**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA**
**UNAN-Managua**

**FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA**
**FAREM-Estelí**

**TEMA**

# Evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema hibrido de bombeo de agua, implementado en la comunidad el Limón, Estelí- Nicaragua, durante el año 2016.

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Autores:**

- Br. Harenia del Carmen Maldonado Úbeda
- Br. Maykol Bismark Jarquín Lezcano

**Tutor:** M. Sc. Luis Lorenzo Fuentes Peralta

**Asesor:** M. Sc. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Enero 2017

Estelí, 30 de enero 2017

# VALORACIÓN DOCENTE

A través de la presente hago contar que **HARENIA DEL CARMEN MALDONADO UBEDA** y **MAYKOL BISMARK JARQUÍN LEZCANO**, ambos estudiantes de la carrera de Ingeniería en Energías Renovables, en la Facultad Regional Multidisciplinaria **FAREM Estelí,** han finalizado su trabajo investigativo con el nombre de: **Evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema hibrido de bombeo de agua, implementado en la comunidad El Limón, Estelí- Nicaragua, durante el año 2016.**

Después de revisar la coherencia del contenido y la incorporación de las observaciones del jurado y demás correcciones, se valora que este trabajo investigativo cumple con los requisitos establecidos en su modalidad de graduación y doy por aprobada la redacción final del documento, y de esta forma su entrega a la universidad.

Atentamente,

_____

**M.Sc. Luis Lorenzo Fuentes Peralta**
**Tutor de Tesis**

# DEDICATORIA

Dedico este nuevo éxito en primer lugar a **Dios** Nuestro padre, por la sabiduría brindada en todo momento y por la salud con la que hoy cuento, a mis padres **Harold y Sonia**, a mi hermana **Génesis,** por estar conmigo en todo momento y por darme ánimos cuando más lo necesito y a mis abuelitos **María Belicia** por su amor y apoyo, y **Rafael**(*QEPD*).

***Con amor, Harenia.***

Dedico este nuevo objetivo alcanzado primero a **Dios** nuestro ayudador en todo momento, por la sabiduría, fortalezas y muchas cosas que no se pueden explicar, en segundo lugar, a mi mamá **María Guillen Jarquín,** porque siempre estuviste ahí en los momentos más difíciles, gracias por tu apoyo.

***Con amor, Maykol.***

# AGRADECIMIENTOS

A nuestro **Dios todo poderoso**, por la sabiduría, paciencia, fortaleza, carácter y amor que nos ha brindado siempre, y a nuestros **padres** por su compresión y ayuda.

Agradecemos a nuestro **tutor de tesis M.Sc. Luis Lorenzo Fuentes Peralta,** por todo su apoyo, paciencia y ayuda a superar los obstáculos presentados a lo largo de la investigación.

A nuestro **asesor M.Sc. Edwin Antonio Reyes**, por sus sabios consejos que siempre nos ayudaron y por una muy buena orientación en la realización de este trabajo.

Al **M.Sc. Juan Alberto Betanco,** por siempre estar dispuesto a ayudarnos y darnos oportunidades para seguir adelante y quien a contribuido de manera de incondicional en nuestra formación.

A **Don Aristeo Camas,** habitante de la comunidad El Limón, y miembro del CAPS, ya que nos brindó la información necesaria para la realización de nuestra investigación.

Al pasante **Jaime Cerrolaza** por su ayuda a lo largo de la investigación y al **Br. Octavio José Sanabria Vindell**, por su valiosa colaboración.

A la Facultad Regional Multidisciplinaria **FAREM- Estelí** y a todos los **maestros** que formaron parte de nuestra formación como profesionales y que además siempre estuvieron dispuestos a colaborar con nosotros.

# INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN ..... 1

1.1 Antecedentes ..... 2

1.2 Descripción del Problema ..... 4

1.3. Preguntas problemas ..... 5

1.3.1. Pregunta general ..... 5

1.3.2. Preguntas específicas ..... 5

1.4. Justificación ..... 5

CAPITULO II. OBJETIVOS ..... 7

2.1. Objetivo general ..... 7

2.2. Objetivos específicos ..... 7

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO ..... 8

3.1. Energía solar ..... 8

3.2. Radiación solar ..... 8

3.2.1. Tipos de radiación solar ..... 9

3.2.2. Ángulos de la radiación solar ..... 9

3.3. Energía solar fotovoltaica ..... 10

3.4. Absorción de la luz y efecto fotovoltaico ..... 10

3.5. Formas de aprovechamiento de la Energía solar fotovoltaica (E.S. Fv) ..... 10

3.5.1. Sistemas fotovoltaicos independientes ..... 11

3.5.2. Sistema mixto de generación de energía ..... 12

3.5.3. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica (sistema de bombeo solar fotovoltaico) ..... 12

3.6.1. Componentes de un sistema de bombeo solar fotovoltaico ..... 14

3.6.1.1.1.1. Configuración de los Paneles Solares ..... 16

3.6.1.1.1.2. Orientación y ángulos de los paneles solares ..... 18

3.6.1.1.1.3. Orientación de las superficies inclinadas ..... 19

3.6.2. Los motores eléctricos ..... 19

3.6.3. Variadores de frecuencia ..... 20

3.6.4. El sistema de acumulación: ..... 20

3.6.5. La fuente de agua: ..... 20

3.6.6. Controlador: ..... 20

3.6.7. La bomba: ..... 21

3.8. Sistemas Híbridos ..... 22

3.9. Variables que intervienen en el funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico ..... 22

3.10. Factores que afectan el rendimiento de los paneles solares ..... 22

3.11. Dimensionado del sistema de bombeo solar ..... 23

3.12. Nivel estático del agua ..... 25

3.13. Nivel dinámico del agua ..... 26

CAPITULO IV. HIPÓTESIS ..... 28

4.1. Cuadro de operacionalización de variables ..... 28

CAPITULO V. METODOLOGÍA ..... 29

5.1. Ubicación del área de estudio ..... 29

5.2. Tipo de estudio ..... 29

5.3. Universo ..... 30

5.4. Tipo de muestreo ..... 30

5.5. Muestra ..... 30

5.6. Técnicas de recolección de datos ..... 30

5.7. Etapas de la investigación ..... 31

Etapa 1. Investigación documental ..... 31

Etapa 2. Diseño de instrumentos ..... 31

Etapa 3. Trabajo de campo ..... 32

CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSION ..... 36

OE1. Evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico que permita la caracterización técnica del mismo. ..... 36

OE2. Determinar el comportamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico y la comparación de los resultados con la opción conectado a red. ..... 42

OE3. Valorar la percepción de los usuarios con respecto al impacto del sistema y la aplicación de tecnologías alternativas. ..... 45

CAPITULO VII. CONCLUSIONES ..... 55

CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES ..... 56

BIBLIOGRAFIA ..... 57

ANEXOS ..... 59

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico. 13
Figura 2. Celda solar silicio Mono-cristalino. 14
Figura 3. Celda Solar Poli cristalino. 15
Figura 4.Celda solar Amorfo. 15
Figura 5. Conexión en serie. 16
Figura 6. Conexión en paralelo. 17
Figura 7. Conexión serie-paralelo. 18
Figura 8. Orientación e inclinación del panel solar. 18
Figura 9. Esquema de representación gráfica del Nivel Estático y Dinámico de agua. 26
Figura 10. Mapa de la comunidad El Limón y la ubicación de la pila, pozo y panel Fv. 29
Figura 11. Esquema de la conexión del sistema de bombeo de agua de la comunidad. 36
Figura 12. Placa caracteristica de los paneles solares instalados. 64
Figura 13. Lugar donde está ubicado el arreglo de paneles solares. 65
Figura 14. Esquema de la bomba 66
Figura 15. Controlador 66
Figura 16. Conexión alternativa del sistema. 67
Figura 17. Conmutador. 68
Figura 18. Medición de la radiación solar 71
Figura 19. Medición de la radiación solar. 71
Figura 20. Pilotaje de la encuesta 71
Figura 21. Encuesta oficial. 72

# INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables. ..... 28

Tabla 2. Consumos promedios. ..... 42

Tabla 3. Nivel académico de los encuestados. ..... 46

Tabla 4. Grado de satisfacción con relación al servicio de agua potable de la comunidad..... 47

Tabla 5. Valoración del mantenimiento de agua potable de la comunidad. ..... 48

Tabla 6. Tiempo de vivir en la comunidad y la importancia del SVSF ..... 51

Tabla 8. Valoración del mantenimiento del sistema, y el grado de satisfacción del mismo. (Tabulación cuadrada) ..... 52

Tabla 9. Tabulación cruzada, importancia del SVSF y sabe leer y escribir. ..... 54

# INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Historial de consumo de agua en $m^3$ del año 2016..... 37

Grafico 2. Relación del caudal con respecto a la radiación solar..... 38

Grafico 3. Relación potencia con respecto a la radiación solar..... 39

Grafico 5. Historial de consumo de energía..... 43

Grafico 6. Edad de los encuestados..... 45

Grafico 7. Nivel académico de los encuestados..... 46

Grafico 8. Grado de satisfacción en cuanto al servicio de distribución de agua potable comunitario. ..... 47

Grafico 9. Valoración del mantenimiento de agua potable en la comunidad..... 48

Grafico 10. Respuestas positivas..... 49

# RESUMEN

Gracias a la implementación de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico, en este caso conectado a la red de distribución de energía (hibrido), ha sido posible acceder al agua especialmente en las comunidades rurales como lo es la comunidad El Limón del Municipio de Estelí, Nicaragua, en donde se evaluaron los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo implementado.

La presente investigación tiene por objetivo general, evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema hibrido de bombeo de agua, implementado en la comunidad El Limón, Estelí Nicaragua, específicamente se compararon los resultados obtenidos por medio de la evaluación de energía solar fotovoltaica con la opción conectado a red y se valoró la percepción de los usuarios con respecto al sistema.

Un aspecto que constituye un problema en la comunidad según refería el encargado, es que el sistema no cubría la demanda actual de agua por lo cual se hizo necesario la evaluación paramétrica y así se conoció el funcionamiento óptimo del mismo.

Es una investigación cuantitativa y cualitativa (Mixta) y según su profundidad es descriptivo y correlacional. Para la aplicación de las encuestas se consideró una muestra de 28 personas, siendo este un muestreo teórico.

La evaluación de los parámetros permitió a los investigadores conocer más a fondo el funcionamiento de este sistema y se pudo concluir que el sistema hibrido si cubre la demanda de agua de la comunidad, pero haciendo uso de la opción conectado a red más que la energía solar fotovoltaica. Además, por medio de la encuesta se conoció la buena aceptación del sistema hibrido.


Palabras claves:  Radiación solar, caudal, potencia.

# CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es y será por siempre el elemento principal para la supervivencia humana y la coexistencia de todos los ecosistemas que nos suministran alimentos y otros bienes y servicios esenciales en nuestro planeta, es junto al aire, uno de los elementos más indispensables para la existencia de la vida. Según la Organización Mundial de la Salud [1] (OMS, 2016), "se estima que los ecosistemas de agua dulce en el mundo, son aproximadamente un 2,5% de toda el agua de la Tierra, y una buena parte de ella está fuera de nuestro alcance". Los sistemas de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica han venido a solucionar este problema en las comunidades rurales, donde no existía el abastecimiento de la misma.

Un sistema de bombeo de agua por medio de la energía solar fotovoltaica, es una de las principales aplicaciones de esta tecnología, debido a la disminución gradual de los costos de los módulos solares, estableciéndose así una alternativa viable para solucionar problemas como lo es la falta de acceso al agua.

La comunidad El Limón del municipio de Estelí, cuenta con uno de estos sistemas, con la particularidad que la bomba también utiliza la energía de la red, en este caso la distribuidora de energía DISNORTE[2], debido a que las características del motor de la bomba permite utilizar corriente continua o corriente alterna, es decir, la comunidad El Limón cuenta con el servicio de agua potable durante las horas sol por medio de los módulos solares fotovoltaicos y por la noche o días con baja radiación, con energía de la red de distribución, por lo que la dotación a la comunidad es de 24 horas. Por lo tanto, se le denomina sistema hibrido.

La investigación tiene la finalidad de evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema implementado en la comunidad, en donde existen 56 hogares para un total de 185

[1] La OMS, Organización Mundial de la Salud que es un organismo especializado de las Naciones Unidas fundado en 1948 cuyo objetivo es alcanzar, para todos los pueblos, el mayor grado de salud.

[2] Empresa distribuidora de energía en Nicaragua.

personas beneficiadas con el sistema, de estos 141 son adultos y 44 son niños, según el último censo realizado.

La evaluación de parámetros de funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico consiste en la evaluación del recurso de radiación solar disponible y el recurso hidráulico del sistema que contempla, la profundidad de bombeo / distancia de bombeo y el caudal de bombeo según (Vicente González, 2009).

## 1.1 Antecedentes

La obtención de agua del subsuelo ha sido la base de la supervivencia a lo largo de la historia de muchas sociedades instaladas en climas áridos y semiáridos, alejados de ríos o lagos. Con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para el bombeo de agua es posible hacerlo con una fuente de energía autónoma y renovable.

La extracción del agua subterránea requiere de una cantidad importante de energía, hasta la revolución industrial, para el uso de volúmenes grandes de agua subterránea, se emplearon sistemas mecánicos de impulso que empleaban fuentes de energías naturales (fuerza motriz de origen animal, molinos de viento etc.), pero actualmente se está implementando generalmente en comunidades y lugares donde la energía está lejos de llegar a su entorno el uso de la energía solar fotovoltaica, la mayoría de casos, estas comunidades cuentan con el apoyo de ONGS[3] para poder adquirir un sistema de bombeo de agua, debido a los costos de la implementación de un sistema que va desde su estudio pre factibilidad hasta su puesta en marcha y la fase de operación del mismo.

En países como España se han realizado diferentes tesis de maestría en ciencia sobre el bombeo solar fotovoltaico, una de ellas es: Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaico (Cervantes Herrejon , 2009)

En Nicaragua aun siendo un país con un gran manto acuífero hoy en día se siguen teniendo en muchas ciudades y pueblos, problemas con respecto a la accesibilidad del agua,

[3] Organización No Gubernamental (ONG), es cualquier grupo no lucrativo de ciudadanos voluntarios, que están organizados, para realizar funciones humanitarias etc.

pero a pesar de eso, ya existen algunas experiencias sobre la implementación en sistemas de bombeo de agua por medio de la energía solar en comunidades rurales similares al implementado en la comunidad El Limón de Estelí, sitio en donde se enfoca el estudio. Un ejemplo de esto es en el año 2011, en la comunidad Picacho de Santa Rosa del Peñón del municipio de León, se implementó la instalación de un sistema de bombeo fotovoltaico que beneficio a 85 familias; fondos que fueron aportados por el Fondo de inversión social FISE[4], y por la alcaldía de este lugar según (TECNOSOL, 2011)

También ya se han realizado tesis de grado enfocadas a este tema en otras comunidades como lo es: Evaluación de un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para las comunidades del sector de Sontule, ubicada en el área de Miraflor, en Estelí Nicaragua.

Es importante mencionar que el sistema ya ha sido evaluado previamente, dicha investigación fue ejecutada para el Centro de Investigación de Energías Renovables [5](CIER) de la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí, FAREM Estelí, por el Profesor Luis Lorenzo Fuentes y el Profesor Rubén Dormus, esta investigación fue realizada en el marco del proyecto "Elementos críticos para el intercambio de conocimientos entre la Comunidad "El Limón" y la Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco, orientados al manejo eficiente de los recursos naturales como medida de adaptación ante el Cambio Climático".

Uno de los aportes importantes realizados durante esta investigación fue que se logró hacer un punto de acceso para poder realizar las mediciones del nivel freático de la fuente de agua (Nivel estático y Nivel dinámico). Por lo que a partir de esto se logró evaluar de manera puntual en época de verano los recursos hidráulicos y el recurso solar, esta fue el primer esfuerzo en caminado a investigar este tipo sistema de agua potable comunitario. Debido al factor tiempo los resultados no fueron totalmente concluyentes y es por lo tanto que se requieren seguir trabajando en la monitorización de parámetros y realización de otros

[4] Mecanismos de política de inclusión social del Estado, destinado a expandir la frontera energética en los segmentos vulnerables de la población.

[5] Facilita en seguimiento al desarrollo de productos relacionados con energías alternativas en nuestra Facultad.

instrumentos conlleven a determinar el comportamiento del sistema en base a su demanda actual, además es importante que dicha evaluación sea ejecutada por estudiantes como tesis de grado ya que se podrán realizar algunos aportes y así mismo se obtendrán niveles de conocimientos prácticos de ingeniería que fortalecen la formación profesional.

## 1.2 Descripción del Problema

En el sistema de bombeo implementado en la comunidad El Limón de Estelí - Nicaragua uno de los aspectos que constituyen una deficiencia es que, según la información brindada por el Sr. Aristeo Camas Lazo, que es miembro del CAPS[6] de la comunidad El Limón, manifiesta que cuando el sistema fue dimensionado e instalado no se proyectó el crecimiento poblacional, inicialmente el sistema de bombeo de la comunidad El Limón fue diseñado para cubrir la demanda de 114 personas en el año 2007, con una proyección de crecimiento anual del 8% para 25 años, mismo que ya fue superado por el crecimiento de la comunidad y migración de población de la ciudad a la comunidad; por esta razón el sistema implementado, no cubre la demanda actual de agua de la comunidad, sumándole a ello algunos consumos han superado las estimaciones de demanda de agua para sistemas rurales.

