

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN MANAGUA**

**RECINTO UNIVERSITARIO “RUBÉN DARÍO” FACULTAD DE
CIENCIAS E INGENIERIA**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**
UNAN - MANAGUA

**Trabajo de seminario de graduación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica**

**TEMA: Propuesta de un sistema de Energía Fotovoltaico para consumo de agua potable
para la comunidad El Jocote, Masaya.**

Elaborado por:

- **Br. Indira Gabriela Palacios Suarez**
- **Br. Deyling Abner Gauna González**

Tutor:

MsC. Milciades Delgadillo

Índice

I. Resumen	10
II. Introducción	11
III. Justificación	13
IV. Objetivo general	14
Capítulo I.....	15
1. Fundamentos Teóricos	15
1.1 Radiación solar.....	15
1.2 Fuentes de energía	16
1.3 El generador fotovoltaico.....	16
1.4 Materiales de fabricación de celdas fotovoltaicas	17
1.5 El efecto fotovoltaico y la celda solar.....	19
1.6 Efectos de la intensidad luminosa y la temperatura	20
1.7 Montaje y orientación del arreglo fotovoltaico	21
1.8 Seguimiento del punto de máxima potencia.....	22
1.9 Paneles fotovoltaicos.....	23
1.10 Subsistema motor bomba.....	27
1.11 Motores	27
1.12 Bombas	29
1.13 Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaico	30
1.14 Bombas centrífugas.....	31
1.15 Bombas volumétricas	32
1.16 Bombas de cilindro	33

1.17 Bombas de diafragma	34
1.18 Aplicaciones recomendables para cada tipo de bomba	35
1.19 Infraestructura hidráulica	36
1.20 Almacenar en tanques, no en baterías.....	37
1.21 Bombeo fotovoltaico	38
1.22 Funcionamiento del sistema de bombeo solar	39
1.23 Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico.....	41
1.24 Condiciones hidráulicas.....	44
1.25 Subsistema de generación	48
1.26 Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico.....	49
Capitulo II.....	51
1. Descripción del lugar	51
2. Dimensionamiento del sistema de Bombeo Fotovoltáico.....	53
2.1 Cálculo del régimen de bombeo	56
2.2 Cálculo de la carga estática.	57
2.3 Cálculo del factor de pérdida en la tubería	58
2.4 Cálculo de carga dinámica	60
2.5 Cálculo de la carga dinámica total.....	61
2.6 Cálculo de energía eléctrica requerida	62
2.7 Cálculo de la potencia de la bomba	62
2.8 Evaluación de potencia requerida por el sistema de bombeo solar.	62
2.9 Cálculo del panel fotovoltaico.....	65
2.10 Cálculo de la batería.....	68
2.11 Cálculo de los conductores	71

2.12 Dimensionamiento de tanque.....	74
Capitulo III.....	76
3.1 Diagramas y esquemas del sistema.....	76
3.2 Diagrama de Tuberías.....	82
3.3 Diagrama Eléctrico	84
3.4 Consideración del impacto ambiental de la generación de energía fotovoltaica del sistema de bombeo en La comunidad del Jocote, Masaya	87
Conclusión:	89
Bibliografía	90
Recomendaciones	91
Anexos	92

Apéndice de Imágenes y diagramas

Fig. 1: Representación esquemática del efecto fotovoltaico	19
Fig. 2: corriente generada de la radiación	20
Fig. 3: Ruta operativa del seguimiento del PMP usando la técnica de perturbar y observar	23
Fig. 4: Efecto fotovoltaico	24
Fig. 5: célula solar	24
Fig. 6: Módulo solar	25
Fig. 7: Tensión de C.A y célula solar con carga	25
Fig. 8: corriente de cortocircuito	26
Fig. 9: Potencia máxima	26
Fig. 10: Bomba Centrifuga	31
Fig. 11: bombas centrifugas sumergibles	32
Fig. 12: Bombas volumétricas	33
Fig. 13: Bombas de diafragma	34
Fig. 14: Volumen bombeado	35
Fig. 15: Infraestructura Hidráulica	36
Fig. 16: Acoplamiento motor - bomba	39
Fig. 17: Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico	42
Fig. 18: Carga Estática	44
Fig. 19: (a) y 20 (b) curvas I-V	49

Fig. 20: Mapa solar de Nicaragua	51
Fig. 21: Comunidad el Jocote desde vista área satelital	52
Fig. 22: Mapa de Relieve	52
Fig. 23: Esquema básico de cálculo para el diseño de instalaciones de bombeo solar	55
Fig. 24: Medidas de los componentes hidráulicos para calcular la CDT	61
Fig. 25: Curva característica de la bomba	64
Fig. 26: Disposición de paneles para la energía adicional	67
Fig. 27: Disposición de paneles para la bomba	68
Fig. 28: Tanque para almacenamiento de agua	75
Diagrama 29: Diagrama de bloque del sistema FV	76
Fig. 30: Configuración típica de un sistema de bombeo Fotovoltaico	77
Fig. 31: Válvula de retención	79
Fig. 32: Tanque industrial	80
Fig. 33: Controlador de nivel de agua	81
Fig. 34: Válvula de compuerta	81
Fig. 35: Esquema de tubería de motor – bomba	82
Fig. 36: Diseño de red de tubería comunidad El jocote, Masaya	83
Fig. 37: Esquema eléctrico del S. de bombeo	84
Fig. 38: Prueba del nivel de agua en el tanque	85
Fig. 39: Circuito electrónico del control de nivel de agua	86
Fig. 40: Interruptor flotante cerrado, nivel de prueba alto	86
Fig. 41: Interruptor flotante abierto, nivel de prueba bajo	87

Apéndice de tablas

Capítulo I

Tabla 1: Tecnología de materiales para la conversión fotovoltaica	18
Tabla 2: Consumo de agua por especie	46
Tabla 3: Bombeo de agua y cálculos hidráulicos	47

Capítulo II

Tabla 4: Datos obtenidos del lugar	53
Tabla 5: cantidad de agua consumida	54
Tabla 6: Demanda hídrica	54
Tabla 7: Coeficientes de Hazen - Williams (C)	58
Tabla 8: Diámetro nominal	59
Tabla 9: Dimensionamiento del sistema Motor – Bomba	63
Tabla10: Características generales de la bomba	63
Tabla 10: Energía requerida	64
Tabla 12: Modelos de baterías	70

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos enteramente al Señor Jesucristo, por darnos la fuerza necesaria en nuestras vidas y porque su infinita misericordia nos ha alcanzado en la culminación de este trabajo y de toda la carrera universitaria. Gracias Jesucristo por su amor y tu misericordia.

A nuestros padres, que, a pesar de las muchas dificultades que atravesamos nunca negaron su fe hacia nosotros sino más bien nos guiaron por el camino correcto, sacando adelante a sus hijos y brindándonos el mejor de los ejemplos: A Jesucristo en nuestras vidas.

A nuestros profesores por su apoyo incondicional y por ser parte fundamental de nuestra preparación a lo largo de estos años de estudios en nuestra carrera.

AGRADECIMIENTOS

A Jesucristo, por ayudarnos en la culminación de este trabajo y por brindarme su amor incondicional, que a pesar que fallamos él es misericordioso y amplio en perdonar nuestras faltas.

A nuestros padres y hermanos, por el apoyo incondicional, que con mucho sacrificio vencieron toda dificultad y adversidad para que nosotros hoy pudiéramos llegar hasta donde estamos.

A nuestros amigos y compañeros, que nos apoyaron en esta larga jornada; que en medio de circunstancias difíciles fueron apoyo incondicional.

Damos gracias a nuestro tutor MSC. Milciades Delgadillo por habernos transmitido los conocimientos necesarios para culminar este trabajo que con paciencia y la mejor de las tutorías nos ayudó en gran manera.

I. Resumen

Este documento muestra el diseño tipo de un sistema de bombeo fotovoltaico y de un prototipo de control del sistema de bombeo de agua de pozo, cuyo trabajo está enfocado principalmente para poblaciones rurales apartadas, debido a las precarias condiciones energéticas de estos sectores. Se extrae el agua de pozo empleando una bomba sumergible, dicha agua se almacena en un tanque para su posterior uso como agua de consumo humano y agua de regadío.

Se realizó una recolección de datos en la zona de la comunidad para efectuar dicha recolección efectuamos un censo que nos permitió obtener los datos necesarios. Estas zonas son alejadas y no cuentan con servicios básico de agua y alcantarillado, por tal motivo se realizó el diseño tipo, tomando en cuenta los datos recolectados para determinar el tamaño del proyecto.

