el uso de un conductor número 18 AWG.

4.1.2.2 Lorentz PS4000 C-SJ5-25

Todos los cálculos realizados para el modelo Franklin 25DSP – 3.0HP fueron aplicados con este modelo pues el procedimiento es el mismo. Tal como se desarrollo con el modelo anterior, lo primero que se analizó fue la curva característica de esta bomba mostrada en la figura 4.2.

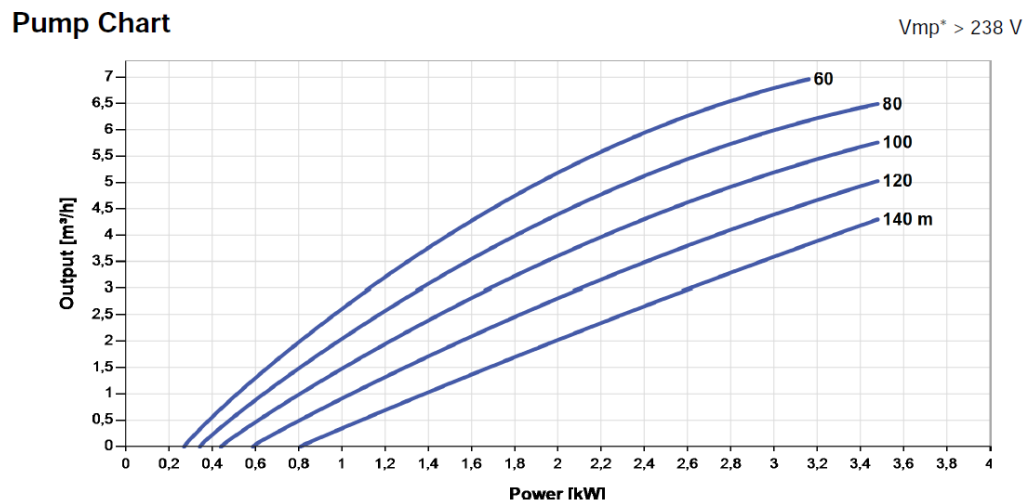


Figura 4.2 Curva característica de Lorentz PS4000 C-SJ5-25
Fuente: (Lorentz, 2016)

La curva muestra un caudal de 6m³/h con una potencia de 3,5Kw para una altura de bombeo de 100m, altura que representa el CDT calculado para el desarrollo del proyecto. Con el valor de caudal que extraerá la bomba se calculó el volumen diario de agua que será extraído con la ecuación ec. 3.20

$$Q_{dia} = Q_{bomba} \times HSP$$

$$Q_{dia} = 6 \times 4,2$$

$$Q_{dia} = 25,2 \text{ m}^3$$

Al igual que con el modelo anterior se demuestra que esta bomba puede satisfacer también, la demanda de agua diaria y almacenar el sobrante para los días donde el consumo aumenta por la presencia de visitantes en el sector.

Se procedió a analizar las características eléctricas del modelo en análisis, estas características se muestran en la tabla 4.4.

Como se puede observar, el rango de voltajes esta entre 238v y 375v, la potencia máxima es de 4kw y el límite de corriente es de 15A.

Tabla 4.4 Características eléctricas del controlador PS-4000

DATOS TÉCNICOS	
Potencia	máx. 4,0 kW
Voltaje de entrada	máx. 375 V
Voltaje óptimo	> 238 V
Corriente del motor	máx. 15 A
Eficiencia	máx. 98 %
Temperatura ambiente	-30 +50
Clase de aislamiento	IP65

Fuente: (LORENTZ, 2015)

En la tabla 4.5 se muestran los datos recomendados por el fabricante para la instalación del generador fotovoltaico, conductor para el motor y sistema de bombeo.

Tabla 4.5 Características para generador FV, motor y bomba del controlador PS-4000

GENERADOR FV		
	Unidades	800 W/m ² , 20 °C
Temperatura de la celda	°C	46
Temperatura perdida	%	8,8
P _{max}	W _p	3,94
V _{mp}	V	222
I _{mp}	A	18
V _{oc}	V	274
I _{sc}	A	19
P _{out}	W _p	3,525
V _{out}	V	244
I _{out}	A	14

Fuente: (LORENTZ, 2015)

- **Conexión de paneles en serie**

Al igual que con el modelo anterior, se calculó primero el número mínimo de paneles en serie que necesita el sistema generador y posteriormente se calculó el número máximo que garantizara no exceder el límite superior.

Al ser el voltaje mínimo que necesita el controlador 238v, el numero mino vendría dado por la ecuación ec. 3.11

$$\text{mín (Ns)} = \text{Int} \left[\frac{V_{\text{bomb}_{\text{min}}}}{V_{\text{mod}_{\text{min}}}} \right] + 1$$

$$\text{mín (Ns)} = \text{Int} \left[\frac{238}{29,2} \right] + 1$$

$$\text{mín (Ns)} = 9$$

Luego de aplicar la ecuación antes mencionada, se determina que el número de paneles mínimo que se necesita conectar en serie es de 9 paneles.

El voltaje máximo que podrá recibir el controlador es de 365v, con este valor obtenido de la hoja de datos en la tabla 4.4, se aplicó la ecuación ec. 3.14 para desarrollar el cálculo:

$$\text{max (Ns)} = \text{Int} \left[\frac{V_{\text{bomb}_{\text{max}}}}{V_{\text{mod}_{\text{max}}}} \right] + 1$$

$$\text{max (Ns)} = \text{Int} \left[\frac{365}{29,2} \right] + 1$$

$$\text{max (Ns)} = 13$$

- **Conexión de los paneles en paralelo**

Los datos necesarios para calcular el número de paneles en paralelo son los datos de corriente que entrega cada panel y la corriente máxima que es capaz de manejar el sistema controlador-bomba.

Como se observa en la tabla 4.5, la corriente máxima que soporta el controlador es de 25A y la corriente que entrega cada panel es de 6,17A. Con estos datos se aplicó la ecuación ec. 3.16

$$N_{mp} = ABS \left| \frac{I_{\max.motor}}{I_{\max.STC}} \right|$$

$$N_{mp} = ABS \left| \frac{25}{6,17} \right|$$

$$N_{mp} = 4$$

Conociendo el número de paneles, se procedió a calcular el tipo de conductor. Para calcular el tipo de conductor que se utilizara, se ha tomado el valor de 25A siendo este el valor de la corriente máxima que circulara por los conductores y un número de 13 paneles conectados en serie cada uno con un voltaje de 29,2v.

Con estos datos se aplicaron las ecuaciones 3.22 y 3.21 para determinar el diámetro del conductor:

$$u = V_{pan} \times N_{pan} \times \%_{vol}$$

$$u = 29,2 \times 13 \times 0,015$$

$$u = 5,694$$

Para el análisis siguiente se seleccionó una longitud de cable de 15m, presente entre los paneles y el controlador:

$$s = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{u \times C}$$

$$s = \frac{2 \times 15 \times 25}{5,694 \times 58}$$

$$s = 2,27 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se analizó los diámetros de los diferentes calibres AWG de la tabla 3.3 y se determinó que el conductor que se utilizara es alambre de cobre número 10.