En relación a lo anteriormente mencionado, el CAPS de la comunidad creó un reglamento que se le dio a conocer a los usuarios, en donde se remarca el buen uso que se le debe dar al agua, es decir solamente para usos domésticos como lo es: Aseo personal, cocción de alimentos y agua para consumo, pero se evidencia que algunas personas la están utilizando de manera irracional para riego de sembríos, o construcción, esto hace que los hogares que están más alejados del tanque de almacenamiento de agua o pila, no cuenten de forma constante con el servicio pagado. Debido a esto se hace necesario un estudio para conocer cuál es el requerimiento actual diario y si el sistema de bombeo hibrido es capaz de cubrir la demanda de la comunidad o el alto consumo desproporcionado.

[6] Comité de Agua Potable y Saneamiento: Trabajan como organizaciones comunitarias sin fines de lucro e integrados por personas naturales electas democráticamente por la comunidad, que crean condiciones para garantizar el acceso de agua en su comunidad.

## 1.3. Preguntas problemas

### 1.3.1. Pregunta general

¿Es posible la evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo de agua hibrido, implementado y además el impacto social en los beneficiados?

### 1.3.2. Preguntas específicas

¿La evaluación de los parámetros permite la caracterización técnica del mismo?

¿Se podrá comparar el funcionamiento del sistema de bombeo de agua solar fotovoltaico con respecto al funcionamiento obtenido de la red?

¿Cómo percibe la población el bombeo de agua con un sistema hibrido, en beneficio de ellos?

## 1.4. Justificación

Sabemos que no es posible de ninguna manera que un sistema de agua potable por sí solo, pueda brindar un servicio efectivo a una comunidad, para esto debe anteponerse en primer lugar el factor humano, remarcando así la importancia de conocer la funcionalidad del sistema por medio de la evaluación paramétrica.

Hoy en día, la tecnología fotovoltaica que se dispone comercialmente es una alternativa real para la aplicación en diversas tareas domésticas, industriales y agropecuarias. Las aplicaciones más comunes son bombeo de agua y además la electrificación básica con fines domésticos.

El bombeo de agua, basado en tecnología fotovoltaica es una aplicación de mucha relevancia en el mundo; tiene especial impacto en las comunidades rurales, como lo es la comunidad El Limón en donde se está aprovechando la energía del sol para el abastecimiento de agua, necesaria para sus actividades.

La utilización de este tipo de tecnología ecológica contempla el ahorro y uso eficiente de la energía, bajo el concepto de eficiencia energética, este es un recurso que adquiere vigencia a raíz de los problemas del calentamiento global, generados como consecuencia de la contaminación ambiental, en efecto, con el estudio se determinan las condiciones actuales de funcionamiento o desempeño del sistema.

La aplicación de un sistema de bombeo de agua con paneles fotovoltaicos, es una concepción moderna y amigable con el medio ambiente lo que permite poner a la comunidad como un referente en el manejo de recursos energéticos.

La evaluación paramétrica de estos sistemas implementados, es importante, debido que se conoce cuál es el punto óptimo de funcionamiento en este caso por las mediciones que se realizaron, ya que esto permitió visualizar que tan funcionales son este tipo de tecnologías, asimismo, esta investigación contribuye a nuestra formación profesional y también aporta a la formación científica en nuestra facultad.

Como se ha mencionado la evaluación de este sistema hibrido, beneficiara a los habitantes de la comunidad, ya que conocerán los requerimientos actuales de agua, y los niveles en lo que se encuentra actualmente el pozo, los cual los impulsara a tomar decisiones en cuanto al recurso disponible, maximizando de esta manera los beneficios sociales.

Este estudio se inscribe dentro de las labores investigativas del Grupo de Tecnologías Apropiadas [GTA] de la Universidad Carlos III de Madrid, España y el Centro de Investigación en Energías Renovables de la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí, en el marco del proyecto de cooperación interuniversitaria.

# CAPITULO II. OBJETIVOS

## 2.1. Objetivo general

Evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema hibrido de bombeo de agua, implementado en la comunidad El Limón, Estelí Nicaragua.

## 2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico que permita la caracterización técnica del mismo.

2. Determinar el comportamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico y la comparación de los resultados con la opción conectado a red.

3. Valorar la percepción de los usuarios con respecto al impacto del sistema y la aplicación de tecnologías alternativas.

# CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que se desarrolla a continuación permite conocer los conceptos básicos necesarios para el entendimiento del desarrollo de la investigación.

## 3.1. Energía solar

Según (Gasquet, 2006) el sol es el origen de la energía solar y de las otras fuentes renovables de la energía. Esta estrella es un enorme reactor de fusión nuclear que transforma parte de su masa en energía. El sol emite al espacio energía en forma de radiación electromagnética, la cual puede desplazarse en el vacío, es decir, no requiere medio material para propagarse. De la enorme cantidad de radiación que emite constantemente el sol, una parte de ella llega a la atmosfera terrestre en forma de radiación solar. De ella el 16% es absorbida por la estratosfera y la troposfera y el 22.5% por el suelo; el 4% es reflejada directamente al espacio desde el suelo.

La energía solar es la energía radiante producida en el sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la tierra a través del espacio. La tierra recibe del sol anualmente alrededor de 5,4x 1,024 J, lo que supone 4,500 veces el consumo mundial de energía.

## 3.2. Radiación solar

Según (Gasquet, 2006) es el flujo de energía que llega del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las frecuencias que se reciben están comprendidas entre 0,4µm y 0,7µm y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se denomina como luz visible. De la otra mitad la mayoría se sitúa en la parte infrarroja (IR) del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta (UV).

La radiación solar llega a la superficie terrestre con una potencia máxima de aproximadamente 1 kilovatio por metro cuadrado ($kW/m^2$). La proporción real de radiación utilizable varía dependiendo de la ubicación geográfica, presencia de nubes, horas de luz al día, etc. La potencia solar disponible varía entre 250 y 2500 kilovatios hora por metro

cuadrado y año (kWh/m² año). La radiación solar total es mayor en el ecuador, especialmente en zonas áridas.

### 3.2.1. Tipos de radiación solar

- **Radiación directa:** Es la radiación que incide sobre los objetivos iluminados por el sol sin haber interaccionado con nada y sin cambiar de dirección.

- **Radiación difusa:** Es una radiación que incide indirectamente, como reflejo de la radiación solar que es absorbida por el polvo y el aire, la difusión se produce al desviarse los rayos solares, debido a las partículas sólidas y las moléculas, como el vapor de agua, que existen en la atmosfera.

- **Radiación reflejada o albedo:** Es la radiación procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno. Según (Gasquet, 2006)

### 3.2.2. Ángulos de la radiación solar

Para situar una instalación solar correctamente es necesario conocer los ángulos más importantes de posición del sol y de los captadores. Para poder manejarse en este apartado se mencionan a continuación unas definiciones necesarias para ubicar correctamente las coordenadas, que luego se utilizarán:

- **Angulo acimutal o azimut:** Es el ángulo formado por la proyección sobre la superficie horizontal del lugar, de la recta sol-tierra, con respecto a la recta norte sur terrestre.

- **Angulo cenital o distancia cenital:** Es el ángulo que forma la línea sol-tierra con la vertical del lugar, su complementario es la altura solar.

- **Altura solar:** Es el ángulo formado por la recta sol-tierra respecto al plano que contiene a la superficie del lugar.

- **Angulo de inclinación de la superficie captadora:** Definido como el ángulo que forma el plano que contiene a la superficie captadora con el plano horizontal.

### 3.3. Energía solar fotovoltaica

Según (Barrau, 2009) se entiende por energía solar fotovoltaica a todo sistema directo de conversión de energía a través de la radiación solar que interactué directamente sobre los electrones de un captador fotovoltaico para dar lugar a al efecto fotoeléctrico el cual proporciona la generación de corriente eléctrica de forma periódica y no limitada en el tiempo, es decir, de forma renovable.

### 3.4. Absorción de la luz y efecto fotovoltaico

Según (Barrau, 2009) cuando un flujo de fotones influye sobre la célula construida a partir de la unión entre semiconductores tipo P y N, parte de ellos son absorbidos en el material.

Los fotones que poseen una energía mayor al salto energético entre la banda de construcción y la de valencia, pueden ser absorbidos y forzar el salto de un electrón, entre estas bandas generando un par electrón –hueco.

El electrón se desplaza hacia la zona N y el hueco hacia la zona P, creándose con ello una corriente de electrones desde la zona N a la P.

El salto energético entre las bandas limita la porción de radiación que puede ser absorbida aprovechando un 65 %, el efecto solar se produce de forma instantánea ($\sim 10^9$S), de forma que las células fotovoltaicas generan electricidad instantáneamente de ser iluminadas.

### 3.5. Formas de aprovechamiento de la Energía solar fotovoltaica (E.S. Fv)

Según (Vicente González, 2009) durante mucho tiempo el aprovechamiento de la energía solar se limitó a situaciones en las que era imposible o muy costosa la extensión de líneas eléctricas. Pero hoy en día esto ha cambiado radicalmente.

El uso de la energía solar se he extendido debido a la disminución en el costo de los sistemas, la constante mejora de las características técnicas de los componentes de estos

sistemas y al creciente interés, a nivel mundial, por la generación de energías limpias y renovables.

De acuerdo con (Fernandez Salgado, 2010) un sistema fotovoltaico (aislado o conectado a red) es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible en energía eléctrica

Los componentes de un sistema fotovoltaico varían según sus aplicaciones para las que se utilizan. Estas se clasifican en:

### 3.5.1. Sistemas fotovoltaicos independientes

Son aquellos en los que la única fuente de energía es la producida por el panel solar y, por lo tanto, no están conectados a otros sistemas de generación de energía ni a la red de distribución eléctrica. Ya que solamente se produce energía cuando el sol alumbra, generalmente este grupo de aplicaciones requiere de un subsistema de almacenamiento para que la energía esté disponible cuando no haya luz solar.

Otra conexión sencilla es aquella que utiliza un regulador de tensión entre la salida del panel solar y la conexión de la carga. Este dispositivo utiliza un convertidor de CC/CC (convertidor de corriente continua a corriente continua) o de CC/AC (convertidor de corriente continua o corriente alterna) para generar a la salida una tensión constante, diferente de la tensión de entrada, que algunos dispositivos necesitan para operar adecuadamente independiente de las variaciones de tensión propias a la salida del panel.

Los sistemas fotovoltaicos más comunes son los que utilizan algún sistema de almacenamiento de energía para los momentos en los que el panel solar no produce energía. El sistema de almacenamiento más utilizado es la batería química. Mientras haya luz solar el panel solar carga la batería y además alimenta la carga, cuando el panel no genera energía eléctrica, la batería alimenta la carga. Estos sistemas pueden o no tener un regulador de tensión hacia la carga. La función del control de carga es la de evitar dos situaciones que afectan gradualmente la vida útil de una batería: la carga excesiva y la descarga excesiva.

Algunos controladores de carga de batería utilizan una estrategia de control denominada seguidor de potencia máxima para optimizar el funcionamiento de todo el sistema.

### 3.5.2. Sistema mixto de generación de energía

Son aquellos en los que se dispone, además de la energía solar, de otros medios de generación de energía eléctrica. Estos generadores podrían ser otros sistemas de generación limpios, como los eólicos, o generadores eléctricos conectados a motores de combustión. En este caso, los sistemas se complementan entre sí para entregar la cantidad de energía necesaria a la carga o para cubrir las horas de utilización requeridas.

Los generadores eólicos tienen un comportamiento de generación de energía similar al panel solar por lo que la energía producida debe utilizarse para cargar el banco de baterías. Algunos reguladores comerciales poseen entradas dobles: panel solar y generador eólico.

En el caso de grupos de generadores con motores de combustión, que producen corriente alterna, es necesario un circuito de conmutación que permite el intercambio de alimentación (batería a grupo generador viceversa) sin interrupciones en el suministro.

### 3.5.3. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica (sistema de bombeo solar fotovoltaico)

Se distinguen dos tipos, por un lado, aquellos que utilizan la energía solar para disminuir el consumo de energía de la red de distribución de tal forma a reducir los costos, y, por otro lado, aquellos que pueden proveer el exceso de energía producida por el sistema fotovoltaico a la red. Estos últimos normalmente tienen un incentivo gubernamental por ser energías de producción limpia y, en particular, en el caso de la energía solar.

Tienen por objetivo reducir el consumo de la energía de la red de distribución eléctrica tienen como componentes como los que se muestran en la figura. Las baterías almacenan el exceso de producción, si los hubiere, para cuando se necesite. En algunos casos podría no utilizarse baterías, la energía producida por el panel fotovoltaico es consumida mientras ilumine el sol, en días nublados o por la noche, la carga se alimenta de la red de distribución

eléctrica. En este caso es importante considerar si las horas de mayor producción de energía del sistema fotovoltaico permiten un ahorro razonable.

### 3.6. Sistemas de Bombeo de solar Fotovoltaico

Como hemos mencionado anteriormente la extracción de agua mediante equipos de bombeo fotovoltaico para abastecer las necesidades de consumo humano, de ganado o de regadío en zonas remotas tiene un enorme potencial de desarrollo. Para (Posorky, 1996), "esto no es solo debido al ahorro energético, sino también a que en los sitios más remotos puede resultar económicamente más viable instalar un equipo de estas características que llevar una línea desde la red".

Pero debe considerarse aspectos relacionados al posicionamiento geográfico del sitio tanto en latitud como en longitud, dado que las condiciones ambientales varían de un lugar a otro esto en concordancia a lo descrito por (Meah, Ula, & Barrett, 2006)

Aunque existe una topología básica, las instalaciones de bombeo fotovoltaico pueden adoptar diferentes configuraciones, dando respuesta a condicionantes de tipo técnico, económico, ambientales, de usuarios, etc. A continuación, se muestra el esquema de una instalación tipo de bombeo fotovoltaico directo con equipo sumergible.

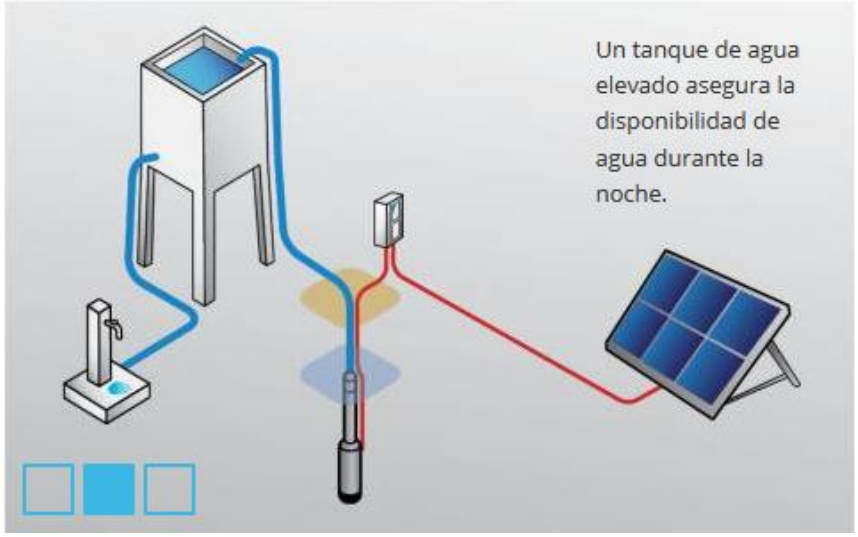



**Figura 1.** Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico.
**Fuente:** (Lorentz, 2016)

En la actualidad, esta tecnología permite operar sistemas de bombeo con generadores fotovoltaicos. Las aplicaciones se hallan desde bombeo de agua a unos pocos metros (10 a 12m) hasta grandes profundidades (300 hasta 500 m), por supuesto, se incluye el bombeo desde fuentes de agua superficiales. Para implementar estos sistemas de bombeo es necesario conocer las condiciones de radiación solar local. Esta información existe en cada país.

### 3.6.1. Componentes de un sistema de bombeo solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico (Fv) de bombeo de agua consta, en general, de un generador Fv, un sistema motor/bomba, un sistema de acondicionamiento de potencia (opcional) de acoplo entre el generador FV y el motor, un sistema de acumulación (Opcional), un pozo y un sistema de tuberías, (ver. A pesar de que se instalan bombas de superficie y flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. A continuación, se detallan los componentes:

**3.6.1.1. El generador fotovoltaico:** Según (Vicente González, 2009) varias células fotovoltaicas se agrupan en lo que se denomina un módulo o panel solar. Este módulo proporciona soporte físico y protección mecánica a las células fotovoltaicas que lo componen. Una celda solar es un instrumento construido de silicio que genera electricidad directamente de la luz visible, debido al efecto fotovoltaico.

#### 3.6.1.1.1. Tipos de celdas solares

- **Silicio mono cristalino**

Estos son los más eficientes y los más caros de producir. También son rígidos y deben ser montados en una estructura rígida para su protección.

**Figura 2.** Celda solar silicio Mono-cristalino.
**Fuente:** (Tipos de paneles, 2016)

- **Poli cristalino**

Las células son efectivamente una reducción de corte de un bloque de silicio, compuesto de un gran número de cristales. Poco menos costosa que las células mono cristalinas y deben ser montados en un marco rígido.

**Figura 3.** Celda Solar Poli cristalino.
**Fuente:** (Sitio solar, 2016)

- **Amorfo**

Estas células son manufacturadas mediante la colocación de una fina capa de amorfo de silicio (no cristalino) sobre una amplia variedad de superficies. Estos son los menos eficientes y menos costosos de producir de los tres tipos.

Una de sus características es que su potencia se reduce con el tiempo, especialmente durante los primeros meses, después de los cuales son básicamente estables.