La energía para alimentar este sistema proviene de un arreglo de paneles fotovoltaicos, el sistema se alimenta con corriente directa, se obtuvieron cada uno de los cálculos que se tenían como objetivo del trabajo.

II. Introducción

El objetivo principal del estudio es diseñar un sistema alternativo de producción de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos y bombear agua desde un pozo para beneficio de la comarca El Jocote aprovechando así de esta manera la fuente de energía solar que, como todos sabemos, es prácticamente inagotable.

Existen hoy tecnologías a nivel comercial que permiten hacer uso de esas fuentes de energía renovable, para generar trabajo útil y productivo y cuando se utilizan apropiadamente, son una alternativa económicamente factible.

Es posible adoptar distintas soluciones tecnológicas para bombear un determinado volumen de agua a una determinada altura en función de los rangos de potencia (producto altura por caudal) requeridos. En la mayor parte de los casos, la solución más eficiente y económica es usar un sistema de bombeo en el que se conecta un generador fotovoltaico a un conjunto motor/bomba mediante un determinado dispositivo de acondicionamiento de potencia entre ambos.

Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente. Dos ventajas en las instalaciones de generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico es que son autónomos y pueden estar interconectadas a la red de suministro eléctrico, de donde se deriva una de sus más importantes aplicaciones en la actualidad.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

El propósito de este trabajo es presentar una solución a los sistemas de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica ya que es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Los sistemas son confiables y económicamente competitivos para el productor rural. Los sistemas solares de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde 100 litros diarios hasta 10,000 litros diarios, tanto para el uso doméstico como para irrigación de pequeñas parcelas.

El uso del agua no es muy eficiente y se desperdicia, algunos sistemas empleados para bombear agua son rústicos y accionados por combustibles que consumen grandes cantidades del mismo, debido a que son bombas de baja eficiencia, esto dificulta a las personas el buen manejo del recurso, por tal motivo se propone un sistema de bombeo a través de energía solar.

III. Justificación

El agua es un recurso fundamental y de suma utilidad para las actividades agropecuarias. No obstante, se requiere de un aprovechamiento óptimo, considerando su escasez en algunas zonas. Actualmente, con la introducción de diversas tecnologías y mediante la creación de prototipos, los sistemas de riego y almacenamiento posibilitan el uso efectivo del vital líquido no solo para consumo, sino también para asegurar la producción de calidad, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores.

Para mejorar la gestión del agua en las actividades domésticas y agrícolas, es necesario implementar nuevas tecnologías tanto como para consumo, riego, almacenamiento y extracción del recurso, una solución viable es con la tecnificación en las comunidades rurales, donde los pobladores mejoran su calidad de vida, además de aprovechar al máximo el agua y no se desperdicia, en la comunidad no se deberá de hacer instalaciones eléctricas especiales para conectar un motor o bomba sumergible para poder extraer el líquido, solo tiene que disponer de energía solar.

En la comunidad El Jocote no se ha realizado un proyecto de esta naturaleza de implementación de energías renovables, por lo que marcaría la diferencia en comparación con los sistemas convencionales de abastecimiento de agua que dependen de la energía obtenida de los combustibles convencionales para su funcionamiento. Además, abriría las puertas para la implementación de proyectos que utilicen energías alternativas logrando así llevar el agua donde este desprovisto de este servicio.

La importancia de este proyecto se fundamenta en el beneficio de la zona, modernizando técnicas de abastecimiento de agua potable por medio de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el abastecimiento de agua, en condiciones de calidad y continuidad, de tener acceso al agua para sus diferentes actividades, además el área cuenta con

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

aproximadamente 5.00 Hrs de sol pico y el pozo abastece de agua 450-530 litros/h de agua, lo que favorece que se implemente un sistema de bombeo solar fotovoltaico en esta zona y vendría a dar mejoramiento de economía, salud e higiene del área beneficiada.

IV. Objetivo general

- Diseñar un sistema de Energía Fotovoltaico para un bombeo de consumo de agua potable.

Objetivos específicos

- Describir las fuentes de aguas disponibles en el área de la comunidad el Jocote las características climáticas de la zona y los requisitos de consumo establecido.
- Realizar el estudio de dimensionamiento de fuente de generación y los cálculos hidráulicos del sistema de bombeo fotovoltaicos.
- Determinar las especificaciones del sistema de bombeo alimentado con energía fotovoltaica.

Capítulo I

1. Fundamentos Teóricos

1.1 Radiación solar

Radiación Solar: La radiación solar es la energía electromagnética que mana en los procesos de fusión del hidrógeno (en átomos de helio) contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de $1.52 \cdot 10^{17}$ Kwh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar (flujo solar o densidad de potencia de la radiación solar) recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a 1366 W/m^2 , variable durante el año un 3% a causa de la electricidad de la órbita terrestre.

1.1.1 Radiación Solar Directa: es la radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área, que, sin haber sufrido modificación en su trayectoria, incide sobre una superficie.

1.1.2 Radiación Solar Reflejada: es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.

1.1.3 Radiación Difusa: es la suma de la radiación difusa celeste y la radiación solar reflejada.

1.1.4 Horas Sol Pico: es el número de horas de sol que con una radiación global de 1000 W/m² proporciona una energía equivalente a la radiación global recibida en un período de tiempo.

1.1.5 Albedo o Reflectancia: es la relación entre la radiación reflejada por una superficie la que incide sobre ella.

1.2 Fuentes de energía

Según el tipo puede obtenerse de dos fuentes: Energía Tradicional y la Energía Alternativa

➤ Las Energías Tradicionales están asociadas a los combustibles clásicos: petróleo, gas, leña, carbón y recursos hidráulicos.

➤ Las Energías Alternativas están asociadas al sol energía solar, al viento energía eólica, minerales radioactivos, energía nuclear, energía geotérmica. Bolivia cuenta con unos niveles relativamente elevados en potencial energéticos tanto tradicionales como de energías alternativas así existen grandes recursos hidráulicos que 10 se originan en los ríos que nacen en las cordilleras y que en la actualidad solo se utilizan una mínima parte.

1.3 El generador fotovoltaico

Hay dos formas conocidas en que el ser humano puede aprovechar la energía solar: una es por medio de procesos foto térmicos para el calentamiento de fluidos, la otra es, la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Los dispositivos donde se lleva a cabo la transformación de luz solar en electricidad se llaman

generadores fotovoltaicos y a la unidad mínima en la que se realiza dicho efecto se le conoce como celda solar. (Rodríguez, 2010)

1.4 Materiales de fabricación de celdas fotovoltaicas

El efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos o gaseosos; pero es en sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa a eléctrica. Las celdas solares se fabrican a partir de materiales semiconductores (los cuales pueden ser de tipo mono cristalinos, poli cristalinos y amorfos) y metales. Dependiendo del tipo de semiconductor, se pueden elaborar en película delgada o gruesa.

El mercado actual de los generadores fotovoltaicos se basa en celdas solares de silicio cristalino, sin embargo, el advenimiento de nuevas tecnologías basadas en otros tipos de materiales semiconductores comienza a impactar el mercado significativamente. En la Tabla A, se muestran las diferentes tecnologías de materiales empleados para la conversión fotovoltaica, así como las máximas eficiencias de conversión obtenidas para cada una de ellas.