4.2 Análisis del costo total del proyecto

Una vez conocidos todos los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto, se procedió a entregar una lista con todos los materiales para las autoridades encargadas del desarrollo del mismo, dicha lista de materiales se muestra en la tabla 4.6:

Tabla 4.6 Lista de materiales para el proyecto

Lista de materiales proyecto de bombeo subterráneo para el sector de Cataviña en el cantón Santa Isabel	
Artículo	Numero
Paneles solares	24
Bomba	1
Controlador	1
Sensor de nivel de líquidos	2

Una vez entregada esta lista, y en acuerdo con las autoridades del cantón, se procedió a contactar a varios distribuidores a nivel nacional los cuales entregaron las siguientes ofertas presentadas en las figuras 4.4, 4.5 y 4.6.:

COTIZACIÓN: SOLAR PACK con bomba para 35gpm con motor de 3HP:

IT	CODIGO	DESCRIPCIÓN	CNT	P UNIT	P TOTAL
1	(por crear código ítem nuevo)	SOLAR PACK modelo: 25SDSP-3.0HP. (incluye tablero de control, bomba y motor)	1	\$ 5.212,20	\$ 5.212,20
		MARCA: Franklin Electric (USA)			
		MOTOR SUMERGIBLE ENCAPSULADO			
		POTENCIA 3 HP			
		No ta: Ver detalle en especificaciones técnicas adjuntas			
		VALOR DE MANO DE OBRA EN CASO DE SER REQUERIDA ES A PARTE			
		SUB TOTAL		USD \$	\$ 5.212,20
		IVA			\$ 625,46
		TOTAL		USD \$	\$ 5.837,66

Figura 4.3 Cotización Franklin solar Pack por Acero Comercial S.A
Fuente: (Acero Comercial Ecuatoriano S.A.)

Fecha	martes, 16 de Febrero de 2016		
Cliente	Andrés Ortega Ormaza		
R.U.C.			
Dirección	Cuenca		
Teléfono	0984684255		
Correo	estebanoml@hotmail.com		
Ref.:	Sistema solar de bombeo de agua para reservorio alto		
	Generación solar diaria 17,28 KWh promedio; 5760 Wp, altura bombeo 100 m		
DETALLE DE LA PROFORMA			
Cant.	Descripción	P.	Subtotal
1	Bomba de agua LORENTZ PS4000_CSJ5_25_D con control. MPPT con caudal máx. 7 m3/h; altura máx. 140 m; potencia 4000 Wp nominal	7.930,00	7.930,00
24	Paneles solares fotovoltaicos Fortune 240 W 24 V, certific. UL, 25 años	457,00	10.968,00
1	PV DC Disconnect Lorentz 440-20-6	367,00	367,00
1	Lightning Surge Protector MidNite MNSPD300	290,00	290,00
		Subtotal:	19.555,00
		0 % IVA *:	
		12 % IVA:	2.346,60
		Total:	21.901,60

* Las futuras importaciones de equipos eléctricos pueden tener un impuesto de salvaguardia

** Las bombas solares requieren de un sensor de nivel de agua del pozo y tanque.

*** Las tuberías, el tanque y pozo, soporte paneles, sala de equipos no están incluidas en esta oferta.

**** Según nuestra experiencia los gráficos de Lorentz muestran un rendimiento muy alto.

Figura 4.4Cotización Lorentz PS4000-CSJ5-25

Fuente: (Codeso S.A)

OFERTA ECONÓMICA

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	Precio Unitario incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Paneles	MD061 Sunlink Modelo SL0220-20P 250 , 24Vdc nominal 250Wp, 24 V, 250 W	12	339,02 \$	379,70 \$	4.068,24 \$	4.556,43 \$
CUATRO MIL CIENTO CON 79/100					Subtotal:	4.068,24 \$
					Neto:	4.556,43 \$
					Desc. 10%	406,82 \$
					Subtotal IVA 12%:	3.661,42 \$
DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA					Subtotal IVA 0%:	0,00 \$
INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA					IVA 12%:	439,37 \$
					Total:	4.100,79 \$

Figura 4.5Cotización de 12 paneles solares SunLink

Fuente: (Renova-Energia S.A.)

Una vez analizadas las diferentes propuestas en conjunto con las autoridades del cantón, se acordó utilizar los siguientes materiales, que sumados, representan el siguiente valor total de inversión mostrado en la tabla 4.7

Tabla 4.7 Lista de elementos y costo de los mismos

Monto total de inversión en equipos para sistema de extracción de agua en el sector de Cataviña			
Elemento	Numero	Valor unitario	Valor total
Paneles solares SunLink 250W	24	379,70	9.112,80
Bomba de agua Lorentz PS4000-CSJ5-25-D	1	7.930,00	7.930,00
PV DC Disconnect Lorentz 440-20-6	1	367,00	367,00
Lightning Surge Protector MidNite MNSPD300	1	290,00	290,00
TOTAL DE INVERSION:			\$17.699,80

En la primera etapa, se adquirieron 12 paneles fotovoltaicos y, además, se construyó la estructura donde se instalarán los mismos encima de un cuarto de bloque, que será utilizado como cuarto de máquinas. La construcción de este cuarto se observa en las figuras 4.6, 4.7 y 4.8

Cabe señalar que, de los doce paneles adquiridos, dos se rompieron mientras personal encargado de transportarlos desde la ciudad de Cuenca hacia Cataviña los llevaba a bordo de un vehículo. Por este motivo se instalaron únicamente 10 paneles como muestra la figura 4.9



Figura 4.6 Inicios de los trabajos de construcción de cuarto de máquinas
Fuente: (Autoría Propia)



Figura 4.7 Construcción de cuarto de máquinas
Fuente: (Autoría Propia)



Figura 4.8 Finalización de la construcción del cuarto de máquinas
Fuente: (Autoría Propia)



Figura 4.9 Instalación de los primeros 10 paneles fotovoltaicos
Fuente: (Autoría Propia)

CAPITULO V

MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

Dentro de este capítulo se desarrollará un manual de uso y mantenimiento para la central de generación de energía como para la etapa de bombeo. Además, se presentan las normas de seguridad a seguir durante el uso y mantenimiento de la central fotovoltaica.

Las bombas sumergibles generalmente no requieren mantenimiento y en caso de ser necesario se recomienda que lo haga el personal debidamente entrenado por el fabricante.

5.1 Características del sistema Fotovoltaico

El proceso que ocurre en los sistemas de bombeo solar es el siguiente:

La luz solar llega a la superficie de los módulos fotovoltaicos, donde es convertida en energía eléctrica de corriente continua, luego dicha energía pasa a un sistema de control el cual evita que se excedan los límites de sobretensión de la bomba.