**Figura 4.**Celda solar Amorfo.
**Fuente:** (Paneles Solares Flexibles, 2011)

### 3.6.1.1.1.1. Configuración de los Paneles Solares

Los módulos fotovoltaicos se conectan a su vez para formar sistemas fotovoltaicos. La conexión puede ser en serie y/o en paralelo dependiendo de la tensión y corriente deseadas. Cuando se busca aumentar la tensión la conexión ha de ser en serie, sin embrago si lo queremos es una corriente de salida mayor las conexiones se realizan en paralelo. Normalmente las conexiones de los módulos se realizan jugando con ambas conexiones de tal manera que consigamos los niveles de tensión y salida requeridos.

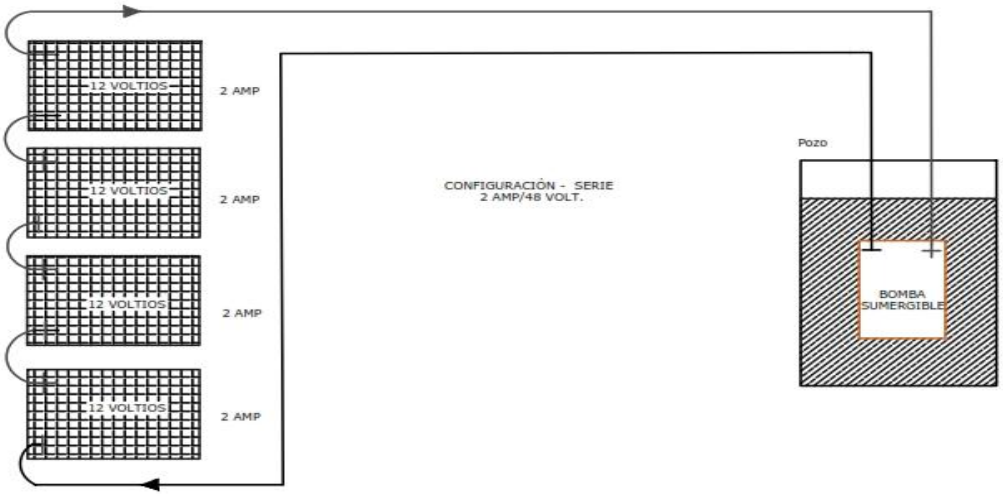



**Figura 5.** Conexión en serie.
**Fuente:** Elaboración propia en programa AutoCAD 2015.

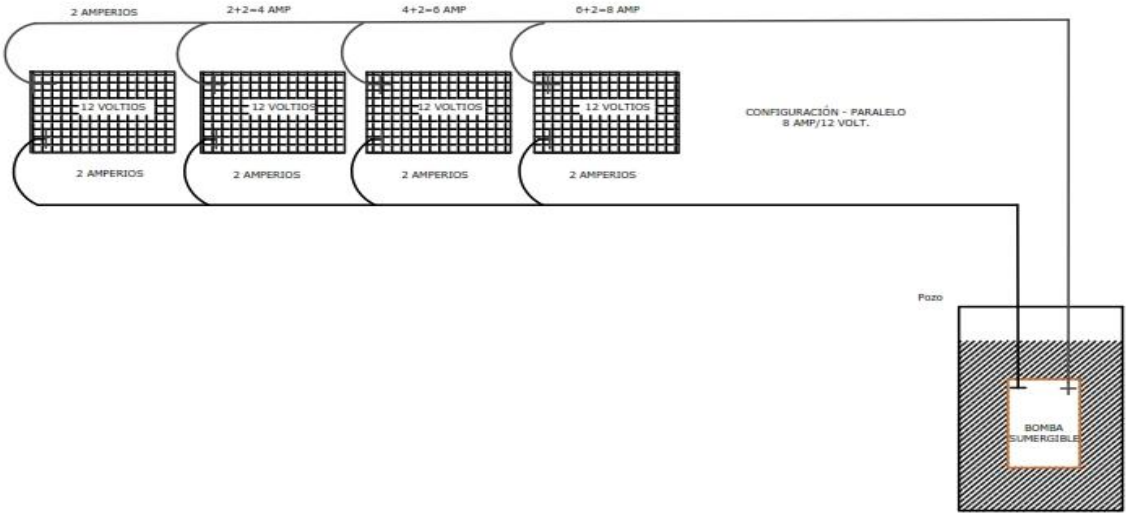



**Figura 6.** Conexión en paralelo.
**Fuente:** Elaboración propia en programa AutoCAD 2015.

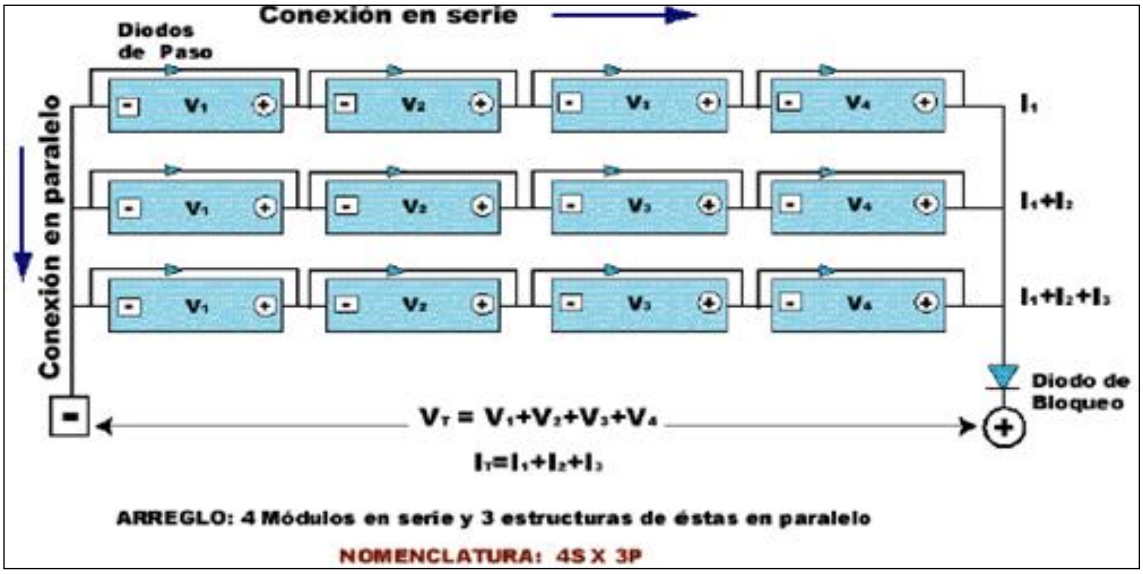



**Figura 7.** Conexión serie-paralelo.
**Fuente:** (Sandia National Laboratories (SNL), 2001)

### 3.6.1.1.1.2. Orientación y ángulos de los paneles solares

La orientación de los paneles solar fotovoltaico es hacia el sur donde se aprovecha la mayor cantidad de radiación solar tomando en cuenta la orientación y el ángulo como se muestra a continuación:

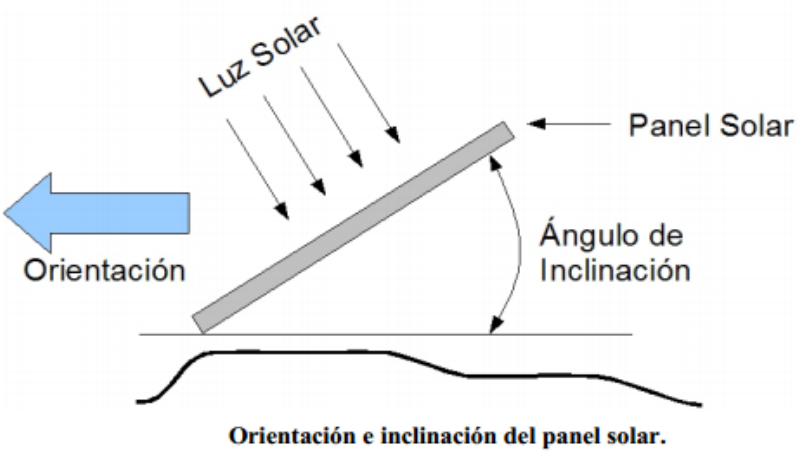



**Figura 8.** Orientación e inclinación del panel solar.

#### 3.6.1.1.1.3. Orientación de las superficies inclinadas

Según (Cassals, 2008), para vencer los efectos que la declinación sobre el ángulo de incidencia de la radiación solar y conseguir interceptar esta radiación lo más perpendicular posible, es necesario que las superficies captadoras estén inclinadas un cierto ángulo respecto a la horizontal del suelo y, a la vez, orientadas lo más meridionalmente posible (es decir, lo más paralelamente posible al meridiano norte-sur de referencia). En la práctica, la inclinación del captador β se considera constante a lo largo del año y se toman como valores usuales los siguientes:

Verano → β= (latitud geográfica -10 o -15º)

Invierno → β= (latitud geográfica +10 o +15º)

Anual → ajustamos a los valores invernales.

Es importante asegurar un ángulo acimutal de 0º, lo cual significa una desviación nula respecto al meridiano de referencia norte-sur. Desviaciones de hasta 20º a este u oeste del meridiano de referencia no afectan sensiblemente a la radiación interceptada en régimen de utilización anual, pero según la inclinación del captador, las perdidas pueden llegar al 30% con respecto a una superficie captadora con $\gamma$c=0º (tabla 1). Si no se puede asegurar una desviación mínima, la disminución en la cantidad de energía captada se suple con un aumento consecuente en el área de captación.

Es recomendable que el generador FV se instale sobre una estructura fija. No obstante, en ocasiones se emplean estructuras con seguimiento solar e incluso con baja concentración (2X), (refiriéndonos a los sistemas de bombeo de agua), en los que el porcentaje ganancia en volumen de agua bombeada es incluso superior a la ganancia en captación solar debido a los umbrales de bombeo.

**3.6.2. Los motores eléctricos**: Pueden ser AC o DC sin escobillas o motores de frecuencias variables. Es habitual que el motor y la bomba formen una única unidad compacta que se denomina motobomba o simplemente bomba. Aunque la mayor parte de las

instalaciones de bombeo en aplicaciones FV se realizan con equipos sumergibles, existen también unidades flotantes o de superficie.

**3.6.3. Variadores de frecuencia:** Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

**3.6.4. El sistema de acumulación:** (opcional) Dado que el sol está disponible durante algunas horas del día, y algunos usos de la energía se centran en la noche algunos sistemas cuentan con acumulación de energía, el más utilizado son las baterías químicas.

**3.6.5. La fuente de agua:** Para bombear puede ser de ríos, lagos o pozos. En instalaciones de bombeo FV es más habitual la extracción de agua de pozos que, aunque pueden ser abiertos, en la mayor parte de los casos son pozos de sondeo en los que se instala una motobomba sumergible junto con las sondas de nivel u otros dispositivos de control para evitar la operación en vacío, que dañaría la bomba irreversiblemente. El descenso del nivel del agua en el pozo de bombeo, o abatimiento, puede incrementar la altura manométrica total y ha de ser cuidadosamente analizado en función del tipo de acuífero para lograr un correcto dimensionado del sistema.

**3.6.6. Controlador:** Estos dispositivos hacen posible un equilibrio en el flujo de energía a través de todo el circuito que conforma el sistema de energía fotovoltaico, bloquean corrientes inversas, previenen sobrecargas y mantienen apropiadamente la alimentación de las baterías de manera segura para que el sistema esté en condiciones óptimas a largo plazo.

**3.6.7. La bomba:** Componente esencial, se puede clasificar de la siguiente manera:

**3.6.7.1. Bombas cinéticas**

Según (Mott, 2006)**,** están bombas agregan energía al fluido cuando lo aceleran con la rotación de un impulsor, el fluido se lleva al centro del impulsor y después es lanzado hacia fuera por las aspas. Al salir del impulsor, el fluido pasa por una voluta en forma de espiral, donde baja en forma gradual y ocasiona que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido. Estas también poseen una clasificación:

- **Bombas de chorro:** Se utilizan con frecuencia en sistemas hidráulicos domésticos, están compuestas por una bomba centrifuga junto con un ensamble de chorro o eyector. La bomba principal y el motor se encuentra a nivel del terreno en la boca del pozo, y el ensamble del chorro esta abajo, cerca del nivel del agua.

- **Bombas sumergibles:** Están diseñadas de modo que pueda sumergirse todo el conjunto de la bomba centrifuga, el motor impulsor y los aparatos de succión y descarga. Están bombas son útiles para retirar el agua que no se desea en sitios de construcción, minas, servicios en sótanos, tanques industriales y bodegas en barcos de carga. La succión de la bomba está en el fondo, donde fluye el agua través de un filtro y hacia el ojo del impulsor resistente a la abrasión. La descarga fluye hacia arriba a través de un pasaje anular entre el núcleo y la carcasa del motor.

- **Bombas de autoarranque:** El termino arranque describe este proceso. El método predilecto para arrancar una bomba consiste en colocar la fuente del fluido arriba de la línea central del impulsor, y dejar que por efecto de la gravedad llene el puerto de succión. Sin embargo, es frecuente que sea necesario retirar el fluido de una fuente por debajo de la bomba, lo que requiere que esta creé el vacío parcial para elevar el fluido, al mismo tiempo que expele cualquier cantidad de aire que se halle en la tubería de succión.

## 3.7. Funcionamiento de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico

El sistema funciona de la siguiente manera:

Los paneles fotovoltaicos convierten la energía de los rayos solares en energía eléctrica en forma de corriente continua, esta corriente circula hasta la bomba sumergida en el agua del pozo. En el interior de la bomba, el sistema de control, que optimiza la energía suministrada por los paneles fotovoltaicos, adapta esta corriente eléctrica para poder alimentar el motor que moverá la bomba, al motor mueve la bomba que impulsa el agua fuera del pozo. A continuación, el agua se reparte con tuberías para su aprovechamiento.

## 3.8. Sistemas Híbridos

Los sistemas híbridos permiten que la energía eléctrica generada por los paneles solares funcione en paralelo con la energía generada por la red u otro tipo de generadores, es decir, se busca una reducción de los costos de energía.

## 3.9. Variables que intervienen en el funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico

Según (Vicente González, 2009) los parámetros del dimensionado de bombeo solar son:

- Radiación solar disponible
- La profundidad de bombeo / distancia de bombeo
- Caudal de bombeo

## 3.10. Factores que afectan el rendimiento de los paneles solares

- **Reflexión:** Este tipo de pérdidas se produce en la superficie del panel, debido a la reflexión de los rayos incidentes. Para disminuir este tipo de perdidas, en el proceso de fabricación están utilizando capas antirreflejo y superficies rugosas.

- **Efecto de la Sombra:** El efecto de la sombra sobre los paneles solares, afecta notoriamente al rendimiento de estos, es por esto que se debe procurar al momento de diseñar una instalación, situar los paneles en un lugar donde no

existan este tipo de interferencias. Aún más en los paneles conectados en serie porque al estar en este tipo de configuración al incidir sobre ellos una sombra crean un vacío o electrónicamente se llama hueco que hace cortar la conexión y por ende el flujo eléctrico. Esto dejara sin flujo eléctrico al sistema.

- **Efecto de la temperatura:** La temperatura es un parámetro que afecta directamente la generación de energía en un panel fotovoltaico. Al aumentar la temperatura, la corriente también tiende a aumentar, pero el voltaje cae notablemente, lo que provoca una disminución en la potencia entregada por el panel, en cambio al disminuir la temperatura el voltaje tiende a aumentar, pero la corriente disminuye, aumentando en una fracción el nivel de potencia entregada.

### 3.11. Dimensionado del sistema de bombeo solar

Conforme con (Vicente González, 2009) luego de identificar las variables adicionalmente se debe enfocar el dimensionado del sistema a través del tipo de bomba que se puede emplear. Esto está ligado directamente a la profundidad de bombeo y al caudal de bombeo. Cada fabricante de bombas oferta información acerca de los parámetros de sus bombas y sobre las condiciones en las cuales ellas pueden trabajar. Entre esos datos se encuentra el diagrama de trabajo de las bombas, donde se describe los tipos de bombas de acuerdo a la profundidad de bombeo y el caudal a ser bombeado.

Esos dos últimos parámetros sirven para determinar lo que se conoce como *ciclo hidráulico,* que no es más que el producto del volumen a ser extraído (caudal $Q$ en $m^3$/día) por la profundidad de extracción ($H_d$ en m) o llamada también *carga o altura dinámica.* Este ciclo hidráulico ($CH$ $m^4$/día) determina la capacidad combinada de extracción de una cantidad de agua a una profundidad dada.

$$CH(m^4/día) = Q(m^3/día)H_d(m)$$

Actualmente el valor CH tiene su máximo entre 1,500 y 2,000 $m^4$ diario para sistemas fotovoltaicos. Esto es, por ejemplo, si el valor de CH diario es de 1,600 $m^4$, significa que puede extraerse un volumen de 100 $m^3$ desde una profundidad de 16 m, o bien 50 $m^3$ desde una profundidad de 32 m, o bien 20 $m^3$ desde una profundidad de 80 m, o en fin 5 $m^3$ desde una profundidad de 320 m. (Vicente González, 2009)

Estos ejemplos requieren de mucha energía. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos requieren de mucha potencia, de hasta algunos kW, y en general tienen baja eficiencia total (≈5% o un poco más).

La altura manométrica ($h_m$) será la distancia de trabajo la cual debe ser vencida por la bomba. Aunque en realidad, $h_m$ debe corregirse por las pérdidas mecánicas ($h_{perd}$) en las tuberías mientras circula el agua y el hecho de que cuando se da la succión de agua por la bomba, el nivel dinámico ($h_d$) dentro del pozo cambia ligeramente provocando pequeñas oscilaciones en el valor del nivel estático ($h_e$). la diferencia de esto provoca algo llamado abatimiento que es la disminución del espejo de agua hacia una profundidad mayor. Esto es, la altura efectiva de bombeo para el sistema estará dada por la ecuación:

$$H_d = h_m + h_{perd}$$

Toda vez que se quiera extraer agua, se debe entonces conocer la energía necesaria para esta operación. Esto es, se necesita conocer el tamaño de los generadores fotovoltaicos para lograr operación. Para ello es necesario conocer la potencia hidráulica diaria necesaria para la instalación. La ecuación siguiente expresa ese valor:

$$P_{hyd}(W) = \rho . \mathrm{g} . H_d . Q$$

Aquí g es la aceleración de la gravedad, 9,81 $m/s^2$, ρ es la densidad del agua, 1.000 $kg/m^3$ y el Q el caudal expresado en $m^3/s$.