Tipo de tecnología	Descripción	Eficiencia máxima obtenida (%)
	Diseño en Homo unión	
Si (cristalino)	Silicio mono cristalino	24.7 ± 0.5
Si (poli cristalino)	Silicio poli cristalino	20.3 ± 0.5
Si (TFT)	Película delgada de silicio(soportada)	16.6 ± 0.4

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Si (TFM)	Película delgada de silicio(sub modular)	10.4 ± 0.3
Si (amorfo)	Silicio amorfo	9.5 ± 0.3
Si (nano cristalino)	Silicio nano cristalino	10.1 ± 0.2
GaAs(cristalino)	Arseniuro de galio mono cristalino	25.9 ± 0.8
GaAs(TF)	Película delgada de arseniuro de galio	24.5 ± 0.5
GaAs(policristalino)	Arseniuro de galio poli cristalino	18.2 ± 0.5
InP(cristalino)		21.9 ± 0.7
Diseño en He tero unión		
CIGS(celda)	CuInGaSe ₂ encelda	19.2 ± 0.6
CIGS (submódulo)	CuInGaSe ₂ submodular	16.6 ± 0.4
CdTe(celda)	Telurio de cadmio encelda	16.5 ± 0.5
Diseño de unión múltiple		
GaInP/GaAs/Ge	Fosfato de indio-galio, arseniuro de galio, germanio	32.0 ± 1.5
GaInP/GaAs	Fosfato de indio-galio, arseniuro de galio	30.3
GaAs/CIS(TF)	Película delgada de arseniuro de galio, CuInSe ₂	25.8 ± 1.3
a-Si/μc-Si (TM)	Sub módulo delgado de silicio amorfo hidrogenado, silicio micro cristalino hidrogenado	11.7 ± 0.4

Tabla 1. Tecnología de materiales para la conversión fotovoltaica

Fuente: Sunisolar

1.5 El efecto fotovoltaico y la celda solar

Para que la luz genere el efecto fotovoltaico en un dispositivo opto electrónico se debe realizar un proceso de absorción de luz. Debido a este proceso, la energía de la luz es transferida a los electrones de los átomos del material con el cual está fabricado el dispositivo. Al ganar energía, los electrones rompen los enlaces que los mantenían ligados a sus átomos. Por cada electrón que se libera aparece un hueco, los cuales se comportan como partículas con carga positiva; lo anterior resulta en la aparición de portadores de carga positiva y negativa foto-generados.

Algunos de estos electrones se recombinarán, regresando la energía al material (que se manifiesta por el incremento en su temperatura), mientras que otros portadores son forzados a separarse por medio de un campo eléctrico artificial que obliga a los electrones a acumularse en una "superficie" del dispositivo y a los huecos en la otra "superficie".

La acumulación de cargas da como resultado un voltaje eléctrico que se mide externamente, mejor conocido como voltaje foto-generado. Si se establece un circuito eléctrico externo que una a las dos superficies, los electrones fluirán a través de él regresando a su posición energética inicial, lo que se conoce como corriente foto generada o fotovoltaica, con la capacidad de realizar un trabajo.

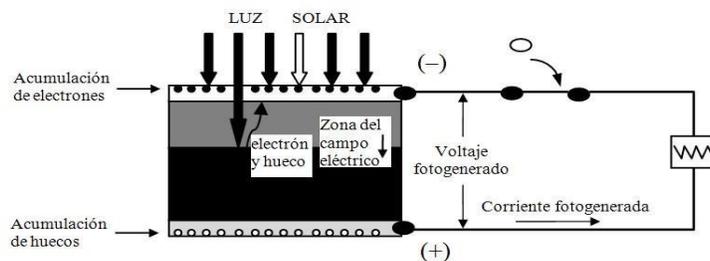


Fig. 1: Representación esquemática del efecto fotovoltaico

Fuente: Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico para comunidades

1.6 Efectos de la intensidad luminosa y la temperatura

En un generador FV, la corriente generada es proporcional a la irradiación de una forma prácticamente lineal, lo cual puede apreciarse en la Figura 2, donde al disminuir la irradiación la corriente de corto circuito ISC disminuye de una forma proporcional; el voltaje suele permanecer casi constante cuando se opera en puntos trazados por la recta que define los diferentes puntos de máxima potencia

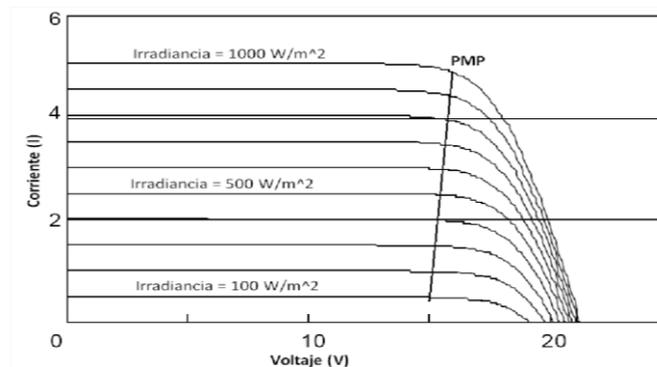


Fig. 2: Corriente generada de la radiación
Fuente: Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico para comunidades

El generador fotovoltaico se calienta al exponerse al sol como cualquier otro captador solar. Este aumento de temperatura afecta sus características eléctricas, lo cual se ve reflejado en una ganancia marginal de ISC, mientras que el voltaje se ve afectado más significativamente a la baja, conforme aumenta la temperatura. En la práctica, esto se traduce en una baja de la potencia entregada por el mismo, lo que significa también una menor eficiencia.

1.7 Montaje y orientación del arreglo fotovoltaico

Los módulos FV pueden producir energía confiable durante más de 20 años, si se encuentran funcionando en la aplicación correcta y se instalan de manera adecuada. La estructura es la encargada de proporcionar soporte físico y mecánico a los módulos FV, a la vez que permite su orientación correcta lo que maximiza la generación de energía.

El generador fotovoltaico se puede instalar en una estructura fija sobre un plano horizontal, o bien, montarse en un mecanismo seguidor de la luz solar. La función primordial de un seguidor solar es mantener la superficie del colector siempre perpendicular a los rayos solares, lo que permite incrementar la energía generada.

El generador fotovoltaico se puede instalar en una estructura fija sobre un plano horizontal, o bien, montarse en un mecanismo seguidor de la luz solar. La función primordial de un seguidor solar es mantener la superficie del colector siempre perpendicular a los rayos solares, lo que permite incrementar la energía generada.

Los seguidores solares pueden ser de uno o dos ejes. Los de un eje, llamados de ángulo polar variable, siguen el recorrido del sol diariamente girando de Este a Oeste sobre el eje de giro Norte-Sur; los de dos ejes por su parte, conocidos como de ángulo polar y acimutal variable, son capaces de mantener la superficie del colector siempre perpendicular a los rayos solares. Las ganancias en captación van del 30 al 60% sobre un captador fijo, sin embargo, tienen costos altos e incrementan la complejidad del sistema, además de que requieren mantenimiento frecuente y no se obtiene una ganancia considerable en los días nublados.

En un captador fijo en el Hemisferio Norte, la insolación diaria acumulada se puede maximizar si el captador está orientado hacia el sur, con un ángulo de inclinación que garantice que los rayos solares caigan perpendicularmente sobre su superficie. La máxima

captación de insolación anual en un captador fijo se obtiene cuando el ángulo de inclinación del mismo es igual al valor de la latitud del lugar. (Callisaya, 2013)

1.8 Seguimiento del punto de máxima potencia

Un generador FV, bajo condiciones de irradiación uniformes, exhibe una característica corriente- voltaje con un punto de operación único, llamado punto de máxima potencia (PMP), donde el arreglo produce la mayor potencia de salida. Las técnicas para el seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) se emplean en los sistemas fotovoltaicos para maximizar la entrega de potencia del arreglo fotovoltaico, mediante el seguimiento continuo del punto de máxima potencia, que depende de las condiciones de irradiancia y la temperatura del generador FV.

El problema del seguimiento del punto de máxima potencia se aborda en formas muy distintas en la literatura; se han propuesto ejemplos de lógica difusa, redes neuronales, celdas piloto e implementaciones basadas en DSP. Sin embargo, las técnicas más ampliamente utilizadas por su bajo costo de implementación son: Perturbar y Observar (P&O) y Conductancia Incremental. En la Figura 3, puede verse la evolución de la potencia entregada por el arreglo FV, utilizando en este caso la técnica de P&O para el seguimiento del punto de máxima potencia.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

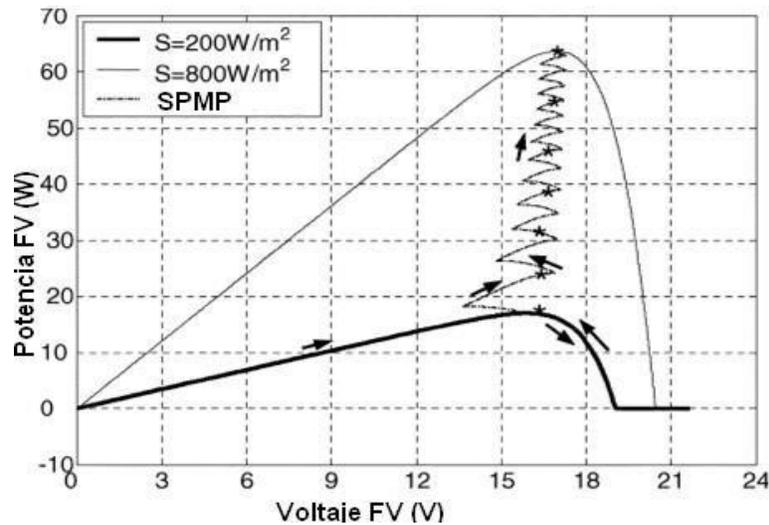


Fig. 3: Ruta operativa del seguimiento del PMP usando la técnica de perturbar y observar
Fuente: conmutador digital

1.9 Paneles fotovoltaicos

1.9.1 Efecto fotovoltaico: transformación directa de energía luminosa en energía eléctrica.

Este fenómeno físico denominado "efecto fotovoltaico", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas.

Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de la célula.

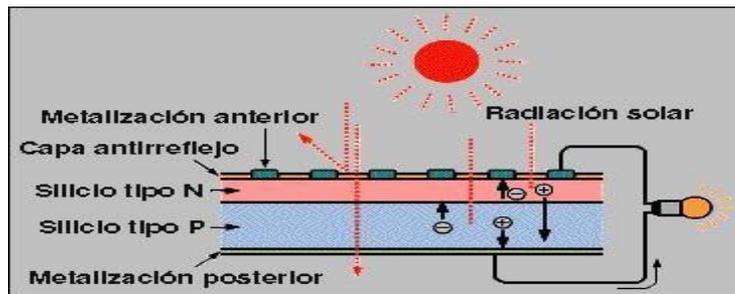


Fig. 4: Efecto fotovoltaico

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.9.2 Célula solar: dispositivo unitario correspondiente al elemento semiconductor que presenta el efecto fotovoltaico, ya esté protegido de ambiente exterior o no a como muestra en la siguiente figura.

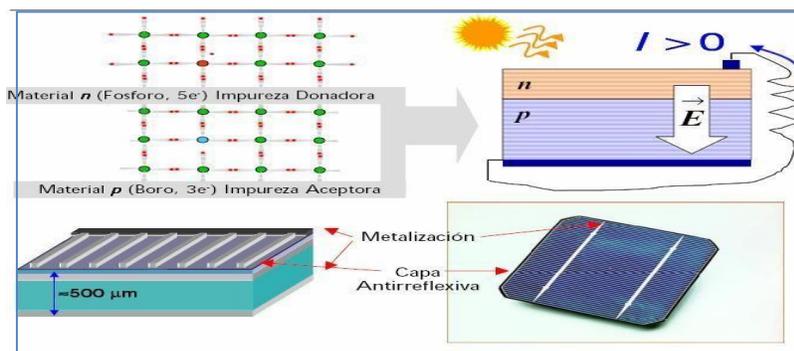


Fig. 5: célula solar

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

1.9.3 Módulo Solar: conjunto de células solares interconectadas y montadas sobre un mismo soporte protector.

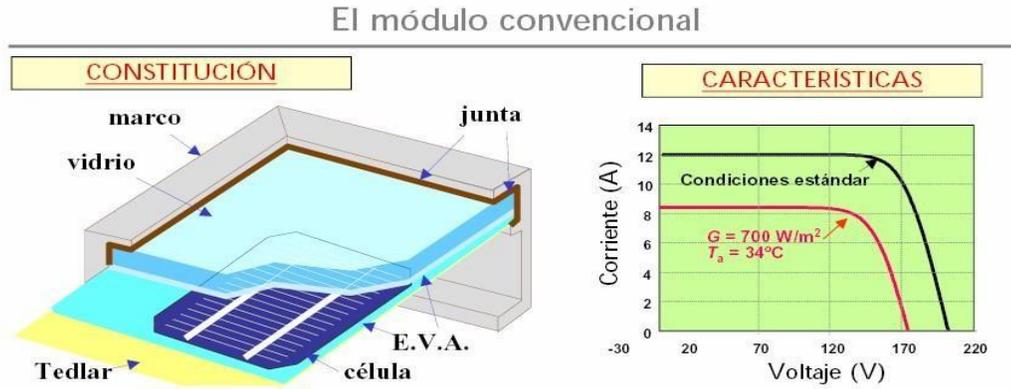


Fig. 6: Módulo solar

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.9.4 Tensión de Circuito Abierto: es la diferencia de potencial medido en los bornes de una célula o módulo cuando el circuito está abierto en unas ciertas condiciones de medida.

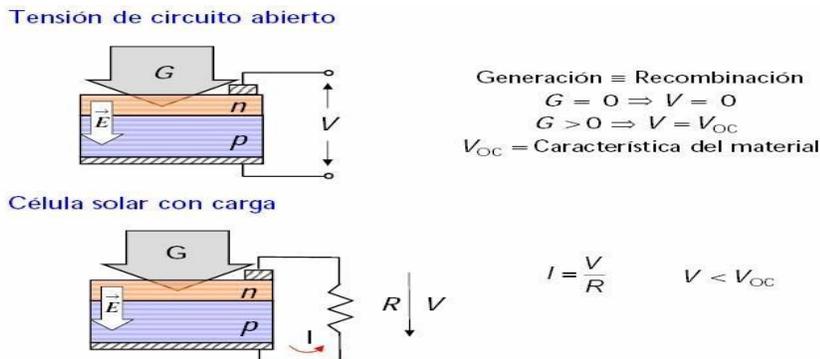


Fig. 7: Tensión de C.A y célula solar con carga

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

1.9.5 Corriente de Cortocircuito: es el valor de la corriente que proporciona la célula o módulo iluminados bajo condiciones estándar, cuando sus bornes están cortocircuitados.

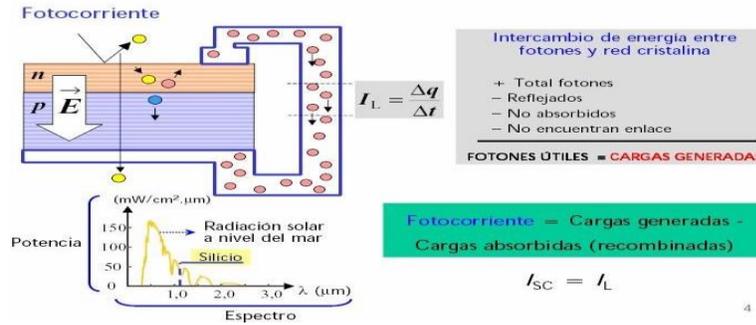


Fig. 8: corriente de cortocircuito

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.9.6 Potencia máxima: es la máxima potencia que en determinadas condiciones de medida pueda proporcionar una célula o módulo solar.

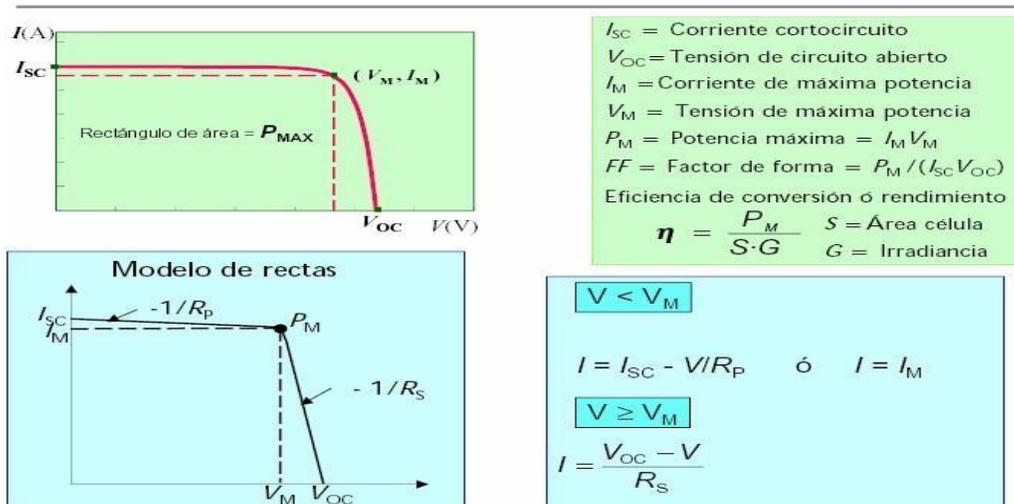


Fig. 9: Potencia máxima

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.10 Subsistema motor bomba

Para el subsistema motor – bomba lo detallaremos en dos partes:

- Motores
- Bombas

1.11 Motores

Los motores son los encargados de transformar la energía eléctrica suministrada por el sistema generador en energía mecánica. Los motores que se precisan en aplicaciones de bombeo fotovoltaico deben ser de pequeña potencia y deben tener rendimientos elevados.