Cuando se tiene una bomba de corriente continua, se puede instalar directamente del regulador a la bomba. Cuando se tiene una bomba de corriente alterna se requiere de un inversor de corriente, en donde es convertida a corriente alterna, en este caso se requiere mayor generación de energía por parte de los paneles fotovoltaicos para alimentar al inversor y a su vez la bomba.

Por tanto, los componentes de un sistema solar fotovoltaico se muestran en la Figura 5.1

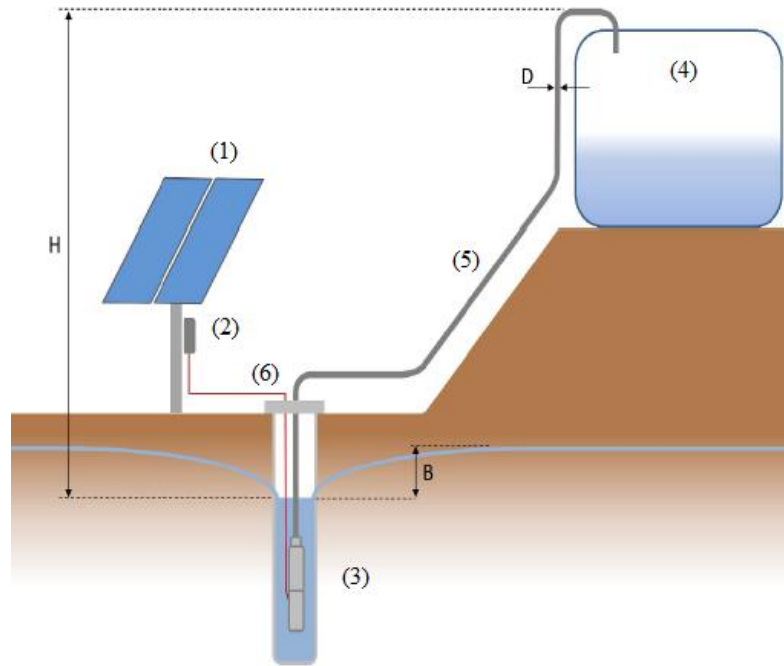


Figura 5.1 Componentes de un sistema solar fotovoltaico
Fuente: (Franklin, 2013)

- (1) Generación de energía mediante paneles solares (250 Watts c/u).
- (2) Controlador de sobretensión.
- (3) Bomba de corriente continua.
- (4) Reservorio (tanque de 30.000 litros).
- (5) Tubería (2 pulgadas).

5.1.1 Generación fotovoltaica

Dentro de esta categoría se tiene los paneles solares y el controlador de potencia.

5.1.1.1 Interconexión de paneles fotovoltaicos

Todos los paneles que se interconectan deben ser iguales, es decir, de la misma marca, potencia y con las mismas características constructivas.

La interconexión de los paneles solares se realiza asociando primero paneles en conexión serie (cerchas), hasta conseguir un nivel de tensión de acuerdo a un valor calculado, y después se asocia en paralelo conectando las cerchas en serie, para obtener un valor de tensión requerido por la bomba.

5.1.1.2 Tipos de controladores

El controlador es el encargado de desconectar los paneles de la bomba para evitar la sobretensión. Para la desconexión se utiliza interruptores que pueden ser dispositivos electromecánicos (relés, contactores, etc.) o interruptores de estado sólido (transistor bipolar, etc.).

5.1.2 Etapa de bombeo

De la salida del controlador se utiliza cable blindado, el cual protege al cable interno (positivo y negativo) de agentes externos que pueden afectar la alimentación de la bomba. Este cable al ser conectado a la bomba se lo debe hacer herméticamente ya que la misma se encuentra sumergida en el pozo que a su vez está a 30 metros por debajo de la superficie.

5.2 Usos y manejo de los equipos

5.2.1 Consideraciones generales al manipular los elementos del sistema

- No se debe manipular las tarjetas eléctricas puesto que contiene componentes sensibles y pueden quemarse con facilidad.
- El cuarto de control debe estar aislado, es decir, no debe haber materiales inflamables.
- Se debe trabajar con los respectivos equipos de seguridad, con guantes para altas corrientes, botas de seguridad, casco, etc.

5.2.2 Paneles solares

- Los paneles fotovoltaicos generan energía en todo el día, incluso cuando se tienen días nublados existe generación.
- Si se va a manipular los paneles siempre con guantes aislantes para corrientes elevadas, debido a que cada panel genera corrientes cercanas a los 8 amperios.
- Se debe mantener limpia el área donde estén instalados los paneles solares, para ello se deberá podar toda la vegetación que pueda generar sombra a los mismos, con esto también evitamos que pueda caer hojas o ramas sobre el panel impidiendo el correcto funcionamiento.

5.2.3. Controlador de potencia

- En el lugar donde se coloque el controlador se debe tener condiciones de temperatura adecuadas (Ver hoja de datos del fabricante).
- Se debe colocar fuera del alcance de niños y animales.
- Se debe controlar la humedad para evitar afecciones a los diferentes circuitos que conforma el sistema.
- Si se requiere manipular el controlador se debe realizar bajo normas de seguridad antes mencionadas.

5.2.4 Bomba solar

- Mantener el área de la perforación limpia, para evitar que caigan materiales como piedras, polvo, etc. Que pueden afectar tanto el agua que se va a extraer como la bomba misma.
- Si se requiere manipular la bomba se debe trabajar bajo las normas de seguridad adecuadas.
- Para extraer la bomba primero se deben a pagar todos los dispositivos para evitar posibles cortocircuitos, luego se requiere de una grúa, puesto que la bomba se encuentra 30 metros bajo la superficie.

5.3 Mantenimiento del sistema fotovoltaico

Los sistemas solares necesitan un cuidado y mantenimiento mínimos pero indispensables cada cierto tiempo.

Existen dos tipos de mantenimiento:

5.3.1 Mantenimiento preventivo

En las operaciones de mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad (Definicion ABC, n.d.).

En este tipo de mantenimiento se debe efectuar de forma regular por el usuario o personal encargado. Se trata de limpiar los módulos solares que pueden estar cubiertos por polvo, verificar que los módulos solares no tengan sombra por alguna vegetación o agente externo, recortar si fuera necesario.

Es necesario asegurar de que estas tareas están al alcance del usuario o personal encargado y de que se realizan de forma correcta y cada cierto periodo, con esto garantizamos que el sistema trabaje al 100% de su eficiencia y alargamos la vida de los equipos.

En el Anexo 5.1, se presenta el informe que se deberá efectuar mensualmente siguiendo las siguientes recomendaciones:

1. Limpiar con agua la superficie de vidrio del módulo solar, a tempranas horas de la mañana o al finalizar la jornada (evitar jabón y detergentes).
2. Verificar que el panel está fijado a la estructura, orientado e inclinado correctamente (inclinación de 10 grados en dirección norte).
3. Verificar que no esté trizado o roto el cristal que cubre al panel.
4. Verificar que no exista corrosión de bajo el cristal o entre células.
5. Verificar que no exista sombra sobre los paneles, esto puede generarse por nuevas viviendas, árboles, antenas de televisión, etc.
6. Verificar que no exista invasión de insectos o animales en la parte de atrás del panel (nidos de pájaros, colmena de abejas, etc.).