Para obtener la potencia fotovoltaica ($P_{pv}$), se debe multiplicar este valor por la cantidad de horas que se requiere bombear agua, y luego dividir por la cantidad de horas de sol promedio $\Delta t_{sol}$ que se tiene por metro cuadrado por cada día en la localidad. Recordando, si la zona tiene radiación solar promedio diaria de 5,1 kWh/m$^2$día, esto significa que 1 m$^2$ de superficie recibe 5,49 horas de sol (1.000 W) de energía radiante diariamente (dato tomado de la tabla de la NASA presentada en el anexo 4). El resultado debe corregirse por los factores en la generación fotovoltaica ($F$) que es alrededor del 85% y por el rendimiento del subsistema de bombeo ($\eta_{sub}$=25%...40%). En la ecuación siguiente se calcula la potencia fotovoltaica que se debe usar para la instalación.

$$P_{pv}(W_p) = \frac{P_{hid} W * \Delta t_{bomb}(h)}{\Delta t_{sol}(h) * F * \eta_{sub}}$$

Para conocer $\Delta t_{bomb}$, se toman los datos del volumen demandado de agua y de la capacidad de la bomba (caudal de la bomba $Q_{bomb}$). El volumen demandado ($V_x$) no es más que la cantidad de agua diaria que se necesita extraer del pozo o cuerpo de agua. Entonces, para conocer la capacidad de la bomba, se divide este volumen entre el tiempo de bombeo requerido:

$$Q_{bomb} = V_x / \Delta t_{bomb}$$

Este resultado, expresado bien sea en L/h ò en m$^3$/s debe aproximarse a la capacidad de algunas de las bombas que se ofertan en el mercado. Luego, de acuerdo al tipo de bomba el tipo de motor, se diseña el resto del circuito eléctrico para la alimentación de la bomba, debe realizarse un balance económico de los costos y la calidad de los equipos. En este tipo de aplicaciones, se debe asegurar que la vida útil de los equipos y dispositivos sea uno de parámetros de sostenibilidad.

### 3.12. Nivel estático del agua

Altura del nivel freático o de la superficie piezométrica cuando no está influenciada por bombeo o alimentación.

### 3.13. Nivel dinámico del agua

Nivel al cual se mantiene el agua en un pozo, cuando del mismo se extrae por bombeo un cierto caudal.

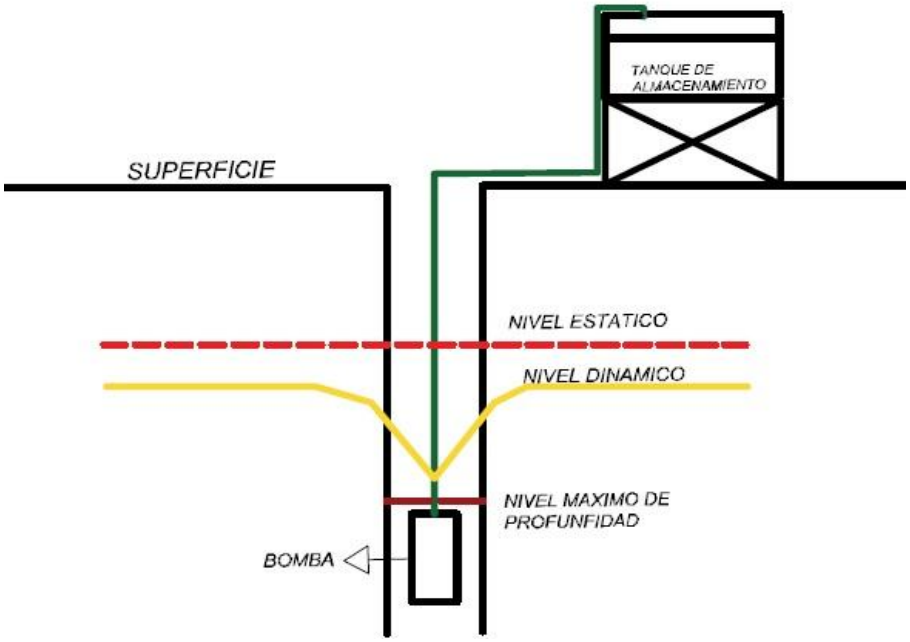



**Figura 9.** Esquema de representación gráfica del Nivel Estático y Dinámico de agua.
**Fuente:** Elaboración propia en programa AutoCAD 2015.

### 3.14. Tipos de mantenimiento a los sistemas

Según (Fernandez Salgado, 2010) se definen dos escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la producción y, prolongar la duración de la misma:

- **Mantenimiento preventivo:** Implica como mínimo, una inversión anual. Es necesario disponer de un plan de Mantenimiento preventivo que incluir operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento preventivo se basa fundamentalmente, el caso de instalaciones aisladas en una inspección visual del funcionamiento de los equipos. Dicha inspección visual es la más fácil de llevar a cabo.

- **Mantenimiento correctivo:** Se relacionan todas las operaciones de sustitución necesarias para asegurar que el sistema funciona correctamente durante su vida útil. Este tipo de mantenimiento debe realizarse por personal técnico calificado.

# CAPITULO IV. HIPÓTESIS

*El sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red es totalmente funcional y satisface la demanda de agua de la comunidad.*

**Variable independiente:** Sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red.

**Variable dependiente:** Demanda de agua de la comunidad.

## 4.1. Cuadro de operacionalización de variables

| VARIABLE | CONCEPTO | INDICADORES | FUENTE |
|---|---|---|---|
| Sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red. | Los sistemas solares fotovoltaicos conectados a red permiten que la energía eléctrica generada por los paneles solares funcione en paralelo con la energía generada por la red u otro tipo de generadores, es decir, se busca una reducción de los costos de energía. (Vicente González, 2009) | Radiación Solar ($W/m^2$)<br><br>Caudal ($m^3/h$)<br><br>Potencia (kW/h)<br><br>NEA<br>NDA | • Formatos de registro, video<br>• Nota de campo<br>• Observación<br>• Encuesta |
| Demanda de agua | Volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo. (GOVERN ILLES BALEARS, 2017) | Caudal ($m^3$)<br>Volumen | • Formatos de registro<br><br>• Nota de campo<br><br>• Observación |

**Tabla 1.** Operacionalización de variables.
**Fuente:** Elaboración propia.

# CAPITULO V. METODOLOGÍA

## 5.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se ubica en la comunidad el Limón a 1.5 kilómetros al sur oeste del casco urbano del municipio de Estelí, región central Norte de Nicaragua, entre las coordenadas 13°03'02.15" latitud norte y 86°21'44.80" longitud oeste, y la altitud 840 msnm. La temperatura promedio anual de 23 °C y acumulado de precipitación de 800 milímetros.

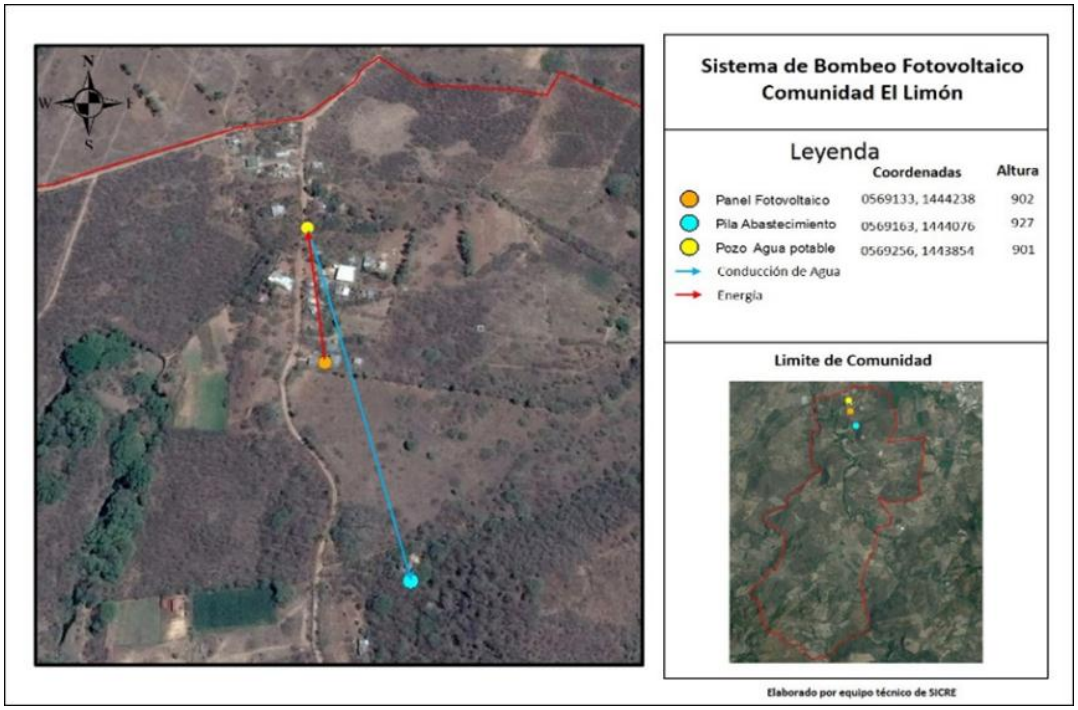



**Figura 10.** Mapa de la comunidad El Limón y la ubicación de la pila, pozo y panel Fv.
**Fuente:** Elaboración equipo SICRE UNAN MANAGUA FAREM Estelí - Programa AGIC 1.0

## 5.2. Tipo de estudio

Según su enfoque filosófico es una investigación de tipo cuantitativo y cualitativo (mixta), se considera cuantitativa ya que se realizarón mediciones experimentales. Es cualitativa porque se basó en la inclusión de las personas que habitan en la comunidad por medio de instrumentos como la encuesta.

Según su nivel de profundidad esta investigación es del tipo descriptivo y correlacional; descriptivo ya que permite caracterizar como es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes, identifica características del universo de investigación; correlacional, debido a

que el investigador pretende visualizar como se relacionan o vinculan diversos parámetros entre sí o si por el contrario no existe relación entre ellos.

## 5.3. Universo

Nuestra población o universo de estudio está delimitado a las comunidades rurales de Estelí, en las cuales existen sistemas de bombeo de agua con tecnologías alternativas, como lo es la Energía Solar fotovoltaica y que por lo tanto presentan características comunes entre sí, con el estudio en el que se está enfocando.

Como parte del Diplomado en Cuenca, Agua, Saneamiento y Género con énfasis en Gerencia institucional sobre los Recursos Hídricos 2014, realizaron un estudio en donde determinaron que en el Municipio de Estelí solamente se encuentran dos sistemas con la inclusión de Energías Renovables: El implementado en la comunidad El Limón y el sistema implementado en la comunidad de Sontule, del último se hace referencia en los antecedentes de esta investigación.

## 5.4. Tipo de muestreo

Muestreo teórico. También denominado muestreo intencionado. En este caso se avanza hacia una estrategia de muestreo deliberado a lo largo del estudio, basándose en las necesidades de información detectadas en los primeros resultados, en este caso el pilotaje de 6 encuestas realizadas para determinar la aceptación de esta por las personas de la comunidad.

## 5.5. Muestra

En los estudios cualitativos como lo es en el caso del objetivo de investigación número 3 casi siempre se emplean muestras pequeñas, en este caso se consideró una muestra de 28 personas, quienes colaboraron con el recojo de la información.

## 5.6. Técnicas de recolección de datos

### 5.6.1. Observación

La observación consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar.

### 5.6.2. Encuesta

Según (Canales , Alvarado, & Pineda, 1998) este método consiste en obtener información de los sujetos de estudio proporcionada por ellos mismos, sobre opiniones, actitudes o sugerencias.

### 5.6.3. Dialogo

Un diálogo describe a una conversación entre dos o más individuos, que exponen sus ideas o afectos de modo alternativo para intercambiar posturas. En ese sentido, un diálogo es también una discusión o contacto que surge con el propósito de lograr un acuerdo.

## 5.7. Etapas de la investigación

Para alcanzar los objetivos plateados, se realizó un proceso dividido de la siguiente manera:

**Etapa 1. Investigación documental**

Consistió en la búsqueda de la información vinculada a la temática a investigar, revisión de la documentación existente: Proyectos de investigación, tesis de grado, páginas web, consultas de libros y revisión de la literatura en la biblioteca "Urania Zelaya" de nuestra facultad (FAREM -Estelí). Esta fase se realizó en el transcurso de todo el proceso y permitió la estructuración de la investigación, definición de la perspectiva teórica en la cual se sustentará además el conocimiento y adaptación de los métodos científicos necesarios para el buen desarrollo del proceso de la evaluación paramétrica.

**Etapa 2. Diseño de instrumentos**

El diseño de instrumentos se hizo de acuerdo a los objetivos específicos, primeramente, se mencionará la observación por ser fundamental en todos los campos de la ciencia, se realizó un registro y se formalizo encaminada a seleccionar, organizar y relacionar los datos referentes a nuestro estudio. Los medios que se utilizaron para registrar la información fueron: cuaderno de campo, diario, computadora portátil, cuadros de trabajo, gráficos y mapas; además se realizaron formatos para registrar los datos de las variables medidas.

Otra técnica utilizada para el levantamiento de la información es la encuesta con preguntas ordinarias y nominales es decir variables no paramétricas, encaminadas a la recopilación de información para el estudio, además se realizó una prueba de confiabilidad de este instrumento.

**Etapa 3. Trabajo de campo**

Una vez estructurados los instrumentos se inició el trabajo de campo, para acceder al lugar en donde está ubicada la bomba y el lugar en donde están los paneles solares, se contactó con el encargado del funcionamiento del sistema de esta comunidad y de esta forma se pudo realizar la evaluación directa sobre el sistema.

Para la evaluación paramétrica se conocieron todos los datos técnicos del sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red (hibrido) necesarios para la evaluación, estos estarán reflejados en los anexos.

Para el cumplimiento del primer objetivo específico el cual es evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo, se realizaron las mediciones de las variables, previamente, se elaboraron los formatos de tomas de datos técnicos operacionales del sistema.

En cuanto al proceso de evaluación se define la medición de uno de los parámetros más relevantes relacionados con la fuente de generación fotovoltaica los cual conlleva a estudiar lo siguiente:

- **Recurso solar,** el cual se midió con un Solarimetro modelo PCE-SPM 1. La medición de este parámetro permitió determinar los índices de radiación para el bombeo, estos datos se tomaron al mismo tiempo con los demás, es decir sabrá el funcionamiento de todo el sistema y cuál es el punto más óptimo. Estos sincronizados con cronometro. Es importante mencionar que en cierta ocasión la toma de datos fue por medio de formatos realizados por los investigadores, debido a que no se contaba con el sistema

de conexión para extraer los datos del datalogger del Solarimetro. (Ver formatos en anexo 1). Luego se obtuvo la conexión al datalogger y así se pudieron realizar mediciones más precisas cada segundo de acuerdo a la programación deseada.

- **Recurso agua**

**El Nivel Estático del Agua (NEA),** esta medida se realizó por medio del equipo, sonda marca SOLINST, modelo 101, el cual permite registrar el valor del nivel estático del agua, dicha medición se tomó con el sistema fuera de funcionamiento. Esta sirve para conocer a la profundidad a la que se encuentra el agua en un pozo.

**El Nivel Dinámico del Agua (NDA),** de igual forma esta medición se realizó utilizando la misma sonda, pero con el equipo en funcionamiento. Esta medida sirve para conocer el nivel del agua durante el bombeo.

Se evaluaron las condiciones hidráulicas actuales del sistema de bombeo de la comunidad el Limón en este caso será producción vs demanda o dotación domiciliar.

- **Caudal**

Para la determinación de la extracción de agua se efectuó haciendo uso de macro medidores de flujo tipo rotámetros marca Arad y modelo M25, instalado en la tubería de descarga, este dispositivo mide los $m^3$ de agua que se suministran a la red, para tal efecto la bomba estaba funcionando por un periodo que permitió estimar de manera la media ponderada del caudal de explotación de la fuente en $m^3$, el dato recopilado sirve como uno de los parámetros para evaluar posteriormente el punto de operación óptimo de funcionamiento del sistema. Cabe señalar que esta medida fue sincronizada con la toma de datos de la radiación solar y potencia inyectada por el arreglo de paneles.

La determinación de la demanda está directamente relacionada con la dotación de agua por hogar, para ello fue necesario conocer los hogares a los cuales se les brinda o están bajo cobertura del servicio de abastecimiento de agua, en este caso fueron 55 casas.

Se procedió a la toma de videos y así se obtuvo cada dato o variación de los parámetros con mayor exactitud, lo cual permitió una mejor evaluación; para ello se requirió estar en el lugar donde se encuentra ubicada la bomba y el arreglo de paneles solares. Además, se utilizaron cronómetros para conocer el tiempo exacto de medición y sincronizar las medidas.