Este tipo de motores no son habituales por lo que pueden ser más costosos. Dependiendo del tipo de alimentación eléctrica los motores podemos distinguir entre motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Dentro de los motores de los motores de corriente continua podemos distinguir entre motores de imanes permanentes con escobillas y sin escobillas, motores serie, motor Shunt o motores compound.

Dentro de los motores de corriente alterna podemos distinguir entre motores monofásicos y motores trifásicos en función del tipo de corriente para el que estén diseñados y, por otro lado, también pueden ser motores síncronos o motores asíncronos.

Las partes fundamentales de un motor de corriente continua son el inductor o estator que es la parte fija de la máquina, el inducido o rotor que es la parte giratoria, el colector que va montado sobre el mismo eje que el rotor y giran simultáneamente, las escobillas que son unos contactos a presión que rozan sobre el colector y tienen como misión la entrada y salida de la corriente del rotor. Los motores de corriente continua se caracterizan por su

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

voltaje, potencia y velocidad nominal y por el par motor. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par motor y a la velocidad. El par motor es proporcional al flujo

inductor y a la intensidad de carga. La velocidad de giro del motor varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento, así como el flujo magnético. Las principales ventajas de los motores de corriente continua son sus altos rendimientos, el no necesitar un inversor y se adaptan bien para su acoplamiento directo al generador fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna, están más extendidos siendo más fácil de encontrarlos en potencias mayores. Son más baratos y eficientes que los de corriente continua, pero obligan a la instalación de un sistema inversor y a dispositivos que permitan proporcionar o reducir las altas corrientes que suelen requerir. Arranque lo que encarece el sistema fotovoltaico.

Los motores de corriente alterna constan igualmente de dos partes de rotor y estator. En el inducido, que suele estar en el estator, las corrientes alternas que lo recorren producen un campo magnético giratorio como consecuencia de la superposición de tres campos magnéticos alternantes desfasados en el espacio y el tiempo o por descomposición de un campo magnético alternante senoidal en dos campos magnéticos giratorios en sentidos contrarios.

Los motores de corriente alterna se caracterizan generalmente por sus tensiones nominales, la intensidad nominal, la potencia nominal, por su velocidad de giro en función de la frecuencia de alimentación, y por su par motor.

1.12 Bombas

Una bomba es la máquina que transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Se puede distinguir dos tipos principales de bombas: bombas de desplazamiento positivo o volumétrico y bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

Las bombas de desplazamiento positivo poseen una cavidad cuyo volumen varía como consecuencia del movimiento de una parte móvil, obligando al líquido que las llena a moverse en un sentido determinado por la apertura y cierre de válvulas.

La más usada en bombeo fotovoltaico de este tipo bombas es la bomba de pistón. Las bombas de pistón son apropiadas para los valores elevados de altura manométrica y bajos caudales.

Las bombas dinámicas le transfieren al fluido una cantidad de movimiento mediante paletas o alabes giratorios. La más utilizada es la bomba centrífuga. Las bombas centrífugas se diseñan para alturas manométricas determinadas y proporcional más caudal que las bombas de desplazamiento positivo. No son recomendables para alturas de aspiración mayores de 5 -6 metros y pueden tener uno o varios cuerpos dependiendo de la altura de impulsión necesaria.

Para caracterizar las bombas se utilizan curvas características que relacionan el caudal con la altura manométrica que pueden suministrar para un régimen de revoluciones determinado.

Además, el rendimiento de las bombas centrífugas disminuye rápidamente con la velocidad de giro, las bombas centrífugas reúnen una serie de ventajas entre las que

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

destacamos su simplicidad, con pocas partes móviles, su bajo costo, su robustez y la tolerancia a los pequeños pares de arranque.

También podemos clasificar las bombas en función de su forma de instalación en sumergibles, flotantes y de superficie. Las bombas sumergibles son apropiadas para los pozos de poco diámetro donde las variaciones de nivel son importantes para la acumulación de agua se hace en altura.

Las bombas flotantes se instalan en ríos, lagos o pozos de gran diámetro permitiendo una altura de aspiración constante y proporcionando un gran caudal con poca altura manométrica.

Las bombas de superficie se instalan en aquellos lugares en los que los niveles de agua de aspiración no sufren grandes oscilaciones, permitiendo la altura de aspiración dentro de un rango admitido por la bomba, generalmente < 6 m. en algunos casos las bombas son auto aspirantes como las utilizadas en piscinas que no requieren cebado de la tubería de aspiración (generalmente, $h_{\text{aspiración}} < 3\text{m}$).¹

1.13 Equipo de bombeo compatible con sistemas fotovoltaico

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia de la bomba. Por esta razón se han creado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y volumétricas.

¹ (Rodríguez, 2010, págs. 11-15)

1.14 Bombas centrífugas

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie son capaces de bombear el agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores.

Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional. Las bombas de succión superficial se instalan a nivel del suelo y tienen ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros.

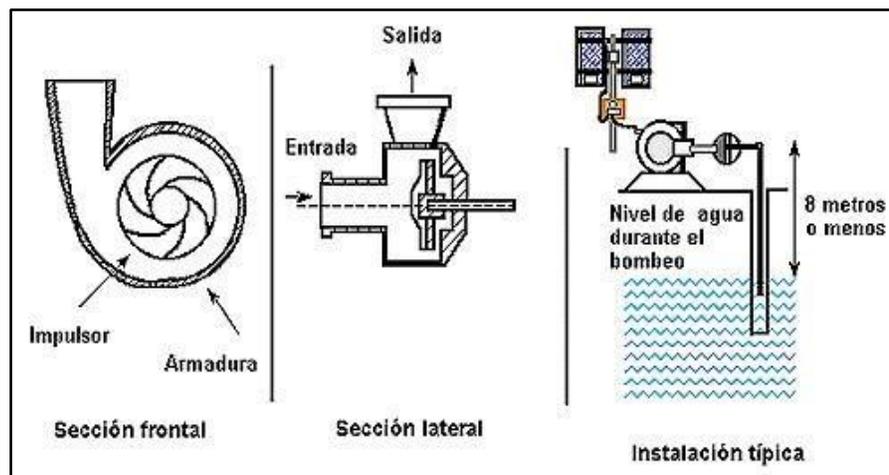


Fig. 10: Bomba Centrífuga

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles.

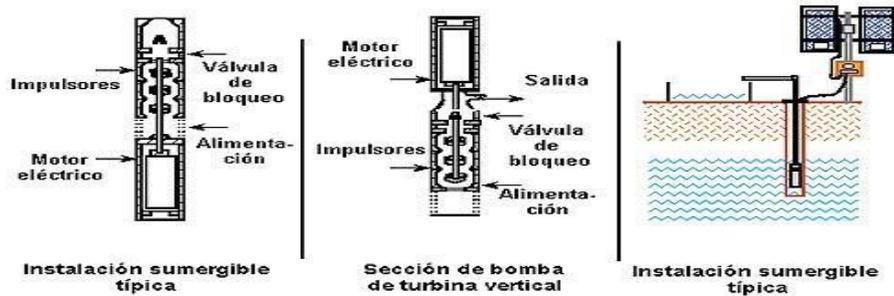


Fig. 11: bombas centrífugas sumergibles

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.

Todas las bombas sumergibles están selladas y tienen el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco por que sufren sobrecalentamiento.

1.15 Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombea es mayor.

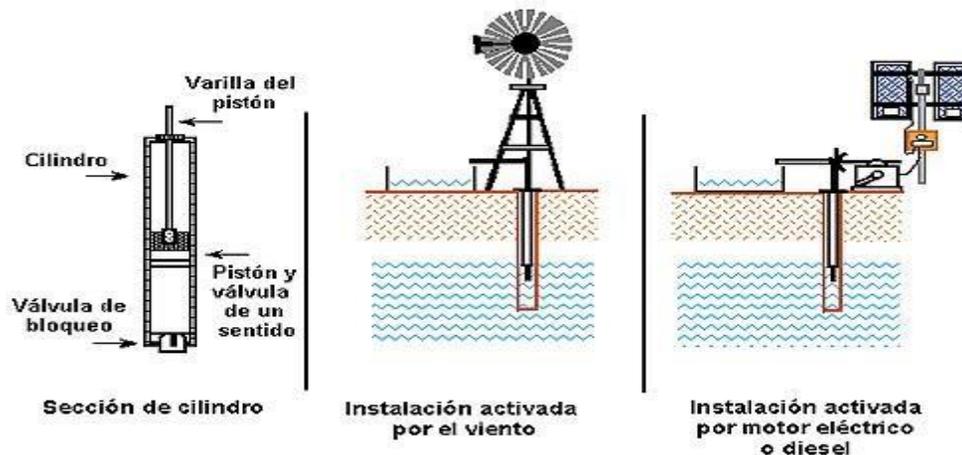


Fig. 12: Bombas volumétricas

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.16 Bombas de cilindro

Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando este sube, empuja el agua a la superficie.