Se debe realizar de manera visual en el caso del controlador, comprobando que los cables y conectores no contengan sedimentos que puedan perjudicar en un futuro y de manera auditiva para la bomba, suele incrementarse el ruido y vibración generado por la bomba cuando absorbe algún sedimento que no permite que trabaje de una manera correcta.

5.4 Mantenimiento correctivo

Se denomina mantenimiento correctivo, aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos (Definicion ABC, n.d.).

Este mantenimiento se lo debe realizar cuando ocurra una falla o avería en el sistema de bombeo que, por su naturaleza, puede ocurrir en cualquier momento, para este mantenimiento se pueden presentar costos por reparación y repuestos.

Cuando el sistema deja de trabajar o funciona de una manera irregular se debe realizar lo siguiente:

1. Llame al personal calificado antes de comenzar cualquier trabajo de mantenimiento.
2. Consulte el cuadro de mando del sistema y las posibles notas que haya tomado.
3. Verifique visualmente que el cableado no tenga cortes o corrosiones.
4. Verifique que ninguno de los componentes ha sido desconectado o mal utilizado.
5. Limpie cada uno de los componentes con la ayuda del usuario siempre teniendo en cuenta las normas de seguridad que debe seguir. Esto le permitirá hacerse una idea de cómo éste mantiene el sistema.

5.3.2.1 Mantenimiento del panel solar

Ejecutar los pasos del 1 al 6 que se encuentran en el mantenimiento preventivo incluyendo las siguientes recomendaciones:

1. Verificar la continuidad desde el módulo de control hasta la toma de tierra.
2. Ajustar todos los conectores y conexiones de cableado, siguiendo las normas de seguridad.

En caso de encontrar un panel defectuoso se deberá desmontar del armazón para una limpieza más profunda, los siguientes pasos solo se deberá realizar con personal debidamente calificado y bajo las normas de seguridad correctas:

1. Desconectar los contactos en la bornera del panel fotovoltaico.
2. Desatornillar el panel de la estructura con la ayuda de una llave #13.
3. Bajar el panel fotovoltaico con cuidado y ponerlo sobre una superficie plana adecuada.
4. Realizar una limpieza del cristal protector con un paño húmedo, evitando ejercer excesiva presión.
5. Verificar que el sellado entre las células y el cristal este en perfectas condiciones.
6. Con un cepillo metálico limpiar los contactos y bornes, eliminando suciedad y restos de óxidos. También limpiar los contactos del conductor que va al controlador.
7. Empernar correctamente el panel sobre la estructura.
8. Conectar los cables positivo y negativo del panel adecuadamente.

5.3.2.2 Mantenimiento del controlador de potencia

Antes de efectuar el mantenimiento del controlador se debe cumplir estrictamente con las normas de seguridad debido a que, en este tablero, llegan todos los terminales provenientes de los paneles (elevado voltaje y corriente).

1. Verificar los indicadores luminosos (Leds), generalmente dan información de la falla.
2. Limpiar el tablero del controlador con un pañuelo limpio y seco.
3. Retirar la tapa del tablero para una limpieza más fácil y correcta.
4. Verificar que no exista polvo o nidos de insectos, estos perjudican en la ventilación del controlador.
5. Verificar que ningún componente, conexión o fusible emita un calor excesivo.
6. Verificar que todas las conexiones se encuentren atornilladas correctamente, si no lo es, ayúdese de un desarmador para hacerlo.
7. En los bornes del controlador, comparar con ayuda de un multímetro el voltaje de salida con el valor que da el fabricante, ayudarse con la hoja de datos o manual del controlador.

8. Verificar que los sensores de nivel de agua que se encuentran en el tanque de almacenamiento estén conectados y que funcionen correctamente, estos al estar sumergidos en el agua tienden a dañarse, si es el caso se requiere unos nuevos (se debe reemplazar por los mismos o de características iguales).

ATENCIÓN: Sea prudente y evite generar cortocircuitos. Éstos siempre pueden ocasionar daños importantes en las tarjetas electrónicas que lleva el controlador, así que tómese su tiempo para realizar este tipo de mantenimiento.

5.3.2.3 Mantenimiento de la bomba

Las bombas sumergibles estándar sirven para impeler agua limpia y fría bajo condiciones normales de servicio y generalmente no requieren mantenimiento mientras no se produzcan irregularidades en el funcionamiento o en el bombeo a causa de arena u otros sedimentos que contenga el pozo, lo cual requeriría un desmontaje prematuro.

Las bombas sumergibles, antes de salir de la fábrica, se someten a una detenida verificación y se les adjunta las instrucciones de servicio para el montaje, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento, de acuerdo con las normas internacionales de seguridad (Papantonatos SA., 2010).

Este Manual describe los procedimientos aplicables para el mantenimiento de las bombas sumergibles estándar.

El usuario es responsable de que todos los trabajos de mantenimiento e inspección sean realizados por personal técnicamente calificado que se haya informado de modo suficiente, estudiando detenidamente el Manual de servicio.

Cada bomba trabaja bajo condiciones específicas del fabricante, en nuestro caso se deberá comprobar lo siguiente:

- Temperatura máxima del agua: 50 grados centígrados.

- Contenido de arena: < 25mg
- Potencia de funcionamiento: 4kW

El diseño constructivo de una bomba sumergible hace posible desmontar y volver a montar las piezas con medios sencillos. Sin embargo, se recomienda que estos trabajos de revisión y mantenimiento se realicen por personal especializado o se lleven a cabo en un centro autorizado.

Para la extracción de la bomba se debe realizar con la ayuda de una grúa por el peso de la misma y la distancia a la que se encuentra sumergida (30 metros), una vez extraída se puede ver si alguna pieza esta trizada o rota, de ser el caso se debe poner en contacto con el vendedor y pedir el repuesto siguiendo las siguientes recomendaciones:

1. Denominación del tipo de la bomba de acuerdo con la placa de características.
2. Número de la bomba de acuerdo a la placa de características.
3. Para pedir repuestos:
 - Número de posición de acuerdo con el esquema
 - Denominación de la pieza y número de la pieza de acuerdo con la lista de piezas
 - Cantidad de piezas que se necesitan
4. En el caso de averías:
 - Breve descripción de la avería o de sus efectos
 - Denominación de la pieza defectuosa según la lista de piezas

Mientras llega el repuesto o el personal para su revisión se debe mantener al equipo en posición vertical, en un lugar seco y bien aireado.

5.3.3 Consideraciones para un mantenimiento en tensión

Primeramente, se deberá cubrir el módulo fotovoltaico para evitar que genere corriente eléctrica. Se utilizará herramientas debidamente revestidas con material aislante

durante el trabajo con el panel y se debe usar guantes aislantes. Cuando se cumpla estas consideraciones principales se debe tener en cuenta lo siguiente:

- No tocar las borneras mientras el módulo esté expuesto a la luz.
- La sección de conductores empleados debe asegurar que la caída de tensión en la instalación no sobrepase el 2 % de la tensión nominal de la misma.