Para la evaluación del sistema y haciendo referencia al objetivo específico numero dos fue necesario realizar las mediciones de:

- **Las características eléctricas del sistema**, se midieron con un multímetro digital modelo MASTECH MAS830L en el caso de voltaje y amperaje del sistema, la potencia generada está representada en uno de los dispositivos del sistema fotovoltaico. (Controlador GRUNDFOS CU 200 SQ Flex)

En el caso de determinar el comportamiento del sistema de bombeo de agua hibrido, respondiendo directamente al objetivo específico número dos, se realizó de acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación del sistema de bombeo solar fotovoltaico, ya que esto nos permitió conocer la funcionalidad de este y comparar esos resultados, con la opción conectado a red, para la cual se realizaron mediciones cuando el sistema de bombeo estaba conectado a la red, por lo general en las primeras horas de la mañana y al finalizar el día u horas solares. En este caso también se realizaron las mediciones de caudal por medio del medidor de flujo tipo rotámetro marca Arad y modelo M25, instalado en la tubería de descarga.

Para valorar la percepción de los usuarios en cuanto a la funcionalidad del sistema con energía solar fotovoltaica respondiendo al último objetivo que se planteó en esta investigación, se aplicó una encuesta dirigida a la población de esta comunidad. La encuesta presentó preguntas claves que permitieron conocer la opinión de los encuestados, esta fue realizada cara a cara, se optó por esta modalidad tomando en consideración las ventajas que provee como por ejemplo la confiabilidad. Para ello se decidió previamente a la cantidad de personas a las que se le aplicaría, también se tomó en cuenta la accesibilidad a los hogares

de las personas encuestadas. Fue importante considerar el formato general del documento, en este caso datos generales, y otros datos más específicos.

Antes de que la encuesta fuera aplicada, se realizó un pilotaje para conocer si esta tiene buena aceptación por los encuetados en cuanto a las preguntas. Un pilotaje se realiza con una pequeña muestra inferior a la muestra definitiva, como ya hemos mencionado anteriormente en este caso se realizó un pilotaje de 6 encuestas, estos no fueron incluidos en la cantidad aplicada posteriormente. Parte fundamental de la prueba piloto consiste también en charlar con los participantes para recoger sus opiniones con respecto al instrumento, es este sentido nos referimos a su compresión (Ver Anexo 2).

**Etapa 4. Procesamiento de la información**

Todos los datos posteriormente fueron analizados, la evaluación paramétrica, se basará en la tecnología de ingeniería presente, que se refiere a utilizar sistemas informáticos para mejorar el proceso de diseño (AutoCAD 2015). Con el objetivo de minimizar errores, para la organización de la información y los cálculos se utilizaron las herramientas informáticas como el programa: Programas de Microsoft Office y SPSS.

# CAPITULO VI. RESULTADOS Y DISCUSION

En este apartado se abordará los resultados obtenidos acerca de la evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red ubicado en la comunidad EL Limón, esta etapa se realizó de acuerdo a los objetivos específicos de la investigación.

**OE1. Evaluar los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico que permita la caracterización técnica del mismo.**

A continuación, presentamos el esquema de cómo está conectado el sistema de bombeo solar fotovoltaico de la comunidad El Limón. Para comprender mejor los resultados es importante conocer los datos técnicos de cada uno de los componentes, estos se presentan en el anexo 3.

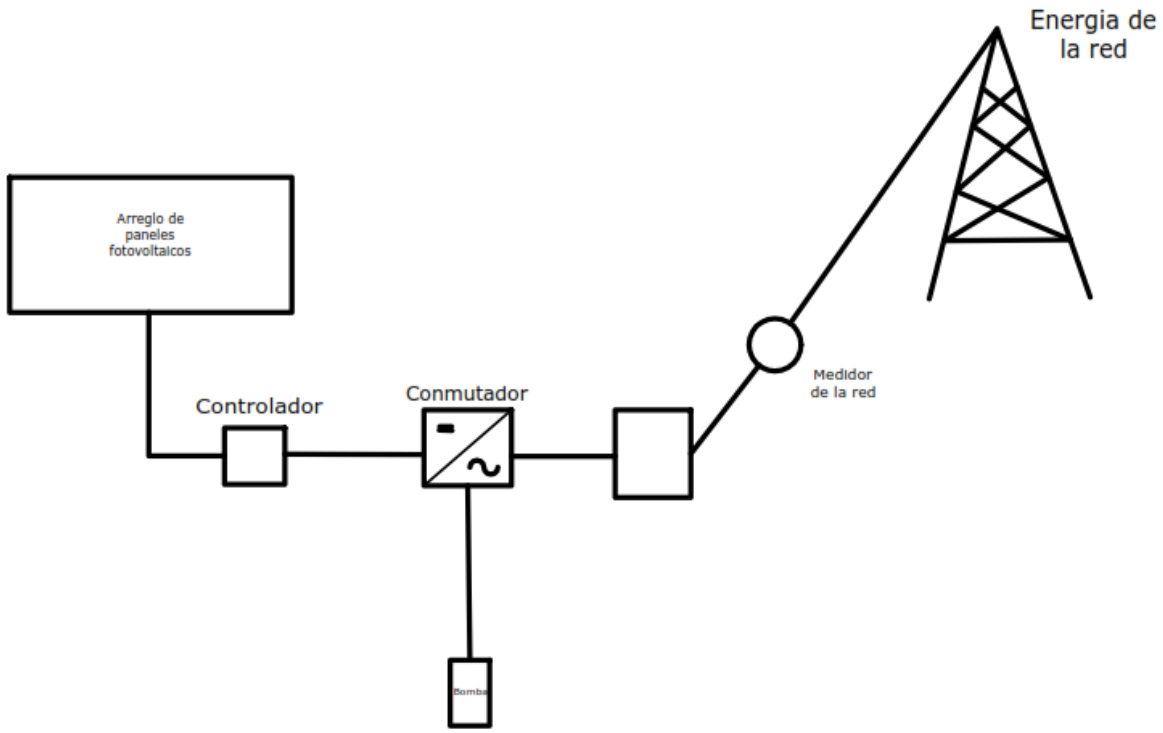



**Figura 11.** Esquema de la conexión del sistema de bombeo de agua de la comunidad.
**Fuente:** Elaboración propia en programa AutoCAD 2015

Primeramente, se mostrará el consumo de agua en $m^3$ de la comunidad del año 2016 estos fueron obtenidos de la tabla de registro proporcionada por el encargado de mantenimiento del sistema.

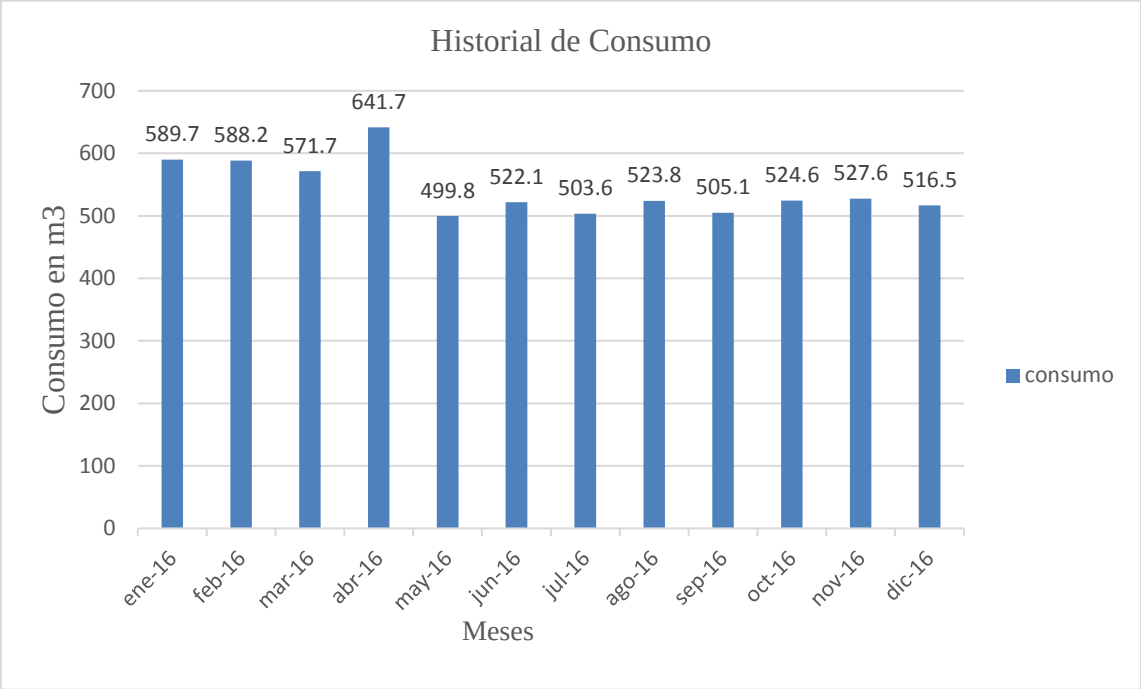



**Grafico 1.** Historial de consumo de agua en $m^3$ del año 2016
**Fuente:** Elaboración propia – programa Excel 2016.

En el grafico anterior, se puede observar el historial de consumo de los meses de todo el año 2016, siendo este un volumen de demanda variable en algunas viviendas

Como se muestra en la gráfica el mes de menor consumo es mayo con 499.8 $m^3$ y el mes de mayor consumo es abril con 641.7 $m^3$. Con estos datos se obtuvo un promedio de consumo general de 542.86 $m^3$ y el promedio diario de toda la comunidad de 18 $m^3$.

A continuación, se presentan gráficos de relación de la Radiación solar, potencia, caudal estos son los parámetros que influyen en el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico:

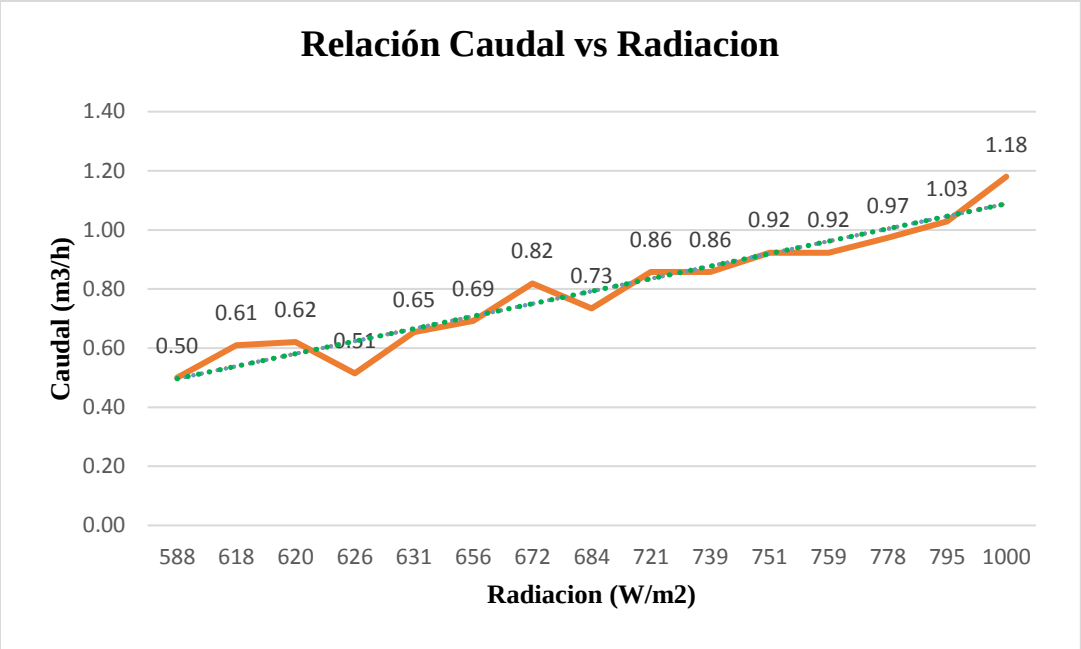



**Grafico 2**. Relación del caudal con respecto a la radiación solar.
**Fuente:** Elaboración propia – programa Excel 2016.

En la gráfica anterior se muestra una relación entre caudal y radiación, estos datos fueron obtenidos mediante el uso de Datalogging en el caso de la radiación, el cual es capaz de guardar datos con intervalos de un segundo, al mismo tiempo fueron tomados los datos del macro medidor instalados a la salida de la bomba, en este caso para caudal.

Los datos expresados en la gráfica, nos muestran que a medida que aumenta la radiación aumenta el caudal obtenido, teniendo como máximo punto de extracción de 1.18 $m^3/h$ con una radiación de 1000 $W/m^2$. Trabajando en su punto más bajo de bombeo a una capacidad de 0.5 $m^3/h$ con una radiación de 588 $W/m^2$, conociendo que la bomba es capaz de trabajar en condiciones óptimas de trabajo tanto de potencia demandada como caudal entregado. Dando lugar a que con los datos tomados se puede relacionar la bomba con la ficha técnica del fabricante, que a medida que aumenta la potencia aumentara su caudal bombeado a una altura determinada.

Haciendo necesario un trabajo de bombeo continuo con energía solar, teniendo que trabajar 15.25 horas en condiciones óptimas de radiación, mismas que la energía solar fotovoltaica no puede cubrir debido a que Nicaragua cuenta con un día solar aprovechable de 5.5 horas con un promedio de radiación de 5.49 kWh/m$^2$/d, según la tabla de radiación solar tomada de la NASA. (Ver anexo 4)

En el grafico siguiente podemos observar que la potencia suministrada a esta bomba por medio del sistema o arreglo de paneles fotovoltaicos, van en dependencia de la radiación incidente en un área determinada.

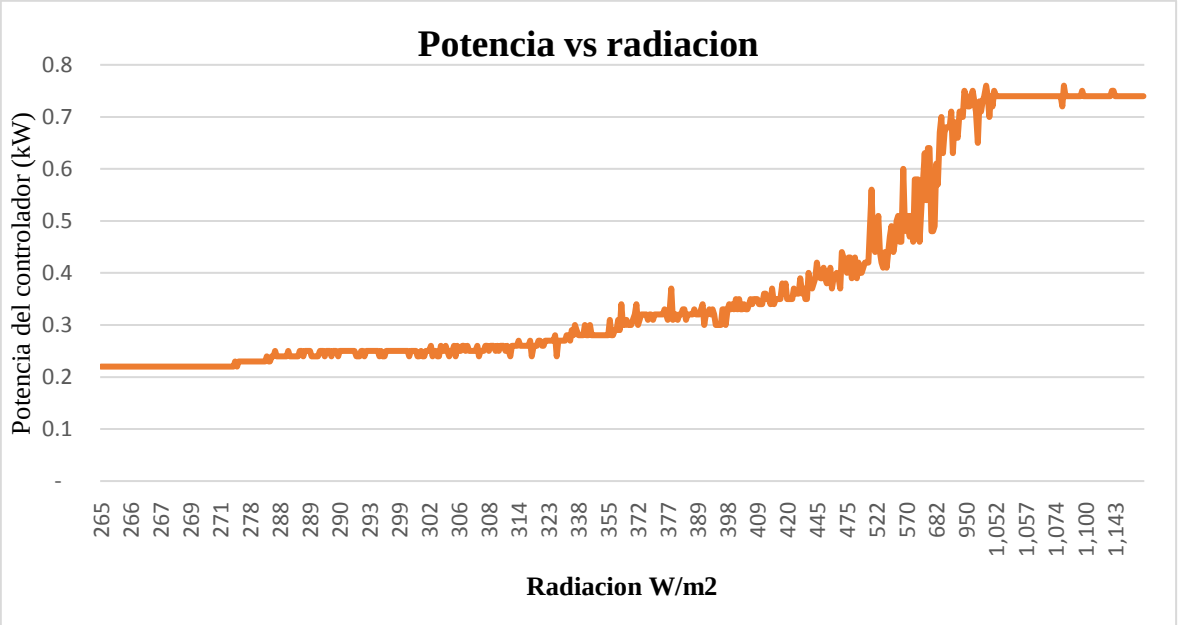



**Grafico 3.** Relación potencia con respecto a la radiación solar.
**Fuente:** Elaboración propia – programa Excel 2016.

Por esto se pudo observar que a medida que aumentaba la radiación solar, aumenta la potencia suministrada y por lo tanto el caudal dado por la bomba. Con una radiación de 1052 W/m$^2$ obtenemos 0.74 kW de potencia disponible. En el estudio y análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros eléctricos, se puede distinguir que en las transiciones de una radiación baja a una más alta en un corto periodo de tiempo la potencia no varía mucho. Con el rango de radiación de 1052 W/m$^2$ a 1146 W/m$^2$ la potencia suministrada a la bomba se mantiene prácticamente constante, este caso de 0.74 kW, porque

al arreglo de paneles, aunque se le inyecte mayor radiación esa es su máxima capacidad de generación. Los datos de radiación solar son promedio de todos los datos recopilados a lo largo de la investigación.

Con la realización del estudio llevado a cabo en la Comunidad el Limón, del sistema de bombeo solar, este por sí solo no tiene la capacidad de cubrir las horas de bombeo o extracción de agua de 18 $m^3$ que se tienen como demanda diaria.

La bomba instalada tiene una capacidad de bombeo de 2.4 m3/h con una potencia de 1.4 kW según el fabricante, pero el estudio realizado muestra que se está obteniendo alrededor de 1.18 $m^3$ /h.

El principal factor que se opone a que la bomba trabaje a su máxima capacidad de extracción es el arreglo del sistema de paneles fotovoltaicos, debido a que el mismo consta con 11 paneles de 80 W de potencia obteniendo un total de 880 W que equivalen a 0.88 kW con lo que la bomba cuenta para realizar su trabajo, como dato teórico, y como se muestra el sistema no está recibiendo la potencia necesaria para alcanzar su máximo punto de trabajo, en este caso es de 0.74 kW.

La bomba actualmente con la potencia suministrada por arreglo de paneles está suministrando un caudal de extracción de 1.18$m^3$/h. La comunidad necesita a diario un volumen de 17.4 $m^3$ mismos que no son extraídos por el sistema solar de bombeo, debido a que en Nicaragua la radiación promedio es de 5.49 kWh/$m^2$/d.