La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por el arreglo fotovoltaico.

1.17 Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos.

En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo dependiendo de la calidad del agua.

Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

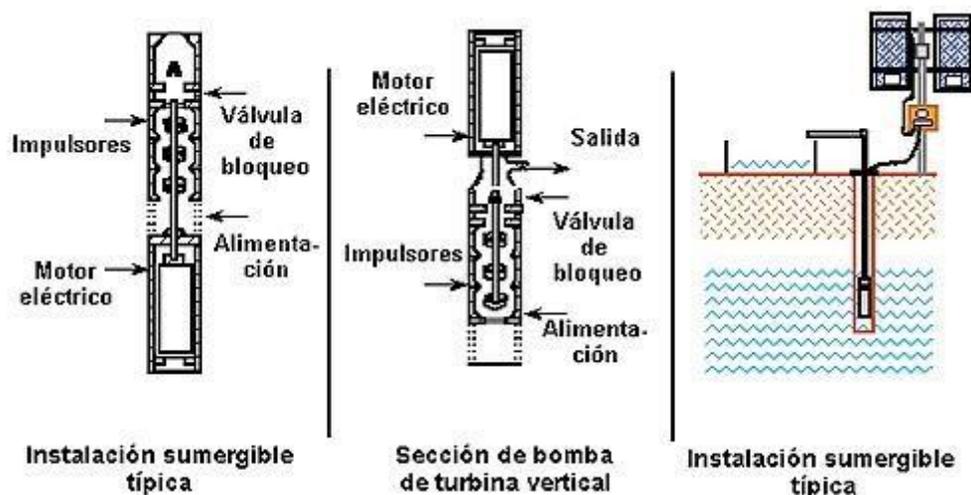


Fig. 13: Bombas de diafragma

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aún, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso. ²

1.18 Aplicaciones recomendables para cada tipo de bomba

Como se ha visto, las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para los intervalos de aplicación. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que la base generadora de energía tiene un costo muy alto. Un sólo fabricante puede ofrecer muchos modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación. Las bombas más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total. Por ejemplo, una bomba de palanca puede llegar a tener una eficiencia de más del 40%, mientras que una bomba centrífuga puede tener una eficiencia tan baja como 15%. La Figura Indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga dinámica total del sistema de bombeo.

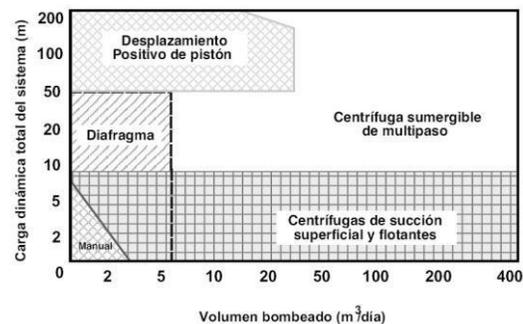


Fig. 14: Volumen bombeado

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

² Callisaya, José Antonio. Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico (2013) pág 18-24

1.19 Infraestructura hidráulica

Se denomina infraestructura hidráulica al conjunto de elementos que conducen el agua desde la fuente, normalmente un pozo, hasta los puntos de distribución. Está constituida por cuatro elementos, la fuente de agua, la conducción entre la fuente y la entrada al depósito de almacenamiento (donde entra el bombeo), el depósito y la conducción entre el depósito con los puntos de distribución. En esta definición, se entiende por conducción el conjunto de tuberías, accesorios (llaves de paso, empalmes, etc.) dispositivos de medición y de interface con el usuario: llaves, fuentes, etc.

Las principales fuentes de agua en el medio rural son los aflores y los pozos tradicionales. Para el propósito que nos ocupa, la diferencia entre estas dos fuentes de agua descansa en la capacidad de almacenamiento. Los aflores, que son siempre estrechos (diámetro típicamente inferior a 30 cm), no permiten acumular agua en su interior. En consecuencia, el caudal extraído proviene del agua filtrada a través de sus paredes. Por el contrario, los pozos tradicionales son siempre más grandes (diámetros de 2 metros normalmente) y por tanto pueden acumular cantidades de agua significativas en su interior.

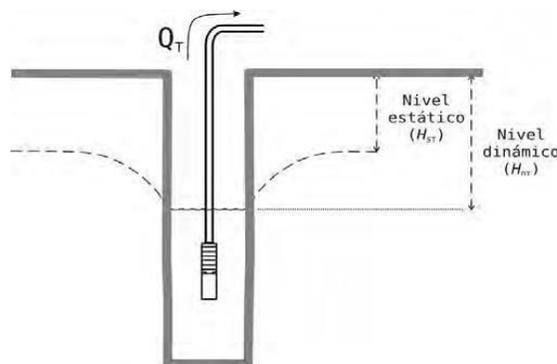


Fig. 15: Infraestructura Hidráulica

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Las pérdidas de carga en las tuberías y los accesorios incluidos dependen del material con el que están fabricados, de su longitud y del caudal de agua que circula por ellos. Éstas disminuyen el caudal suministrado por una bomba. Por esta razón se puede decir que la altura total, HT, vista por la bomba es la suma de la altura geométrica, HG, y la altura asociada a las pérdidas de carga, HF. A efecto de la realización de pruebas, es normal que se construyan bancos de pruebas hidráulicas, los cuales se describirán con más detalle en el siguiente capítulo.

1.20 Almacenar en tanques, no en baterías

Debido a que los sistemas de bombeo FV sin baterías no proveen agua cuando el sol no brilla con la intensidad necesaria, es recomendable contar con un tanque de almacenamiento. Se recomienda almacenar agua suficiente para tres días de abasto. Almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de cinco años o menos, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas.

El almacenamiento por baterías normalmente se justifica sólo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche. A largo plazo, podría ser más económico perforar otro pozo que añadir almacenamiento por baterías. La introducción de baterías en un sistema de bombeo FV podría reducir su confiabilidad e incrementar sus requerimientos de mantenimiento. En general no se recomienda utilizar baterías en sistemas de bombeo fotovoltaico.

1.21 Bombeo fotovoltaico

El bombeo de agua con energía fotovoltaica se presenta como una de las aplicaciones más importantes de la energía solar. Es especialmente interesante en zonas rurales en donde los pozos se encuentran en lugares de difícil acceso a la red eléctrica.

El bombeo solar de agua para riego, que, aunque en actualmente, resulte excesivamente costoso, es una aplicación que puede presentar en el futuro de un gran potencial de desarrollo. Teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación, coincidiendo oferta y demanda. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos para riego podrán presentar ventajas económicas frente a otras tecnologías de sistemas de riegos eficientes que permitan el ahorro del agua y energía, como son los sistemas de riego por goteo y se buscará maximizar la utilización de la energía disponible mediante una rotación sistemática de cultivos o cultivos permanentes.

Existen dos alternativas de sistemas de bombesos fotovoltaicos que son:

- **Bombeo solar directo:** El agua se extrae del pozo durante el tiempo de radiación solar únicamente, almacenándose en un depósito. Se evita los costes asociados a las baterías.
- **Bombeo con baterías:** Si las necesidades de extracción de agua son muy precisas o se necesita asegurar el suministro, pueden instalarse baterías para los periodos sin sol.

Los equipos que conforman esta aplicación son:

- **Módulos fotovoltaicos:** Captan la energía del sol y la convierten en electricidad en corriente continua.
- **Acoplamiento módulos-bomba:** Transforma la energía generada por los módulos fotovoltaicos en adecuada para el funcionamiento de la bomba

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

- **Bomba:** El equipo fundamental que extrae el agua del pozo.