CAPITULO VI

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Dentro de este capítulo, se presentarán los resultados de las pruebas de bombeo realizadas con los equipos adquiridos por las autoridades y otros facilitados por la Universidad de Azuay. Se muestra el comportamiento de la central parcialmente instalada y se compara dicho funcionamiento con lo esperado según el análisis de las hojas de datos de los equipos adquiridos.

Se muestra, además, la radiación incidente en el sector durante un día de trabajo y el caudal que se logra obtener con dicha radiación.

6.1 Resultados de las pruebas de bombeo

La prueba de bombeo realizada en el sector se llevó a cabo el día miércoles 6 de julio de 2016 en presencia de las autoridades cantonales de Santa Isabel, como muestra la figura 6.1, lideradas por el Alcalde Lic. Rodrigo Quezada. El objetivo fue determinar la radiación existente en sector y el caudal promedio que se podrá extraer con dicha radiación.



Figura 6.1 Autoridades del Cantón Santa Isabel
Fuente: (Autoría Propia)

Para las pruebas se utilizaron los siguientes elementos:

- 1 panel fotovoltaico SunLink 250w
- 1 pirómetro
- 1 computadora con LabView 2011
- 1 tarjeta de adquisición de datos National Instruments
- 1 bomba sumergible Shurflo 9325
- Manguera, conductor de cobre y cuerdas

Parte de estos materiales se muestran en la figura 6.2



Figura 6.2 Panel solar y pirómetro utilizados en la prueba de bombeo
Fuente: (Autoría Propia)

Para llevar a cabo las pruebas de bombeo, se utilizó la bomba sumergible shurflo 9325 que se muestra en la figura 6.3. A continuación, en la tabla 6.1, se presentan los datos de la bomba antes mencionada

La salida de la bomba se conectó a una manguera plástica que permitió llenar dos contenedores de volumen para poder determinar el volumen de agua extraído.

Tabla 6.1 Hoja de datos de la bomba Shurflo 9325

DIAGRAMA DE FLUJO 24VDC					
Elevación vertical total		Tasa de flujo por hora		Panel solar (mínimo)	Corriente
pies	metros	galones	litros	Watts	Amperios
20	6,1	117	443	58	1,5
40	12,2	114	432	65	1,7
60	18,3	109	413	78	2,1
80	24,4	106	401	89	2,4
100	30,5	103	390	99	2,6
120	36,6	101	382	104	2,8

Fuente: (Shurflo, 2000)



Figura 6.3 Bomba Shurflo 9325
Fuente: (Autoría Propia)

La capacidad eléctrica instalada en el proyecto en la actualidad es de 10 paneles de 250W, por lo que se revisó primero las especificaciones técnicas de la bomba expuestas en la figura 6.4 antes de conectarla al arreglo fotovoltaico.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Número de modelo	9325-043-101
Diseño de bomba	Desplazamiento Positivo
Leva	3
Motor	Magnético permanente, P/N 11-175-00
Voltaje	24 VDC Nominal
Watts	120W
Amperios	4,0 máx.
Fusible	7,5 a
Bypass Interno	105-110 P.S.I. máx.
Altura máxima	70 m
Sumersión máxima	30 m

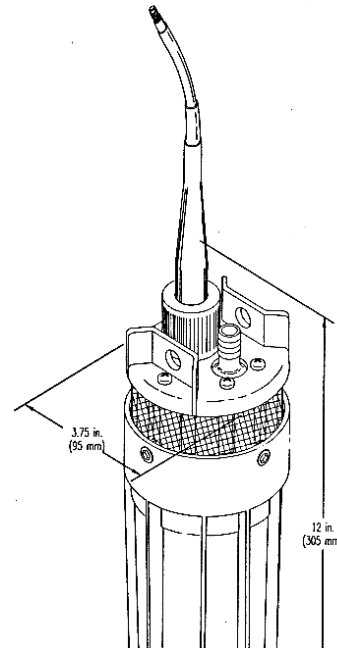


Figura 6.4 Especificaciones técnicas de la bomba Shurflo 9325
Fuente: (Techo Sun, 2016)

Tal como muestra la hoja de datos, la bomba funciona con 24 voltios y una corriente máxima de 4 amperios, por lo que se la conecto únicamente a un panel.

Se midió los valores de corriente tanto de arranque como de funcionamiento para observar que la bomba no exceda el consumo de corriente recomendado por el fabricante; estos valores fueron 2.09A para el arranque y 1,66A para el funcionamiento.

En el transcurso de la prueba, varios moradores se acercaron a observar el funcionamiento del sistema como se muestra en la figura 6.5



Figura 6.5 Moradora del sector presente en la prueba de bombeo
Fuente: (Autoría Propia)

Una vez instalada la bomba se procedió a sumergirla a una profundidad de 10 metros ayudados por una cuerda metálica amarrada a la misma y se iniciaron con las pruebas de bombeo, las cuales arrojaron los resultados expuestos en la tabla 6.2.

6.2 Proyecciones después de la prueba de bombeo

Con los valores obtenidos en la prueba de bombeo se logró realizar una proyección del proyecto a futuro, para que una vez que las autoridades encargadas adquieran los equipos necesarios, el comportamiento de los mismos sea conocido y se pueda determinar la forma en la que la central y el sistema de bombeo funcionaran. Los resultados de estos cálculos se presentan en la tabla 6.3.

Los valores horarios tomados fueron los mismos en los que se llevó a cabo la prueba, los valores de radiación fueron los medidos el mismo día de la prueba y el modelo de bomba a ser utilizado para la proyección fue Lorentz PS4000 C-SJ5-25 ya que este modelo es el que se ha sugerido a las autoridades.

Tabla 6.2 Resultados de las pruebas de bombeo

PRUEBAS DE BOMBEO (BOMBA DE 150W 10M DE PROFUNDIDAD)				
Hora	Litros	Tiempo	Radiación (KW/h)	Caudal (l/s)
2:20	1	7,030	0,845	0,142
2:30	1	7,090	0,832	0,141
2:40	1	7,150	0,865	0,140
2:50	1	6,590	0,957	0,152
3:00	1	6,140	0,917	0,163
3:10	1	6,420	0,957	0,156
3:20	1	7,550	0,739	0,132
3:30	1	6,970	0,838	0,143
3:40	1	7,070	0,832	0,141
3:50	1	15,750	0,422	0,063
4:00	1	28,430	0,003	0,035
4:10	1	31,250	0,001	0,032
4:20	1	21,310	0,211	0,047
Promedio			0,648	0,114

Las pruebas realizadas fueron con una bomba de potencia 150W, la bomba a ser instalada es de 3500W, siendo esta 23,33 veces mayor.