Con un tiempo disponible de 5.5 horas sol el sistema nos da un caudal de $\frac{1.18m^3}{h} * 5.5h =$ 6.49 $m^3$, insuficientes para la demanda diaria que como ya se conoce es de 18 $m^3$. Resultando la bomba muy pequeña con respecto a las horas sol disponibles y la potencia instalada en el sistema de paneles, esta debería tener 15.25 horas de disponibilidad de sol con la capacidad de extracción de 1.18$m^3$/h. Pero si la bomba trabajara a su máxima capacidad de extracción que según la ficha técnica es de 2.4 $m^3$/h, serian 7.25 horas sol aprovechables. Que en Nicaragua no se disponen.

Obteniendo como resultado la necesidad de impulsar a la comunidad y sus habitantes a buscar una alternativa para poder cubrir la demanda de agua. En este caso ya está implementada la cual es la conexión a red del sistema es decir un sistema hibrido.

A continuación, se presenta el cálculo de la eficiencia del sistema de bombeo solar fotovoltaico:

La eficiencia de la bomba en este caso viene dada dividiendo la potencia útil entre la potencia de accionamiento (suministrada).

$$\eta = \frac{Pu}{Pa}$$

La potencia útil que se obtuvo en el sistema fue de 740 W
La potencia generada por los paneles 880 W

$$\eta = \frac{740\ W}{880\ W} = 0.84$$

La eficiencia del sistema es de 84%.

**OE2. Determinar el comportamiento del sistema de bombeo solar fotovoltaico y la comparación de los resultados con la opción conectado a red.**

Como se conoció la comunidad El limón cuenta con el sistema conectado a la red, lo que lo hace un sistema hibrido, por lo tanto, en este objetivo compararemos el funcionamiento de la conexión red y fotovoltaica ya evaluada en el objetivo número uno de la investigación.

Con la radiación promedio de Nicaragua de acuerdo a su ubicación es de=5.49 kWh/m$^2$/d se tiene un tiempo estimado de bombeo de 5 horas y media. Haciendo uso de energía brindada por la generación de los paneles solares fotovoltaicos se obtuvo que el agua obtenida en este tiempo es aproximadamente de $1.18\,m^3 * 5.5\,h = 6.49\,m^3$ por día. Con los datos anuales el volumen diario demandado es de $= 18m^3$.

Con el volumen diario bombeado mediante la utilización de la energía obtenida mediante los paneles el volumen mensual promedio es de $6.49m^3 * 30 = 194.7m^3$ los cuales representan un 35.9% del volumen promedio, el 64.1% restante es bombeado por la utilización de la energía de la red.

Con una capacidad de extracción de 1.5m$^3$/h, por medio la utilización de energía de la red de distribución, mediante los cálculos realizados aprovechando la energía solar se obtiene un volumen 6.49m$^3$

Los 11.51m$^3$ restantes se extraen en $11.51m^3/\frac{1.5m^3}{h} = 7.67h$ están son las horas necesarias promedio de bombeo mediante la utilización de energía de la red.

| **Consumo promedio 2016 (m$^3$)** | **Radiación promedio (kWh/m$^2$/d)** | **Energia consumida (kW/h)** | **Agua bombeada por energía solar (m$^3$).** |
|---|---|---|---|
| 542.86 | 5.49 | 240 | 194.7 |

**Tabla 2.** Consumos promedios.
**Fuente:** Elaboración propia.

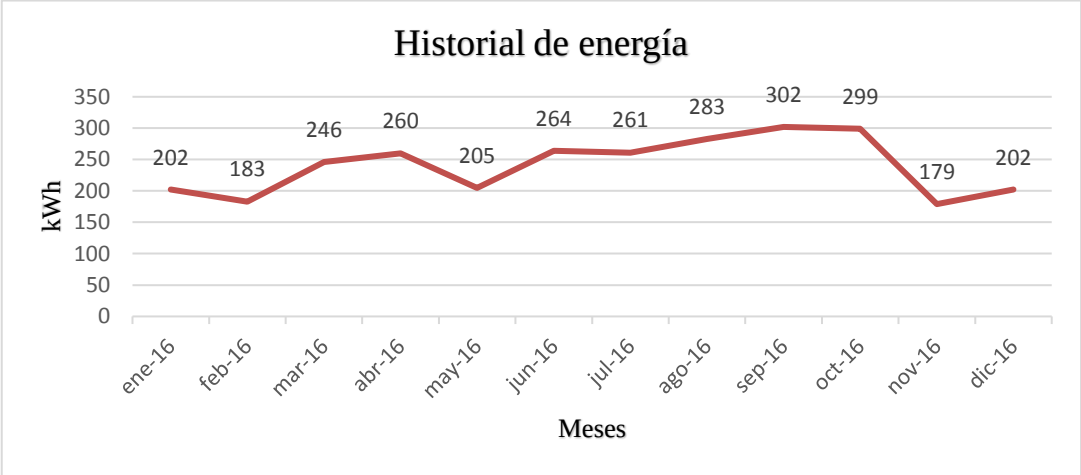



**Grafico 4.** Historial de consumo de energía.
**Fuente:** Elaboración propia – programa Excel 2016.

En el grafico anterior se muestra el historial del consumo eléctrico del año 2016 teniendo como promedio de consumo de 240 kWh al mes, esta es la necesaria para poder bombear el 64.1% de agua que no es abastecido por el sistema solar, en el tiempo de verano. Porque en invierno este pasa a cubrir prácticamente el 100% de la demanda de agua diaria.

Al realizarse las mediciones en el caudalimetro colocado a la salida de la bomba se pudo medir que con arreglo de paneles que le brinda una inyección de 0.74 kW de potencia teniendo un caudal de 1.18 $m^3$/h. el cual es insuficiente por la demanda diaria que se tiene que es de 18 $m^3$. Con la capacidad de extracción según la potencia inyectada está en su rango de trabajo óptimo. Según los datos técnicos del fabricante se debería obtener alrededor de 2.4 $m^3$/h, pero con una potencia inyectada de 1.4 kW, es importante mencionar que la potencia suministrada por la distribuidora DISNORTE es de 1 kW, por lo tanto, no se llegara a obtener lo que el fabricante indica.

Ya se ha mencionado que la demanda diaria es de 18 $m^3$, los cuales con esta capacidad de extracción no son satisfechos. Debido que para poder cubrir la demanda de agua con esta capacidad de extracción sería necesario de disponer con 15.25 horas sol, las cuales son imposible de obtener. Ni aun trabajando a su máxima capacidad de extracción, dependiendo

de la radiación promedio de su ubicación no será capaz de cubrir la demanda, porque si la bomba pudiera extraer los 2.4 $m^3$/h por 5.5 horas sol este daría 13.2 $m^3$ de agua bombeada. Por ende, no se cubre la demanda diaria de 18$m^3$ lo que hizo necesario que el sistema se conectara a la red y pasara a ser hibrido.

Se pudo analizar que el sistema hibrido si cubre la demanda de agua de la comunidad, pero haciendo uso de la opción conectado a red, más que la energía solar fotovoltaica. La demanda ha superado con creces a la capacidad de bombeo del sistema fotovoltaico, relegando este a un segundo plano a la hora de satisfacer las necesidades de agua de la comunidad. En este caso la función fundamental del sistema de generación de energía por medio del arreglo de paneles solares no es mas de reducir el consumo de energía, sumándole a ello el impacto económico que trae a la comunidad.

**OE3. Valorar la percepción de los usuarios con respecto al impacto del sistema y la aplicación de tecnologías alternativas.**

Inicialmente se elaboró la encuesta con una serie de preguntas que incluye variables paramétricas y no paramétricas, estas fueron aplicadas personalmente y quienes respondieron fueron 28 personas residentes de la comunidad, luego se procedió a elaborar base de datos para incorporarlos al programa SPSS para su posterior análisis estadístico de los resultados obtenidos, siendo estos: análisis descriptivos y análisis de contingencias.

**Para una mejor comprensión se realizó un Análisis estadísticos descriptivo a variables cuantitativas continuas o discretas para la variable edad.**

Según la encuesta realizada a 28 personas de la comunidad El Limón, se determina que el 54% de los encuestados comprende las edades de 19 a 37 años de edad, y el 46% restante corresponde a la edad de 37 años en adelante.

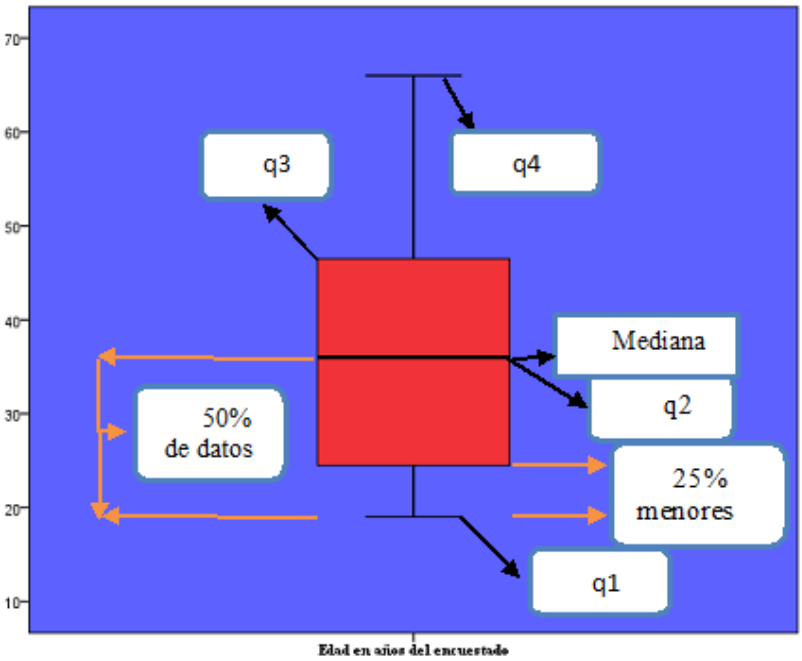



**Grafico 5.** Edad de los encuestados
**Fuente:** Elaboración propia – programa Excel 2016.

El rango intercuartílico corresponde a q1-q3 y la mediana indica la medida de tendencia central.

**Análisis de Frecuencia de variables Cualitativas Nominales y Ordinales:**

La tabla 3 muestra que el 25% refiere tener un nivel académico universitario, el 3.6% que no sabe leer ni escribir, 1 persona de las encuestadas no alcanzo ningún nivel académico según las opciones presentadas en la encuesta.

| Nivel académico, grado más alto que aprobó | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | Ninguno | 1 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| | Primaria | 7 | 25.0 | 25.0 | 28.6 |
| | Secundaria | 11 | 39.3 | 39.3 | 67.9 |
| | Técnico Superior | 2 | 7.1 | 7.1 | 75.0 |
| | Universitario | 7 | 25.0 | 25.0 | 100.0 |
| | Total | 28 | 100.0 | 100.0 | |

**Tabla 3.** Nivel académico de los encuestados.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

Estos datos también se ven reflejados en el siguiente grafico en donde se puede observar que la mayoría de los encuestados fueron con nivel académico aprobado de secundaria seguido de los universitarios. También se observa que dos personas alcanzaron el técnico superior.

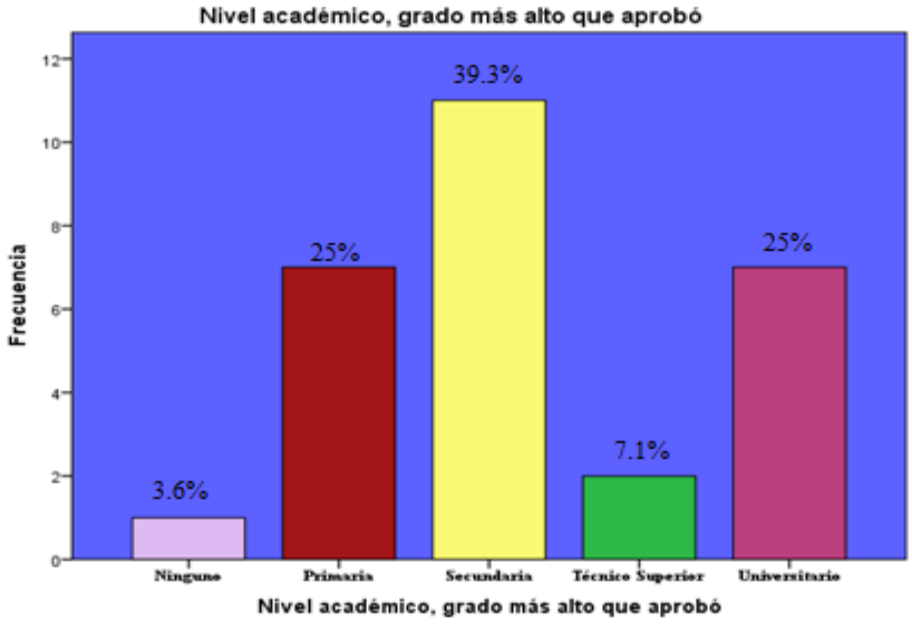



**Grafico 6.** Nivel académico de los encuestados.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

## Análisis de frecuencia y gráfico de variables Cualitativas Nominales y Ordinales

| ¿Qué grado de satisfacción tiene Ud. con relación al Servicio de Distribución de agua potable de su comunidad? | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | Muy insatisfecho | 1 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| | Insatisfecho | 1 | 3.6 | 3.6 | 7.1 |
| | Satisfecho | 20 | 71.4 | 71.4 | 78.6 |
| | Muy satisfecho | 6 | 21.4 | 21.4 | 100.0 |
| | Total | 28 | 100.0 | 100.0 | |

**Tabla 4.** Grado de satisfacción con relación al servicio de agua potable de la comunidad.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

El resultado es sumamente interesante partiendo de las opciones que se les daba a los encuestados, con los resultados se puede decir que el nivel de satisfacción real es de 92.2% considerándose satisfactorio en cuanto al servicio de distribución de agua en su comunidad. En el siguiente gráfico se refleja estos datos, además también se puede observar que un 3.6% de los usuarios están insatisfechos con el servicio.

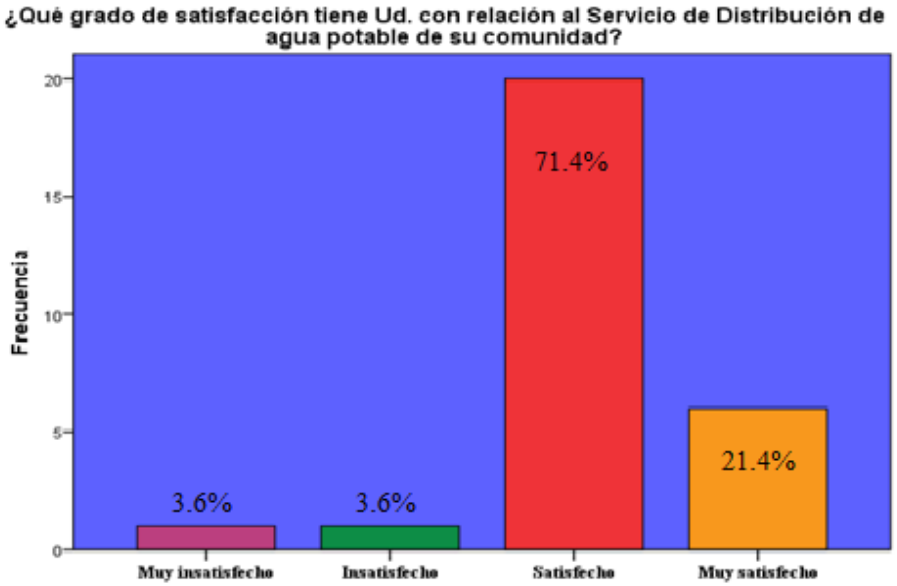



**Grafico 7.** Grado de satisfacción en cuanto al servicio de distribución de agua potable comunitario.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

| ¿Cómo valora el mantenimiento que se realiza al sistema de agua potable de su comunidad? | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | Malo | 2 | 7.1 | 7.1 | 7.1 |
| | Regular | 2 | 7.1 | 7.1 | 14.3 |
| | Bueno | 17 | 60.7 | 60.7 | 75.0 |
| | Excelente | 7 | 25.0 | 25.0 | 100.0 |
| | Total | 28 | 100.0 | 100.0 | |

**Tabla 5.** Valoración del mantenimiento de agua potable de la comunidad.
**Fuente:** Elaboración propia.

La mayoría de las personas de la comunidad es decir el 60.7% valora como bueno el mantenimiento que se le da al sistema de bombeo de agua hibrido. Dos personas lo consideran malo.