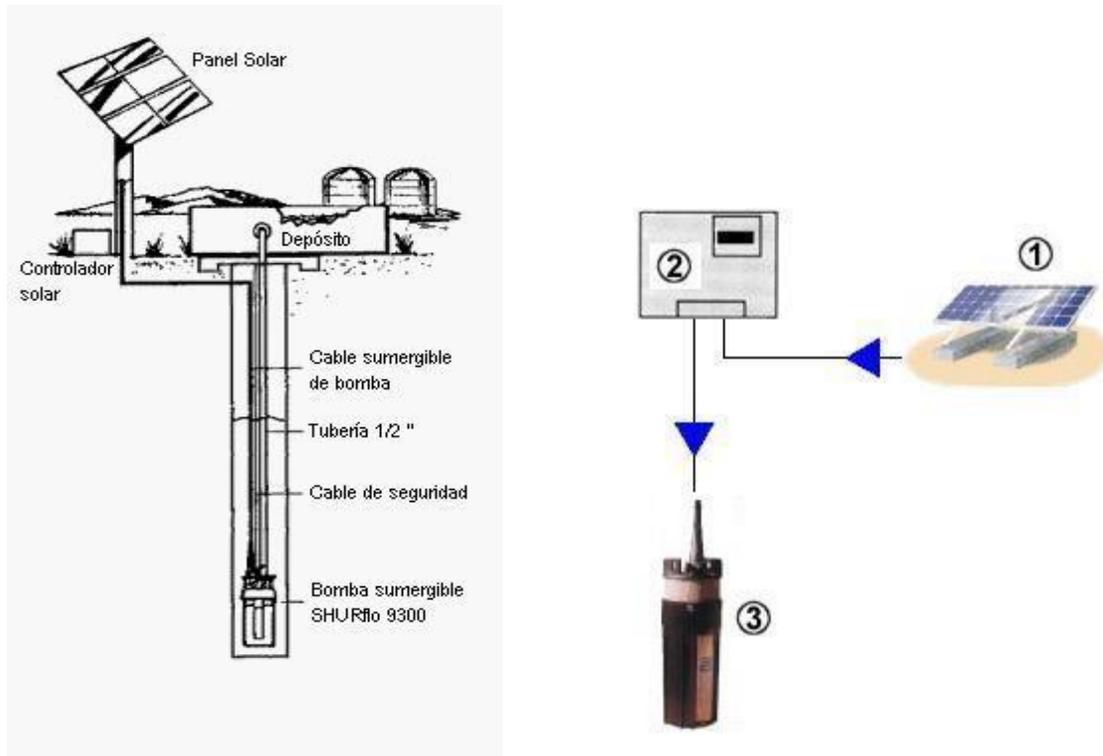


Fig. 16: Acoplamiento motor - bomba

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.22 Funcionamiento del sistema de bombeo solar

Un sistema de bombeo fotovoltaico es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia como se muestra en la figura anterior, como sus principales

componentes son: un arreglo de módulos fotovoltaico, un controlador, un motor y una bomba y por último un tanque de almacenamiento.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

El sistema generador estará constituido por un conjunto de arreglos de módulos fotovoltaicos (paneles solares) conectados en serie o en paralelos, los cuales generaran la energía necesaria para accionar el motor bomba, intermedio a ellos se encontrará un controlador electrónico para la bomba (amplificador de corriente) es un dispositivo electrónico que se usa con la mayoría las bombas solares.

Este actúa como una transmisión automática, ayudando a la bomba a encender y a no detenerse al disminuir la radiación solar.

Debe tenerse presente que la solución más simple y económica es acumular agua en lugar de energía eléctrica, usando una cisterna. Su incorporación permitirá minimizar el efecto causado por las variaciones estacionales de los recursos hidráulicos o desperfectos temporarios que interrumpan su funcionamiento, almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías.

Después de 5 a 7 años, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas, el almacenamiento por baterías normalmente se justifica solo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche, en general no se recomienda utilizar baterías en los sistemas de bombeos fotovoltaicos, además se recomienda que al almacenar agua se hará para tres días de abasto.

El régimen del funcionamiento del sistema corresponderá con la situación en la que la potencia suministrada por el generador fotovoltaico sea igual a la absorbida por el motor,

lo mismo que la tensión y la intensidad proporcionada por el sistema generador serán las aplicadas al motor.

Para diseñar un sistema será necesario conocer el rendimiento del sistema de bombeo que es la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica absorbida. En los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua, la energía necesaria para accionar la bomba proviene del sol. La energía solar es captada y transformada en energía eléctrica por medio de los dispositivos llamados celdas solares los cuales son la base de la construcción de los módulos fotovoltaicos.

El sistema generador (paneles solares) deberá elegirse de manera que el punto de trabajo este lo más próximo posible de su punto de máxima potencia ya que son la parte principal del sistema de bombeo fotovoltaico. (Rodríguez, 2010)

1.23 Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico

Una instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un motor/bomba, un pozo, un sistema de tuberías y un depósito de acumulación. Se puede disponer de un sistema de acondicionamiento de potencia (controladores DC/DC, inversores DC/AC u otros dispositivos electrónicos) de acoplo entre el generador FV al motor, para poder operar motores AC o para incrementar el rendimiento medio diario en sistemas con motores DC que accionen bombas de desplazamiento positivo. El sistema ha de estar debidamente instalado y protegido, utilizando sensores de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación para evitar el desperdicio del agua y la operación en vacío. A pesar de que se instalen bombas de superficie o flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

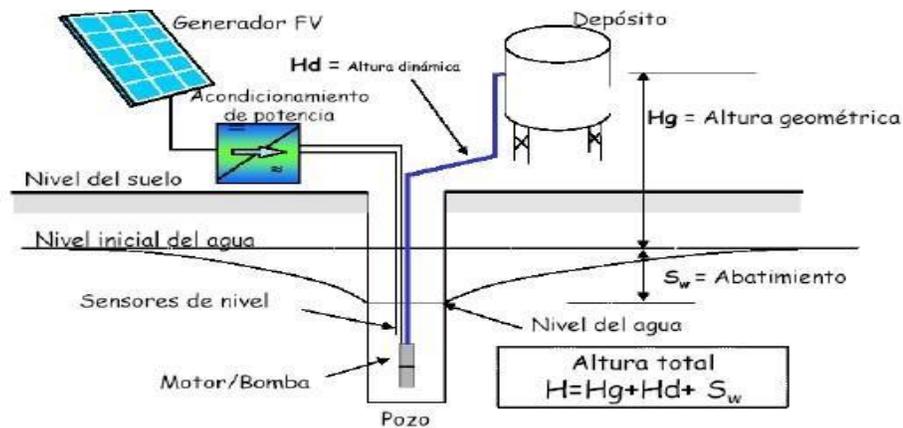


Fig. 17: Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico
Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Para llevar a cabo un diseño, se necesita calcular el valor de la altura del sistema a instalarse. Este valor representa la suma de todos los valores que deben ser tenidos en cuenta cuando la bomba está en actividad, a fin de terminar la potencia a instalarse.

Uno de ellos es la profundidad dinámica del pozo H_d . Este valor es siempre superior al del valor estático (S_w), ya que el nivel de agua se hace más profundo al extraerse el agua. A parte de haber pérdidas en el entubado. Dependiendo del caudal y la velocidad de extracción, esta variación puede ser despreciable o apreciable.

La altura de cisterna o depósito H_g , incrementa el valor total. En las tuberías se originan pérdidas por rozamientos, estas deben ser consideradas en todo el sistema como una función del caudal. Es evidente que las pérdidas por fricción en las tuberías se incrementan de manera proporcional al caudal.

Por tal motivo se recomienda seleccionar un diámetro adecuado para que las pérdidas sean mínimas. Las pérdidas por fricción en la cañería, se dan como la altura dinámica. La altura dinámica para los codos, si se usan, dependen del ángulo y de su diámetro. La

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

distancia horizontal, de existir debe considerarse solo para calcular las pérdidas por fricción, pero no contribuye, siendo horizontal, a incrementar el valor de la Hd.

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

A) Las condiciones hidráulicas

- La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
- La altura estática de elevación del agua por encima de la superficie del suelo (por ejemplo, hasta un depósito de almacenamiento)
- Las pérdidas adicionales de presión en tuberías y accesorios (altura dinámica)

B) La energía suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día, determinada por la radiación solar y las condiciones climatológicas.

De acuerdo con estos factores, se pueden definir varias configuraciones de un sistema de bombeo fotovoltaico: sumergible, flotante, con bomba centrífuga o de desplazamiento positivo, con motor de corriente continua o corriente alterna, etc.

Los componentes esenciales en toda instalación son:

- Subsistema de generación o generador fotovoltaico.
- Subsistema motor-bomba
- Subsistema de acumulación y distribución

Analicemos los factores que determinan la configuración del sistema. (Practical Action, 2017)

1.24 Condiciones hidráulicas

Antes de determinar el tamaño del sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico. La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD)

$$\text{CDT} = \text{CE} + \text{CD} = \text{Nivel estático} + \text{abatimiento} + \text{altura de la descarga} + \text{fricción}$$

1.24.1 Carga estática

La primera parte, la carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea el agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua. La figura muestra estos componentes hidráulicos que forman carga estática.