Para realizar la proyección se ha utilizado la siguiente relación

$$Q_{\text{proyeccion}} = \frac{P_{\text{proyeccion}} * Q_{\text{pruebas}}}{P_{\text{pruebas}}} \text{ (ec. 6.1)}$$

Donde:

$Q_{\text{proyección}}$ = caudal calculado en la proyección en litros sobre segundos (l/s)

$P_{\text{proyección}}$ = potencia de la bomba a proyectar en watt (w)

Q_{pruebas} = caudal obtenido en las pruebas en litros sobre segundos (l/s)

P_{pruebas} = potencia de la bomba usada en las pruebas watt (w)

Luego de realizar este cálculo, se procedió a proyectar el volumen a la altura de 100m que representa la CDT que deberá bombear el sistema de bombeo, para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{proyeccion(h)}} = \frac{h_{\text{pruebas}} * Q_{\text{pruebas}}}{h_{\text{proyeccion}}} \text{ (ec. 6.2)}$$

Tabla 6.3 Resultados de la proyección de bombeo

PROYECCIÓN DE BOMBEO			
Hora	Caudal (l/s) bomba 150w 10m de profundidad	Caudal (l/s) bomba 3500w 10m de profundidad	Caudal (l/s) bomba 3500w 100m de profundidad
2:20	0,142	3,313	0,331
2:30	0,141	3,290	0,329
2:40	0,140	3,267	0,327
2:50	0,152	3,547	0,355
3:00	0,163	3,803	0,380
3:10	0,156	3,640	0,364
3:20	0,132	3,080	0,308
3:30	0,143	3,337	0,334
3:40	0,141	3,290	0,329
3:50	0,063	1,470	0,147
4:00	0,035	0,817	0,082
4:10	0,032	0,747	0,075
4:20	0,047	1,097	0,110
Promedio	0,114	2,669	0,267

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Una vez terminado el proyecto se puede concluir lo siguiente:

- El sistema de bombeo planteado resulta ser un método alternativo y eficiente para poder bombear agua subterránea en el sector de Cataviña. La radiación solar presente en el sector permite instalar este tipo de equipos, pues su valor promedio se mantiene casi constante durante todos los meses del año, lo que permite calcular y simular de una manera eficiente, el comportamiento que se espera tanto de la etapa de generación fotovoltaica así como de la etapa de bombeo.
- Las dificultades de encontrar los equipos requeridos en el mercado nacional, hacen que la instalación de proyectos de bombeo fotovoltaico, aun sean de difícil ejecución por el alto costo y la escases de este tipo de equipos.
- El proyecto consta de dos etapas:

La primera fue la etapa de generación fotovoltaica, la cual está constituida por los paneles y los diodos de protección de los mismos. Al ser instalados los paneles se pudo observar que los valores de corriente y voltaje expresados por el fabricante en su hoja de datos, son muy cercanos a los que el panel entrega en funcionamiento, esto permitió que a lo largo del desarrollo de este trabajo, los valores calculados se aproximen mucho a los valores obtenidos en la puesta en marcha. Lamentablemente dentro del desarrollo de este proyecto, dos paneles fotovoltaicos se rompieron al momento de ser trasladados por lo que no se pudieron realizar las pruebas con toda la potencia fotovoltaica esperada.

En la segunda etapa de este proyecto, constituida por la bomba y su controlador, no se pudo dejar instalando la bomba y controlador solicitados pues las autoridades encargadas de la adquisición de estos equipos no realizaron la compra de los mismos por lo que se utilizaron equipos alternos de menor potencia que permitieron observar el funcionamiento de una bomba de corriente continua conectada a los paneles solares previamente instalados. Los resultados obtenidos después de realizar las pruebas con estos equipos alternos,

fueron muy alentadores pues se logró obtener un caudal de agua importante, además, los moradores del sector presentes durante las pruebas de bombeo salieron muy conformes con los resultados obtenidos, ya que la bomba fue capaz de extraer agua del pozo sin ningún problema.

- Las limitaciones de este proyecto radican en la incapacidad de determinar de manera exacta la radiación que estará presente en el sector durante todos los días, por este motivo se sobredimensionó el cálculo de volumen de agua diaria para que en el caso de que durante algún día donde el recurso solar sea limitado, la sobre extracción de agua que se genere durante periodos de alta radiación solar, permita cubrir el déficit en estos periodos de poca radiación.
- Otra dificultad que se podría generar es la falta de repuestos para la maquinaria que será instalada, por este motivo se diseñó un plan de mantenimiento que deberá ser ejecutado y cumplido por los encargados de administrar el proyecto.
- La inversión económica necesaria para desarrollar este proyecto actualmente es elevada por la necesidad de importar todos los equipos, pues no existe el desarrollo del mismo a nivel de la región, por lo que los costos de importación actualmente resultan elevados.

Recomendaciones:

Las recomendaciones que podemos dar luego de finalizado el proyecto son las siguientes:

- Incentivar el uso de energías renovables para proyectos de bombeo de este tipo, pues pero en sectores como este, donde la instalación de red cableada resulta costosa, este tipo de tecnología resulta una alternativa viable desde el punto de vista tecnológico y ambiental, pues los equipos utilizan energía solar la cual no genera un impacto ambiental dañino sobre los moradores del sector ni sobre el medio ambiente.
- Seguir abasteciendo de agua potable a comunidades que carecen de este servicio, pues según testimonios de los moradores de Cataviña, la falta de este servicio afecta mucho su calidad de vida.
- Abastecer el mercado local con equipos capaces de generar energía de fuentes renovables, así mismo, de actuadores que puedan aprovechar este tipo de energía pues permiten lograr buenos resultados sin mayores afecciones ambientales.

BIBLIOGRAFIA

- Adblue. (01 de 01 de 2014). Ferreteria Agricola. Obtenido de <http://www.ferreteriagricola.es/>
- Agencia Andaluza de la Energia. (2012). Consejeria de empleo, empresa y comercio. Recuperado el 23 de 12 de 2015, de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/>
- Alejandro Ponsot, C. S. (s.f.). Emaza web site. Obtenido de <https://www.emaze.com>
- Almeida, L. (9 de marzo de 2016). Energia Inteligente. Obtenido de <https://energiainteligenteufjf.com>
- Anonimo. (15 de 08 de 2011). Industrial-automatica. Recuperado el 17 de 12 de 2015, de <http://industrial-automatica.blogspot.com/2011/08/bombas-hidraulicas-2-bombas-de.html>
- Anonimo. (s.f.). Termodinamica y Mecanica de Fluidos. Universidad de Cantabria, Santander.
- ARCONEL. (01 de 07 de 2015). Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. Recuperado el 15 de 11 de 2015, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Arietes Alba. (01 de 12 de 2015). Arietes Alba, Fabricacion e instalacion de arietes hidraulicos. Obtenido de <http://www.arietesalba.es/>
- Arocha, S. (1979). Abastecimientos de agua: Teoria y deseno. Venezuela.
- Atersa. (2011). Bombeo directo de agua mediante energia solar SMP. Valencia.
- Barrero, W., Rivera, F., & Rodriguez, A. (2011). Diseno de un suministro energetico proveniente de paneles solares a los edificios de la FIA-UE. El salvador.
- Blanco, I. (s.f.). Instalacion solar fotovoltaica conectada a red sobre la azotea de una nave industrial. (D. d. Electrica, Ed.) Madrid, Espana.
- Bombas de engranajes. (22 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.olagorta.com/>
- Briones, M. (14 de 10 de 2014). Blogspot. Obtenido de http://manuelbrionesfernandezdelara110.blogspot.com/2014_10_01_archive.html
- Chavarria Roe, J. (2010). Diseno e Implementacion de un Inversor Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red. Universidad Politecnica de Catalunya, Espana.
- Chuquin Vasco, N. (2011). Diseno, construccion y preubas de un sistema publicitario alimentado con energia solar, y controlado con un rele inteligente (zelio). Riobamba.
- CONELEC. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generacion electrica. Quito, Ecuador.