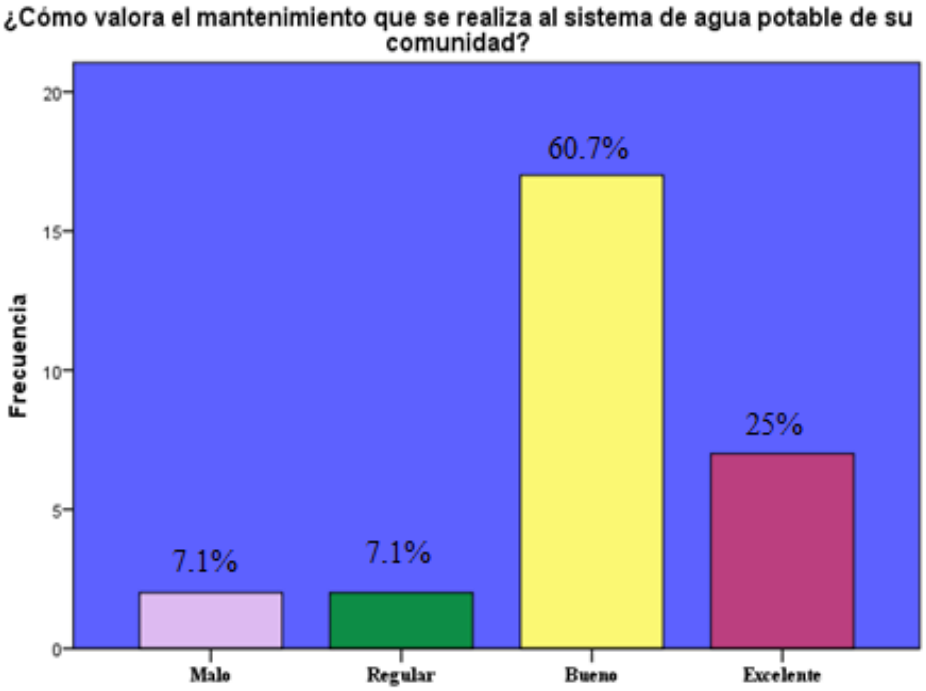



**Grafico 8.** Valoración del mantenimiento de agua potable en la comunidad.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

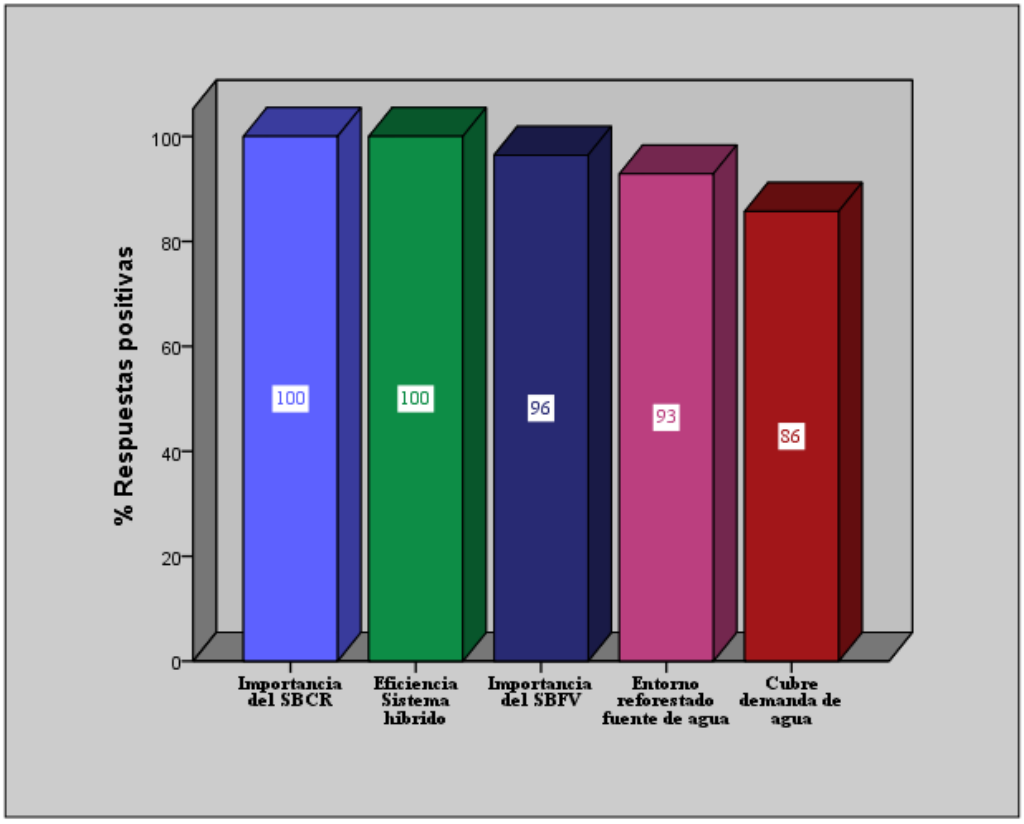



**Grafico 9.** Respuestas positivas.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

En general se puede decir que el 100% de los sujetos encuestados manifiesta estar de acuerdo en la importancia de tener un sistema de bombeo conectado a la red, así mismo la eficiencia del sistema del sistema hibrido lo que representa una respuesta positiva junto con la de bombeo solar fotovoltaico. No así la que cubre la demanda, esta es la respuesta más cercana a negativo. Este es un análisis multivariado que agrupa cinco variables

Un aspecto muy importante que se tomó en cuenta y que se puede ver relejado en el grafico es si las personas encuestadas sabían si el área que rodea la fuente agua estaba reforestada, positivamente el 93 % manifestó que esta área sí.

## Análisis de Contingencia mediante el SPSS

## La prueba del Ji cuadrado

| Tiempo de vivir en la comunidad*¿Considera importante que exista un Sistema de bombeo de agua a través de energía solar fotovoltaica? tabulación cruzada | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ¿Considera importante que exista un Sistema de bombeo de agua a través de energía solar fotovoltaica? | | |
| | | | Si | No | Total |
| Tiempo de vivir en la comunidad | 1 | Recuento | 3 | 0 | 3 |
| | | % del total | 10.7% | 0.0% | 10.7% |
| | 3 | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | | % del total | 7.1% | 0.0% | 7.1% |
| | 6 | Recuento | 0 | 1 | 1 |
| | | % del total | 0.0% | 3.6% | 3.6% |
| | 9 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 10 | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | | % del total | 7.1% | 0.0% | 7.1% |
| | 14 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 18 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 20 | Recuento | 3 | 0 | 3 |
| | | % del total | 10.7% | 0.0% | 10.7% |
| | 23 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 24 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 25 | Recuento | 3 | 0 | 3 |
| | | % del total | 10.7% | 0.0% | 10.7% |
| | 28 | Recuento | 2 | 0 | 2 |
| | | % del total | 7.1% | 0.0% | 7.1% |
| | 31 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 34 | Recuento | 1 | 0 | 1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 38 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 41 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 42 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 48 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| | 50 | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| Total | | Recuento | 27 | 1 | 28 |
| | | % del total | 96.4% | 3.6% | 100.0% |
| | | | | | |

**Tabla 6.** Tiempo de vivir en la comunidad y la importancia del SVSF
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

| Pruebas de chi-cuadrado | | | |
|---|---|---|---|
| | Valor | Gl | Sig. asintótica (2 caras) |
| Chi-cuadrado de Pearson | 28.000[a] | 18 | **.062** |
| Razón de verosimilitud | 8.628 | 18 | .968 |
| Asociación lineal por lineal | 1.170 | 1 | .279 |
| N de casos válidos | 28 | | |
| a. 38 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .04. | | | |

El diagnóstico realizado mediante la prueba Ji cuadrado aporta evidencias en este caso de un **p=0,062** el cual resulta mayor al nivel crítico de comparación o nivel crítico de significancia previamente establecido de un **α=0,05**, esto quiere decir que la respuesta estadística no es significativa y por lo tanto existe independencia de factores o variables de estudio: Tiempo de vivir en la comunidad con importancia del sistema solar fotovoltaico.

Haciendo referencia a la pregunta sobre la importancia el sistema solar fotovoltaico se puede observar que el 94.4 % considera importante el funcionamiento de este sistema por medio de la tecnología fotovoltaica.

**La prueba de Correlación de Spearman, (para Variables de categorías).**

| ¿Cómo valora el mantenimiento que se realiza al sistema de agua potable de su comunidad? *¿Qué grado de satisfacción tiene Ud. con relación al Servicio de Distribución de agua potable de su comunidad? tabulación cruzada | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ¿Qué grado de satisfacción tiene Ud. con relación al Servicio de Distribución de agua potable de su comunidad? | | | | Total |
| | | | Muy insatisfecho | Insatisfecho | Satisfecho | Muy satisfecho | |
| ¿Cómo valora el mantenimiento que se realiza al sistema de agua potable de su comunidad? | Malo | Recuento | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| | | % del total | 0.0% | 0.0% | 7.1% | 0.0% | 7.1% |
| | Regular | Recuento | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% | 0.0% | 7.1% |
| | Bueno | Recuento | 0 | 0 | 13 | 4 | 17 |
| | | % del total | 0.0% | 0.0% | 46.4% | 14.3% | 60.7% |
| | Excelente | Recuento | 0 | 1 | 4 | 2 | 7 |
| | | % del total | 0.0% | 3.6% | 14.3% | 7.1% | 25.0% |
| Total | | Recuento | 1 | 1 | 20 | 6 | 28 |
| | | % del total | 3.6% | 3.6% | 71.4% | 21.4% | 100.0% |

**Tabla 7.** Valoración del mantenimiento del sistema, y el grado de satisfacción del mismo. (Tabulación cuadrada)
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

| Medidas simétricas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Valor | Error estándar asintótico | Aprox. S[b] | Aprox. Sig. |
| Intervalo por intervalo | R de persona | .215 | .168 | 1.122 | .272[c] |
| Ordinal por ordinal | Correlación de Spearman | .167 | .206 | .866 | **.394[c]** |
| N de casos válidos | | 28 | | | |
| a. No se supone la hipótesis nula. | | | | | |
| b. Utilización del error estándar asintótico que asume la hipótesis nula. | | | | | |
| c. Se basa en aproximación normal. | | | | | |

La prueba realizada de correlación de Spearman para variables de categoría con el valor obtenido de **p=0,394**, el cual resulta ser mayor que el nivel crítico de comparación o nivel de significancia previamente establecido de un **α=0,05**, con la prueba realizada se obtiene respuesta estadística no significativa lo cual demuestra que no existe correlación de significancia entre la valoración del mantenimiento del sistema y el grado de satisfacción de distribución de agua en la comunidad.

**La prueba de *Phi*, (para Variables Dicotómicas).**

| Sabe leer y escribir*¿Considera importante que exista un Sistema de bombeo de agua a través de energía solar fotovoltaica? tabulación cruzada | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | ¿Considera importante que exista un Sistema de bombeo de agua a través de energía solar fotovoltaica? | | |
| | | | Si | No | Total |
| Sabe leer y escribir | Si | Recuento | 26 | 1 | 27 |
| | | % del total | 92.9% | 3.6% | 96.4% |
| | No | Recuento | 1 | 0 | 1 |
| | | % del total | 3.6% | 0.0% | 3.6% |
| Total | | Recuento | 27 | 1 | 28 |
| | | % del total | 96.4% | 3.6% | 100.0% |

**Tabla 8.** Tabulación cruzada, importancia del SVSF y sabe leer y escribir.
**Fuente:** Elaboración propia – programa SPSS.

| Medidas simétricas | | | |
|---|---|---|---|
| | | Valor | Aprox. Sig. |
| Nominal por Nominal | **Phi** | -.037 | **.845** |
| | V de Cramer | .037 | .845 |
| N de casos válidos | | 28 | |

La prueba realizada de Phi con el valor obtenido de **p=0,845**, el cual resulta ser mayor que el nivel crítico de comparación o nivel de significancia previamente establecido de un **α=0,05**, con la prueba realizada se obtiene respuesta estadística no significativa lo cual demuestra que no existe asociación entre los factores de, que, si la persona sabe leer, escribir y la importancia de un sistema de bombeo solar fotovoltaico.

# CAPITULO VII. CONCLUSIONES

Por medio de la evaluación de los parámetros de funcionamiento del sistema hibrido de bombeo de agua, implementado en la comunidad el Limón, Estelí- Nicaragua podemos concluir que:

La demanda ha superado con creces a la capacidad de bombeo del sistema fotovoltaico a la hora de satisfacer las necesidades de agua de la comunidad. Por ello surgió la necesidad de conectar el sistema de bombeo a la red, que inicialmente solo funcionaba con la energía obtenida por medio de paneles solares.

El sistema hibrido si cubre la demanda de agua de la comunidad, pero haciendo uso de la opción conectado a red más que la energía solar fotovoltaica. En este caso la función fundamental del sistema de generación de energía por medio del arreglo de paneles solares no es mas de reducir el consumo de energía, sumándole a ello el impacto económico que trae a la comunidad.

La investigación permitió, conocer el nivel de percepción de los usuarios del sistema de abastecimiento de agua en esta comunidad, a través de la implementación de una encuesta y su posterior análisis en el programa SPSS y correlación de las variables en el mismo, la gran mayoría de las personas expresaron efectivamente que el sistema de bombeo por medio de la alimentación fotovoltaica es de gran importancia, y que además es una tecnología alternativa con la que la comunidad El Limón cuenta.

También los encuestados valoraron en un 100% la importancia de que este sistema sea híbrido ya que ahora si se cubre la demanda de agua diaria de la comunidad en cualquier época del año.

# CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES

En función de los resultados obtenidos y las colusiones formuladas, se plantean las siguientes recomendaciones, dirigidas a los usuarios del sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red, por medio de los directivos de la comunidad en este caso el CAPS, interesados en mejorar el sistema de abastecimiento de agua.

1. Mejorar o garantizar la aplicación del reglamento que inicialmente fue elaborado en cuanto al ahorro del agua para beneficio de ellos.

2. Rotar a la persona encargada de realizar los cambios de energía solar FV a red, para así aprovechar más las horas sol disponibles, específicamente cuando el encargado se encuentre fuera de la comunidad.

3. Mayor control del consumo del agua.

4. Revisar el nivel del pozo una vez al mes.

5. Controlar el nivel del agua de la pila para que la pila de almacenamiento contenga agua en caso de emergencia y para que las personas que están más alejadas tengan el servicio de agua de forma constante.

6. Gestionar la extracción de la bomba para adicionar al menos 3m de tubería de columna para evitar futuros daños en el motor.

7. Elaborar un plan comunitario por cualquier problema que pueda ocurrir, ya sea un mantenimiento preventivo o correctivo el cual incurrían en gastos.

# BIBLIOGRAFIA


Barrau, J. (2009). Master en energía prar el desarrollo sostenible. En J. Barrau, *Energía solar fotovoltaica* (pág. 200). Catalunya: Fundación Politécnica de Catalunya.

Canales , F. H., Alvarado, E. L., & Pineda, E. B. (1998). *Metodologia de la investigacion.* Mexico DF: LIMUSA, S.A.

Cassals, M. R. (2008). *Evaluación de Recursos Energéticos Renovables* (Segunda Edición 2008 ed.). Catalunya, Barcelona, España: Elisabet Amat, Asthriesslav Rocuts.

Cervantes Herrejon , J. (2009). *Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaico.* Tesis de maestria en ciencias en energia electronica , Cuernavaca.

Chinchilla, M. (2015). *Abastecimiento de Agua- Bombeo Solar Fotovoltaico.* Madrid.

*Energia Solar Fotovoltaica*. (s.f.). Recuperado el 2 de AGOSTO de 2016, de http://www.magrensas.com/energia-solar-fotovoltaica/

Fernandez Salgado, J. M. (2010). *Compendio de Energia Solar: Fotovoltaica, Termica y Termoeléctrica .* Madrid: Ediciones MUNDI PRENSA.

*Funcionamiento de los sistemas de bombeo solar .* (2016). Obtenido de http://www.rebibir.org/informacion-detallada/31-funcionamiento-sistema-bombeo-solar-directo.html. (s.f.). Recuperado el 2016.

Gasquet, H. (2006). *Conversión de la Energía Solar Fotovoltaica en Energía Eléctrica.* Mexico, DF: Print Mexico.

Joseph B. Franzini, E. J. (1999). *Mecánica de Fluidos con aplicaciones en ingeniería* (Novena Edición ed.). (C. F. Madrid, Ed.) Madrid, España: Impresos y Revistas, S.A. (IMPRESA).

Lorentz. (15 de Agosto de 2016). *Lorentz: Aplicaciones de agua potable*. Obtenido de https://www.lorentz.de/es/aplicaciones/agua-potable.html

Meah, K., Ula, S., & Barrett, S. (2006). Solar photovoltaic water pumping—opportunities. *ELSEVIER*, 14.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (Sexta edición ed.). Ciudad Juárez, México: PEARSON Educación.

Muñoz Abella, B. M. (2014). *Mantenimiento Industrial. Docencia Universidad UC3M.*

*Nivel dinamico -estatico del agua*. (2016). Obtenido de https://books.google.com.ni/books?id=aaM_vpBzDdMC&pg=PA116&dq=nivel+dinamico+del+agua&hl=es-

OMS. (2016). Obtenido de http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/es/.

Paneles Solares Flexibles. (15 de Agosto de 2011). TECNOSOL. *TECNOSOL Energia en sus manos* , 1. Obtenido de http://es.engadget.com/2009/06/05/xunlight-logra-crear-paneles-solares-flexibles-de-gran-tamano/

Posorky, R. (1996). "Photovoltaic water pumps, an attractive tool for rural drinking water supply". *Solar Energy, 58*, 155-163.

Sandia National Laboratories (SNL). (2001). Guia para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de agua con Energía Fotolvoltaica . *1*, 36.

Sitio solar. (15 de Agosto de 2016). *Paneles solares fotovoltaicos*. Obtenido de http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/

TECNOSOL. (2011). *TECNOSOL Energuia en sus manos*, 1.

Tipos de paneles. (15 de Agosto de 2016). *Energía solar ventajas y desventajas*. Obtenido de http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2014/07/24/tipos-de-paneles-solares-ventajas-y-desventajas/

udep, B. (2001). *http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/libro/pdf/1_48_204_13_360.pdf.*

Vicente González, E. V. (2009). *Componentes del sistema fotovoltaico, Energía Solar Fotovoltaica.* Catalunya, Barcelona, España: Asthriesslav Rocuts, Elisabet Amat.