- Definicion ABC. (s.f.). Tecnologia. Recuperado el 25 de 06 de 2016, de <http://www.definicionabc.com/tecnologia/mantenimiento-preventivo.php>
- Definicion ABC. (s.f.). Tecnologia. Recuperado el 25 de 06 de 2016, de <http://www.definicionabc.com/tecnologia/mantenimiento-correctivo.php>
- Diez, P. f. (s.f.). Bombas centrifugas y volumetricas. s.f. Universidad de Cantabria, Santander.
- Disai. (2015). Sistema fotovoltaico para bombeo de agua mediante convertidores de frecuencia CFW500. Valencia.
- Dominguez, A. (2011). Proyecto de sistema de bombeo fotovoltaico a deposito, para consumo humano y abrevadero, en Gurmudele, Etiopia. Andalucia.
- Domínguez, F. M. (2001). Reparacion y bobinado de motores eléctricos. México: Paraninfo.
- Drotec. (s.f.). Drotec web page. Obtenido de <http://www.drotec.com.ar>
- Earthdata - Nasa. (s.f.). Atmospheric Science data Center. Recuperado el 11 de 06 de 2016, de <https://earthdata.nasa.gov/about/daacs/daac-asdc>
- EasyPump. (01 de 01 de 2015). B-BRAUN. Obtenido de Sharing Expertise: <https://www.bbraun.com/>
- Egusquiza. (1986). Curso sobre diseño de bombas e instalaciones de bombeo. Gijón.
- Einstein, H. d. (1905). Efecto Fotoelectrico. Cordova.
- Eliezer, B. (1986). Una faceta desconocida de Einstein (Primera ed.).
- Eliseo, S. (2011). Union de Celdas en Serie y Paralelo. Lima. Obtenido de <http://www.eliseosebastian.com/>
- Emaze. (01 de 06 de 2015). Emaze Amazing Presentations. Obtenido de <https://www.emaze.com/>
- Energizar. (s.f.). Energizar web page. Obtenido de <http://www.energizar.org.ar>
- Espanol, W. d. (s.f.). Bomba Diagonal. Recuperado el 01 de 12 de 2015, de <http://www.wikilengua.org/>
- Franklin. (01 de 01 de 2013). Franklin Electric. Obtenido de <http://solar.franklin-electric.com/>
- Fuelingequipments. (2015). Fuelingequipments. Obtenido de <http://www.fuelingequipments.es/>
- Fundacion Energizar. (2016). Energizar. Energizar. Obtenido de <http://www.energizar.org.ar/>
- Gasquet, H. (2004). Conversion de la Luz solar en energia electrica Manual teorico y practico sobre los sistemas fotovoltaicos. Mexico: Solartronic.

- Google. (s.f.). Google Maps. Recuperado el 09 de 06 de 2016, de <https://www.google.com.ec/maps/place/Santa+Isabel/@-3.2612091,-79.2804552,16z/data=!4m5!3m4!1s0x91cccc7364ed7fc7:0x9923e0bf11e11ea!8m2!3d-3.2758197!4d-79.3143775>
- Green, M., Emery, K., Hishikawa, Y., & Warta, W. (2008). Solar Cell Efficiency Tables (Version 32) (Vol. 16). John Wiley & Sons.
- Harper, E. (2004). Fundamentos de Control de Motores Eléctricos en la Industria. México, D.F.: Limusa.
- Harper, Enríquez. (1987). El ABC de las máquinas eléctricas II. Motores de corriente alterna (Vol. 2). México: Limusa.
- Harper, Enríquez. (2004). El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos. Mexico, D.F.: Limusa.
- Harper, G. E. (2001). Control de motores eléctricos. Mexico, D.F.: Limusa.
- Hydra. (01 de 01 de 2010). Hydra Aquapak. Obtenido de <http://hydrash.com/>
- Ingemecánica. (20 de junio de 2016). Tutorial N° 192 - Instalación Solar Fotovoltaica para vivienda. Obtenido de <http://ingemecanica.com/>
- Ingenieria sin Fronteras. (1999). Energia solar Fotovoltaica y cooperacion al desarrollo. Madrid: IEPALA.
- INTI. (s.f.). Sitio de trabajo de la red de trabajadores del MERCOSUR. Obtenido de <http://redcomsur.org>
- Isan, A. (13 de marzo de 2016). Energias Renovadas: El motor del nuevo mundo. Obtenido de <http://energiasrenovadas.com>
- Jaen. (2004). Universidad de Jaen. Obtenido de <https://www.ujaen.es/>
- Karassik, I., & Carter, R. (1966). Bombas centrifugas. Mexico: C.E.C.S.A.
- Laboratories, S. N. (s.f.). Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia Fotovoltaica. Nuevo Mexico. Obtenido de <http://www.sandia.gov/>
- Larriva, J. (2015). Sistemas indirectos de abastecimiento de agua potable. Hidrosanitaria II. Cuenca, Ecuador.
- Latincasa. (s.f.). Latincasa: web site. n.d. Recuperado el 23 de 06 de 2016, de <http://www.latincasa.com.mx/ES/Paginas/Latincasa.aspx>
- Lojano Chacha, D. (2013). Analisis tecnico-economico para la generacion de energia solar fotovoltaica en el Ecuador y su conexion a la red publica, basados en el articulo 63 de la regulacion No. CONELEC 004/11. Cuenca, Ecuador.
- LORENTZ. (29 de 11 de 2015). LORENTZ Bernt, Solar Parks, Solar Tracking Systems. Obtenido de <http://www.lorentz.de/>

- Lorentz. (01 de 01 de 2016). LORENTZ pumpMANAGER. Obtenido de <https://www.lorentz.de/>
- Lp. (5 de 6 de 2016). Promueve Energia Solar web page. Obtenido de <http://www.promueve.org>
- Martinez, C. (2 de noviembre de 2010). ENTER.CO S.A.S. web page. Obtenido de <http://www.enter.co>
- Maupoux, M. (2010). Bombeo de agua mediante energia solar fotovoltaica. Reino Unido.
- McNaughton, K. (1989). Bombas; seleccion, uso y mantenimiento. Mexico: McGraw-Hill.
- Miranda, J. (2005). Equipo de Procesos. Obtenido de <http://www.equipodeproceso3d.com/>
- Montoya Rasero, C. (2010). Energia Solar Fotovoltaica. Escuela de Organización Industrial.
- Nielsen, K. H. (s.f.). Manual de Ingenieria Sp. (Grundfos) Recuperado el 05 de 12 de 2015, de <http://www.grundfos.es/>
- Pacco, K. (2010). Energias Renovables. Tacna, Peru.
- Papantonatos SA. (2010). Instrucciones de Operacion Bombas Sumergibles de Pozo. Greece.
- Pepactma. (17 de mayo de 2013). Recursos energéticos y minerales. Obtenido de Pepactma web page: <http://pepactma.wikispaces.com/>
- Pereja Aparicio, M. (2010). Energia Solar Fotovoltaica: Calculo de una instalacion aislada . Madrid: Marcombo.
- Polo, C., & Torres, H. (2008). Simposio Peruano de Energia Solar. Cajamarca.
- PVsyst. (01 de 01 de 2012). PVsyst Software. Obtenido de <http://www.pvsyst.com>
- Ramírez, K. P. (20 de junio de 2016). La energía solar fotovoltaica y sus aplicaciones. Obtenido de <http://www.monografias.com>
- Roldán, J. (1998). Motores Eléctricos: automatismos de control (Novena ed.). Madrid: Paraninfo.
- Sandia National Laboratories. (2001). Guia para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energia fotovoltaica. Nuevo Mexico: Albuquerque.
- Santa Isabel. (s.f.). Ilustre Municipalidad de Santa Isabel. Recuperado el 11 de 06 de 2016, de <http://www.santaisabel.gob.ec/demograficos.php>
- Scheer, H. (07 de 10 de 2014). CalculationSolar. Recuperado el 15 de 03 de 2016, de <http://calculationsolar.com/>

- SENAGUA. (2010). Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias. Sistemas de abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área rural. Quito. Obtenido de http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- Shangai Haoyang Pump. (2010). HYPV. Recuperado el 05 de 01 de 2016, de <http://www.shhypump.com/>
- Shurflo. (18 de agosto de 2000). alteStore. Obtenido de <https://www.altestore.com>
- Siemens. (01 de 05 de 2015). Siemens Catalogo. Obtenido de <https://www.industry.siemens.com/>
- Stackhouse, P. W. (2016). Eosweb - Nasa. (NASA) Recuperado el 25 de 06 de 2016, de <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01#s01>
- Streeter, V. (2000). Mecánica de Fluidos. Colombia: Mc Graw Hill.
- Suelosolar. (s.f.). Suelosolar web page. Obtenido de <http://www.suelosolar.com>
- SunLink. (26 de marzo de 2009). RenovaEnergía web page. Obtenido de <http://www.renova-energia.com/>
- Techo Sun. (01 de 01 de 2016). Techno Sun. Obtenido de <http://www.technosun.com/>
- Totolhua, C. (16 de 10 de 2014). Blogspot. Obtenido de <http://blogspot.es/>
- TWG. (2008). Accionamiento para bombas hidráulicas. USA: Gear Products. Obtenido de <http://www.team-twg.com/>
- Universidad de Cantabria. (s.f.). Sistemas energéticos: Bombas. Santander: n.d.
- Universidad de Jaén. (20 de junio de 2016). Universidad de Jaén web page. Obtenido de <https://www.ujaen.es>
- Universidad de Valparaíso. (s.f.). Hidráulica de los sistemas de agua potable. Chile. Obtenido de http://hidraulica.weebly.com/uploads/5/3/3/9/5339473/hidraulica_de_los_sistemas_de_ap_-_parte_i.pdf
- Velasco, G., & Cabrera, E. (s.f.). Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura. Quito.
- Venergía. (8 de octubre de 2013). Venergía web page. Obtenido de <http://venergia.cl>
- Veoverde. (01 de 01 de 2011). Veo Verde. Obtenido de <https://www.veoverde.com/>
- Verderflex. (s.f.). Bombas peristálticas industriales. (Castleford) Recuperado el 01 de 12 de 2015, de <http://www.verdeeflex.com/>
- Vinas, L. P. (2007). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Barcelona.
- Wegener, T. (2013). Aprovechamiento de la Energía Geotérmica.

ANEXOS

Anexo 2.1: Encuesta general



- 1 ¿Ha escuchado sobre el uso de energía solar para crear sistemas de bombeo de agua?

Si ()

No ()
- 2 ¿Considera usted que el uso de energías renovables para desarrollar sistemas de bombeo de agua es beneficioso?

Si ()

No ()
- 3 ¿Cuántos años vive en la comunidad de Cataviña?

0-5 años ()

5-10 años ()

10-15 años ()

más de 15 años, ()
- 4 ¿De dónde obtiene el agua?

Tanquero ()

Proveedor privado ()

Vertiente propia ()

Otro ()
- 5 ¿El agua que usted consume es potable?

Si ()

No ()
- 6 ¿Cuál es el uso prioritario que usted da al agua?

Riego, ()

Consumo humano ()

consumo animal ()

Otros
- 7 ¿A qué distancia se encuentra la fuente de agua que usted utiliza?

0-50 m ()

50-100m ()

100-150 m ()

más de 150 m ()
- 8 ¿Cuánto tiempo se demora en llegar a la fuente de agua que usted utiliza?

0-5 minutos ()

5-10 minutos ()

10-15 minutos ()

más de 15 minutos ()

Anexo 2.2: Encuesta para determinar el volumen de agua necesaria



Encuesta para el proyecto de titulación “Diseño e Implementación de una Central de Energía fotovoltaica para el bombeo de agua subterránea en el sector de Cataviña (Santa Isabel).”

Por favor, sírvase en responder la siguiente encuesta relacionada al proyecto. Se deberá marcar solo una opción en cada pregunta

1. ¿La vivienda es de tipo?

Residencial ()

Vacacional ()

(Si su respuesta es residencial solo contestar la pregunta 2, caso contrario contestar desde la pregunta 3 en adelante)

2. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda?

3. ¿Con que frecuencia va usted a su vivienda vacacional?

Dos o tres días por semana ()

Dos o tres días por quincena ()

Dos o tres días por mes ()

4. ¿Cuántas personas lo acompañan los días en que usted va a su vivienda?

Anexo 5.1: Modelo de informe para el mantenimiento de la central fotovoltaica

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR "CATAVINA"				
Encargado: ----- Fecha: -----				
Marcar con una "X" el mantenimiento efectuado MODULOS SOLARES: <table border="1" style="margin: 20px auto; width: 60%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px; text-align: center;">Limpieza de la superficie del módulo</td> <td style="width: 100px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px; text-align: center;">Eliminación de sombras (vegetación maligna)</td> <td></td> </tr> </table> Observaciones: _____ _____ ----- Firma del Responsable	Limpieza de la superficie del módulo		Eliminación de sombras (vegetación maligna)	
Limpieza de la superficie del módulo				
Eliminación de sombras (vegetación maligna)				