# ANEXOS

***Anexo 1.*** Formato de registro para la evaluación paramétrica.

| **FORMATO DE REGISTRO** | | | |
|---|---|---|---|
| **FECHA:** | | | |
| **MEDICION DE VARIABLES** | | | |
| **TIEMPO** | **RADIACION SOLAR ($W/m^2$)** | **POTENCIA KW** | **CAUDAL $m^3$** |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

***Anexo 2.*** Encuesta aplicada a los usuarios del sistema.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA**
**UNAN-MANAGUA**
**FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA DE ESTELÍ**
**FAREM- ESTELÍ**

# Encuesta para usuarios del Sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red en la comunidad El Limón.

## INTRODUCCIÓN

El siguiente instrumento (encuesta), tiene como fin conocer aspectos relacionados con la percepción que usted tiene sobre Sistema de Bombeo hibrido de la comunidad El Limón. Por lo que de la manera más atenta se le solicita por favor responder de forma objetiva a cada una de las preguntas que se le realizan dado que son de mucha importancia para el análisis de nuestro estudio.

## I. DATOS GENERALES

1.1. Fecha de encuesta: ____/____/____
1.2.Sexo: Hombre ( ); Mujer ( )
1.3.Edad: _____ (años)
1.4.Tiempo de vivir en la comunidad: _____(años)
1.5.Sabe leer y escribir: Si ( ); No ( )
1.6.Cuál es su nivel académico grado más alto que aprobó:
Ninguno ( ); alfabetizado y/o Educación de adultos ( ) ; Primaria ( ) ; Secundaria ( ); Técnico medio ( ); Técnico superior ( ) ; Universitario ( ).
1.9. Ocupación: 1. Agricultor: ___; 2. Comerciante: ___; 3. Estatal: __; 4. Ama de casa: ___; Otro (especifique)

## ASPECTOS RELACIONADOS AL SISTEMA DE BOMBEO COMUNITARIO.

1. ¿Cuantas horas al día cuenta con el servicio de agua?
   Horas ____

2. ¿Cuánto es su consumo de agua en $m^3$?
   ____ $m^3$

3. ¿Qué grado de satisfacción tiene usted con relación al servicio de distribución de agua potable de su comunidad?

1. Muy insatisfecho: ___
2. Insatisfecho: ___
3. Satisfecho: ___
4. Muy satisfecho:___

4. ¿Cómo considera usted la calidad del agua del sistema?

1. Malo: ___
2. Regular: ___
3. Bueno: ___
4. Excelente: ___

5. ¿Cómo valora el mantenimiento que se realiza al sistema de agua potable de su comunidad?

1. Malo: ___
2. Regular: ___
3. Bueno___
4. Excelente: ___

6. ¿Considera importante que exista un sistema de bombeo de agua a través de energía solar fotovoltaica?

1. Si: ____
2. No: ____

7. ¿Considera usted que es importante la conexión del sistema de bombeo conectado a la red de distribución?

1. Si: ___
2. No: ___

8. ¿Cree que este sistema trabaja de manera más eficiente al ser hibrido?

1. Si: ___
2. No: ___

9. ¿Conoce usted si el entorno donde está la fuente de agua de bombeo fotovoltaico esta reforestado?

1. Si___
2. No___

10. ¿Este sistema cubre su demanda de agua diaria?

1. Si___
2. No___

***Anexo 3.*** Datos técnicos del sistema de bombeo solar fotovoltaico conectado a red.

**DATOS TECNICOS**

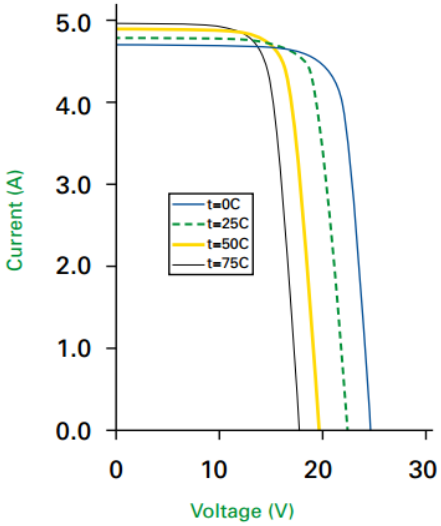
***Sistema fotovoltaico***

**11 paneles BP SOLAR BP380U**

Silicio policristalino (36 células por módulo)

| | |
|---|---|
| Pmax | 80 W |
| Vpmax | 17.6 V |
| Voc | 22.1 V |
| Ipmax | 4.55 A |
| Isc | 4.8 A |
| Certificación | IEC 61215 |

Vmax Sistema = 1000 V




**Conexión del arreglo =** 2 líneas en paralelo de 3 y 4 paneles en serie **(3/4S2P)**

**Figura 12.** Placa caracteristica de los paneles solares instalados.

**Figura 13.** Lugar donde está ubicado el arreglo de paneles solares.

***Pozo***

Profundidad del pozo = 54.86 m.

Profundidad de instalación de la bomba = 30 m.

Diferencia de altura entre pozo y pila = 28 m.

Diámetro del pozo = 0.1016 m. (4 pulgadas)

Nivel estático y dinámico

| FECHA | 10 – 2016 |
|---|---|
| NEA | 24.2 m. |
| NDA | 26.6 m. |

***Pila de almacenamiento***

Volumen de la pila = 15.3 m3 (2.7x2.7x2.1)

Altura de vertido del agua = 2.2 m

Nivel de llenado = 16.25 cm (1.2 $m^3$)

Sistema de cloración instalado

***Bomba***

Modelo = **Grundfos 11SQF-2**

Alimentación = 90 – 240 V (AC); 30 – 300 V (DC)

Motor = MSF3 (trabaja con voltaje variable)

Potencia = 1.4 kW (1.87 Hp)

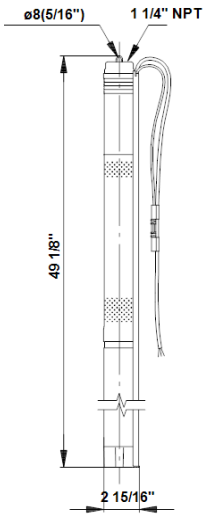



**Figura 14.** Esquema de la bomba

### *Controlador*

Modelo = **Grundfos CU 200** (instalado en el soporte del arreglo FV)

Características:

Regula condiciones de funcionamiento de la bomba. Muestra potencia y errores en pantalla (funcionamiento en seco, sobrecarga, etc.). Compatible con sensor de llenado de tanque. Se comunica con la bomba a través del cable que proporciona energía (Power Line Communication)

**Figura 15.** Controlador

Parámetros eléctricos

| | |
|---|---|
| Consumo de Potencia | 5 W |
| Tensión nominal AC | 90 – 240 V (8.4 A) |
| Tensión nominal DC | 30 – 300 V (8.4 A) |
| Protección (IEC 34-59 | IP55 |
| Fusible de reserva | 10 A |
| Carga máxima | 100 mA |

**Conexión a red del sistema**

El sistema cuenta con una conexión alternativa al arreglo de paneles fotovoltaicos. A principios de 2015 se realizó la instalación de una conexión de respaldo a la red eléctrica comercial. La conexión se realiza de forma manual a través de un conmutador, como se puede apreciar en la imagen

**Figura 16.** Conexión alternativa del sistema.

Parámetros eléctricos

| | | |
|---|---|---|
| Tensión nominal AC | 230 V 50/60 Hz | 115 V 50/60 Hz |
| Tensión máximal AC | 255 V (8.4 A) | 125 V (8.4 A) |
| Tensión máxima DC | 255 V (8.4 A) | 255 V (8.4 A) |

Protección (IEC 34-59) = IP55

***Conmutador de Backup***

Modelo **Grundfos IO 101**

Características:

Conmutador manual para conexión de un sistema de generación auxiliar. En caso que el generador deje de funcionar el conmutador reconecta automáticamente el arreglo de paneles fotovoltaicos.

**Figura 17.** Conmutador.

Parámetros eléctricos

| | | |
|---|---|---|
| Tensión nominal AC | 230 V 50/60 Hz | 115 V 50/60 Hz |
| Tensión máximal AC | 255 V (8.4 A) | 125 V (8.4 A) |
| Tensión máxima DC | 255 V (8.4 A) | 255 V (8.4 A) |

Protección (IEC 34-59) = IP55

***Anexo 4.*** Tabla de radiación solar tomada del sitio web de la NASA.

| **Month** | **Air temperature** | **Relative humidity** | **Daily solar radiation - horizontal** | **Atmospheric pressure** | **Wind speed** | **Earth temperature** | **Heating degree-days** | **Cooling degree-days** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | °C | % | kWh/m$^2$/d | KPa | m/s | °C | °C-d | °C-d |
| January | 25.4 | 68.2% | 5.40 | 101.3 | 6.5 | 26.9 | 0 | 478 |
| February | 25.1 | 72.3% | 6.31 | 101.3 | 5.1 | 27.0 | 0 | 427 |
| March | 25.9 | 74.3% | 7.07 | 101.1 | 3.7 | 28.1 | 0 | 492 |
| April | 27.5 | 75.7% | 7.13 | 100.9 | 3.8 | 29.7 | 0 | 526 |
| May | 28.4 | 78.7% | 6.19 | 100.6 | 5.4 | 30.1 | 0 | 571 |
| June | 28.6 | 80.1% | 4.97 | 100.4 | 8.1 | 29.6 | 0 | 557 |
| July | 28.0 | 80.9% | 4.70 | 100.5 | 7.7 | 28.9 | 0 | 557 |
| August | 27.9 | 81.5% | 4.64 | 100.5 | 7.7 | 28.6 | 0 | 553 |
| September | 27.5 | 81.8% | 5.11 | 100.7 | 5.8 | 28.8 | 0 | 524 |
| October | 27.2 | 80.6% | 5.00 | 100.9 | 4.4 | 29.1 | 0 | 534 |
| November | 27.4 | 73.6% | 4.54 | 101.1 | 6.0 | 28.6 | 0 | 522 |
| December | 26.7 | 67.2% | 4.83 | 101.3 | 6.8 | 27.6 | 0 | 518 |
| **Annual** | 27.1 | 76.2% | 5.49 | 100.9 | 5.9 | 28.6 | 0 | 6259 |
| Measured at (m) | | | | | 10.0 | 0.0 | | |

## *Anexo 5.* Base de datos SPSS

Archivo Edición Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

Visible: 16 de 16 variables

| | sexo | edad | tiemcomuni | leeyescri | nivelacad | ocupacion | sbcsatisfacc1 | sbcenersol2 | sbchoras5 | sbcconsu6 | sbcmante12 | maentorno1 | sishibrido1 | higicalid1 | estesiste | impored | var |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Mujer | 50 | 34 | Si | Primaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 14 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 2 | Mujer | 49 | 20 | Si | Primaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 12 | Exc... | Si | Si | Excelente | no | si | |
| 3 | Mujer | 24 | 1 | Si | Universitario | Estudiante | Buena | Si | 24.00 | 10 | Malo | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 4 | Mujer | 38 | 38 | Si | Universitario | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 12 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 5 | Mujer | 66 | 48 | Si | Primaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 15 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 6 | Hombre | 47 | 41 | Si | Primaria | Agricultor | Excelente | Si | 24.00 | 8 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 7 | Mujer | 24 | 24 | Si | Secundaria | Ama de casa | Excelente | Si | 24.00 | 6 | Bueno | Si | Si | Regular | si | si | |
| 8 | Mujer | 23 | 9 | Si | Secundaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 9 | Bueno | Si | Si | Bueno | si | si | |
| 9 | Mujer | 35 | 10 | Si | Técnico Su... | Estatal | Buena | Si | 24.00 | 4 | Malo | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 10 | Mujer | 46 | 18 | Si | Secundaria | Ama de casa | Excelente | Si | 24.00 | 32 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 11 | Mujer | 37 | 3 | Si | Secundaria | Ama de casa | Mala | Si | 24.00 | 10 | Reg... | No | Si | Excelente | si | si | |
| 12 | Mujer | 27 | 1 | Si | Secundaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 10 | Bueno | No | Si | Excelente | si | si | |
| 13 | Mujer | 19 | 1 | Si | Secundaria | Ama de casa | Excelente | Si | 24.00 | 7 | Exc... | Si | Si | Excelente | no | si | |
| 14 | Mujer | 35 | 6 | Si | Universitario | Estatal | Buena | No | 24.00 | 10 | Exc... | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 15 | Hombre | 38 | 20 | No | Ninguno | Agricultor | Buena | Si | 24.00 | 10 | Reg... | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 16 | Hombre | 56 | 28 | Si | Primaria | Agricultor | Buena | Si | 24.00 | 23 | Bueno | Si | Si | Regular | no | si | |
| 17 | Mujer | 42 | 42 | Si | Secundaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 7 | Bueno | Si | Si | Bueno | si | si | |
| 18 | Hombre | 60 | 25 | Si | Primaria | Agricultor | Regular | Si | 24.00 | 10 | Exc... | Si | Si | Excelente | no | si | |
| 19 | Mujer | 25 | 25 | Si | Universitario | Estudiante | Buena | Si | 24.00 | 10 | Bueno | Si | Si | Bueno | si | si | |
| 20 | Hombre | 20 | 14 | Si | Universitario | Estudiante | Buena | Si | 24.00 | 12 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 21 | Mujer | 20 | 10 | Si | Secundaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 10 | Bueno | Si | Si | Excelente | si | si | |
| 22 | Mujer | 39 | 3 | Si | Secundaria | Ama de casa | Buena | Si | 24.00 | 23 | Bueno | Si | Si | Regular | si | si | |

Vista de datos | Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo

Archivo Edición Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

| | Nombre | Tipo | Anchura | Decimales | Etiqueta | Valores | Perdidos | Columnas | Alineación | Medida | Rol |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | sexo | Numérico | 1 | 0 | Sexo del encue... | {1, Hombre}... | 3 - 9, 0 | 9 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 2 | edad | Numérico | 2 | 0 | Edad en años d... | Ninguna | 99 | 8 | Derecha | Escala | Entrada |
| 3 | tiemcomuni | Numérico | 2 | 0 | Tiempo de vivir ... | Ninguna | Ninguna | 6 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 4 | leeyescri | Numérico | 1 | 0 | Sabe leer y esc... | {1, Si}... | 3 - 9, 0 | 4 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 5 | nivelacad | Numérico | 1 | 0 | Nivel académic... | {1, Ninguno}... | 8 - 9, 0 | 8 | Derecha | Ordinal | Entrada |
| 6 | ocupacion | Numérico | 1 | 0 | Ocupación del ... | {1, Agriculto... | 7 - 9, 0 | 9 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 7 | sbcsatisfacc1 | Numérico | 1 | 0 | ¿Qué grado de ... | {1, Mala}... | 6 - 9, 0 | 12 | Derecha | Ordinal | Entrada |
| 8 | sbcenersol2 | Numérico | 1 | 0 | ¿Considera imp... | {1, Si}... | 3 - 9, 0 | 4 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 9 | sbchoras5 | Numérico | 4 | 2 | ¿Cuantas hora... | Ninguna | Ninguna | 4 | Derecha | Escala | Entrada |
| 10 | sbcconsu6 | Numérico | 4 | 0 | ¿Cuánto es su ... | Ninguna | Ninguna | 8 | Derecha | Escala | Entrada |
| 11 | sbcmante12 | Numérico | 1 | 0 | ¿Cómo valora e... | {1, Malo}... | 5 - 9, 0 | 4 | Derecha | Ordinal | Entrada |
| 12 | maentorno1 | Numérico | 1 | 0 | Conoce usted s... | {1, Si}... | 3 - 9, 0 | 9 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 13 | sishibrido1 | Numérico | 1 | 0 | Cree usted que... | {1, Si}... | 3 - 9, 0 | 8 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 14 | higicalid1 | Numérico | 1 | 0 | Como consider... | {1, Mala}... | 4 - 9, 0 | 8 | Derecha | Ordinal | Entrada |
| 15 | estesiste | Numérico | 1 | 0 | Este sistema c... | {1, si}... | 3 - 9, 0 | 8 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 16 | impored | Numérico | 1 | 0 | Considera impo... | {1, si}... | 3 - 9, 0 | 8 | Derecha | Nominal | Entrada |
| 17 | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | |

Vista de datos | Vista de variables

## *Anexo 5.* Fotos del trabajo de campo

**Figura 18.** Medición de la radiación solar

**Figura 19.** Medición de la radiación solar.

**Figura 20.** Pilotaje de la encuesta

**Figura 21.** Encuesta oficial.

***Anexo 6.*** Guía de observación

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA**
**UNAN-MANAGUA**
**FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA DE ESTELÍ**
**FAREM- ESTELÍ**

## GUÍA DE OBSERVACIÓN

**ELABORADO POR:** Harenia Maldonado Úbeda
Maykol Jarquín Lezcano

## ESTUDIO DE TESIS DE GRADO

### I. ASPECTOS GENERALES

**Fecha: _____**
**Comunidad: _____**
**Ubicación de la comunidad: _____**
**Nombre de la investigación: _____**
**Investigadores: _____**
**Institución y/o carrera: _____**
**Sujetos claves participantes: _____**

### II. ASPECTOS RELEVANTES

| |
|---|
| |

### III. DESCRIPCIÓN DE LOS ASPECTOS RELEVANTES

### 3.1 Datos técnicos

## IV. OBSERVACIONES

***Anexo 7.*** Nomenclaturas

## NOMENCLATURAS

| | |
|---|---|
| **AC:** | Corriente alterna |
| **CAPS:** | Comité de Agua Potable y Saneamiento |
| **CIER:** | Centro de investigación de Energías Renovables |
| **DC:** | Corriente directa |
| **DISNORTE:** | Empresa distribuidora de energía en Nicaragua |
| **E.S. Fv:** | Energía Solar Fotovoltaica |
| **FAREM:** | Facultad Regional Multidisciplinaria |
| **FV:** | Fotovoltaico |
| **IR:** | Infrarroja |
| **NDA:** | Nivel dinámico del agua |
| **NEA:** | Nivel estático del agua |
| **OMS**: | Organización Mundial de la Salud |
| **ONG:** | Organización No Gubernamental |
| **SBSFV:** | Sistema de bombeo solar fotovoltaico |