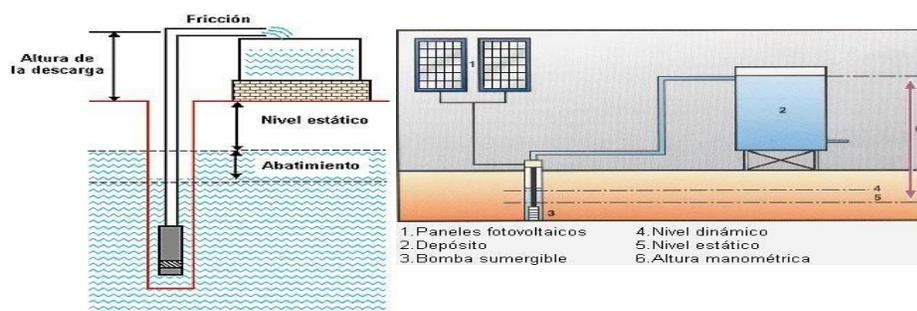


Fig. 18: Carga Estática

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

1.24.2 Carga dinámica (fricción)

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos mayor resistencia producirá. Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que corre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro.

Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras.

La carga dinámica total (CDT) es la suma de la carga estática y la carga dinámica:

$$\text{CDT} = \text{CE} + \text{CD} = \text{nivel estático} + \text{descarga} + \text{abatimiento} + \text{fricción}$$

Se debe tener en cuenta que un pozo de agua, accede a fuentes de agua subterránea, la cual se va consumiendo conforme se extrae del pozo, sin embargo, el agua de lluvia se filtra por las paredes del pozo, reponiendo el nivel de agua en éste, dependiendo de la permeabilidad del suelo. Al instalar un sistema de bombeo de agua de pozo se debe procurar que la velocidad de vaciado del pozo sea menor que la velocidad de reposición, de lo contrario el pozo se secaría dejando sin abastecimiento de agua a sus consumidores. Para determinar el caudal requerido en zonas rurales se puede sumar la cantidad de agua al día que se va a consumir por las personas, los animales, y la que se va a usar en regadío. Según la OMC (Organización Mundial del Comercio) una persona requiere 50 litros de agua diarios para todas sus actividades alimenticias y sanitarias, mientras que la OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda 80 litros diarios. En cuanto a los animales, la Tabla D, es una guía de cuánta agua consumen. Para regadíos, es muy

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

variable, pues depende del tipo de cultivo y de la época del año, pero por lo general el consumo es de 50 a 300 m³ por hectárea.

Descripción	Consumo de agua (litros por día)
Personas	20
Ganado equino(Caballo, burro)	15
Ganado Vacuno	35
Ganado porcino	4
Ganado lanar (Oveja)	2
Ganado caprino (Cabra)	2
Aves de corral (gallinas)	0.1

Tabla 2. Consumo de agua

Fuente: OMS (Organización Mundial de la Salud)

1.24.3 Valor por omisión

La carga dinámica es aproximadamente el 2% de la distancia de recorrido del agua. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio.

1.24.4 Tablas de fricción

Existen tablas publicadas por fabricantes que indican el porcentaje de fricción que debe añadirse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

1.24.5 Formula de Manning

Este es un método matemático que se puede realizar fácilmente con una calculadora de bolsillo. La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = K \times L \times Q^2$$

Dónde:

H_f es el incremento en la presión causada por la presión y expresada en la distancia lineal (m)

K es una constante empírica con unidades de (m³/s)⁻²

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

Q es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s).

La constante **k** se obtuvo después de experimentar con varios materiales y tamaños de tuberías.³

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9,544,491	1,261,034	291,815	31,282	7,236
Galvanizado	19,909,642	2,631,046	608,849	65,263	15,097

Tabla 3: Bombeo de agua y cálculos hidráulicos.

Fuente: López (2010)

³ (Rodríguez, 2010, págs. 20-25)

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Para la determinación de la energía hidráulica es necesario conocer en primer lugar las necesidades de agua, que las referiremos a los valores diarios medios de cada mes. Se puede distinguir entre el consumo continuo, como el abastecimiento de agua potable, tanto para las personas como para el ganado, consumos estacionales como son los debidos al riego de cultivos. Las necesidades de agua en las zonas rurales son de aproximadamente 25 a 40 litros por persona. Para el uso agrícola varía según el cultivo y las condiciones climatológicas del lugar.

1.25 Subsistema de generación

Un generador fotovoltaico consiste en conjunto de módulos, conectados en serie y/o en paralelo, que transforman la energía solar incidente en energía eléctrica. La corriente de salida de un generador es corriente continua y la potencia eléctrica máxima que puede suministrar depende fundamentalmente de la irradiación solar incidente y de la temperatura ambiente. El generador fotovoltaico se caracteriza mediante su curva I – V, que a su vez queda definida mediante los siguientes parámetros:

Voc = Voltaje de circuito abierto

Isc = Corriente de corto circuito

Pmax = Potencia máxima, (**Pmax = Vmax * Imax**)

El generador puede trabajar en cualquier punto de la curva I – V suministrando una potencia distinta para idénticas condiciones de irradiación y temperatura, impuesta por el tipo de carga eléctrica de salida.

El comportamiento de los módulos fotovoltaicos está definido por dos parámetros fundamentales: la radiación que tiene una relación lineal con la corriente generada (potencia generada), como ejemplo observaremos el siguiente modulo en donde se

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

mostrara las curvas características del panel solar, así como sus datos técnicos que se proporciona en fabricante a las condiciones de trabajos respectivas

Modelo	VLX-53
Pp	53 W
Vp	17.2 V
Ip	3.08 A
Vca	21.5 V
Icc	3.5 A
Condiciones	1000 W/m ² 25 °C

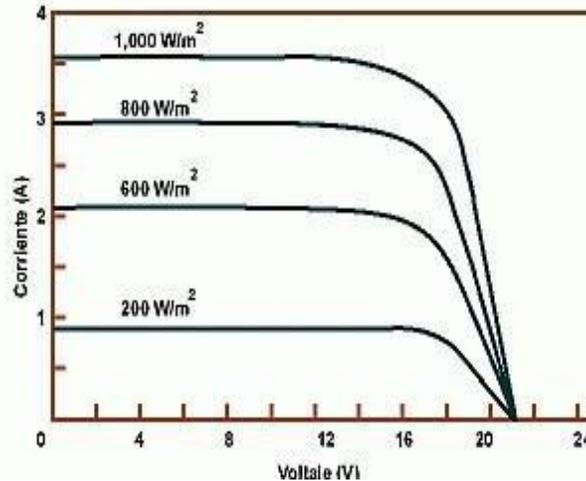


Fig. 19 (a) y (b) curvas I-V

Fuente: Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica

Para dimensionar el generador fotovoltaico consiste en determinar la potencia pico que se necesita instalar para satisfacer los consumos a lo largo de todo el año. El cálculo se hace para el mes crítico, utilizando valores medios mensuales. (Callisaya, 2013, págs. 34-37)

1.26 Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico

Para dimensionar el sistema de bombeo se parte del conocimiento de las necesidades diarias de agua que con la altura manométrica nos permitirá determinar la energía hidráulica que se necesita cada día.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Una vez que se conoce la energía hidráulica necesaria, a partir de los datos de energía solar disponible se diseña el sistema generador. Conociendo el sistema generador se elige el motor y la bomba más adecuados a su curva característica I-V, dentro del tipo que se haya seleccionado atendiendo a las características de la instalación: altura manométrica diámetro del pozo, etc. Posteriormente se determina el caudal máximo que pueda proporcionar el equipo para dimensionar el sistema de tuberías, teniendo en cuenta que las pérdidas de carga en las mismas no deben superar el 10 %. ⁴

⁴ Campusano, Luis Javier. Estudio de perfil de un sistema fotovoltaico para bombeo (2014)

Capítulo II

1. Descripción del lugar

La comunidad el jocote está situado en el departamento de Masaya, municipio de Masaya a tan solo 3 ½ km al suroeste de Masaya y 36 km del departamento de Managua, esta comunidad actualmente se abastece del vital líquido por una bomba motor de mecate. Su clima es propicio para este tipo de proyecto debido a que posee buena radiación solar en el lugar.

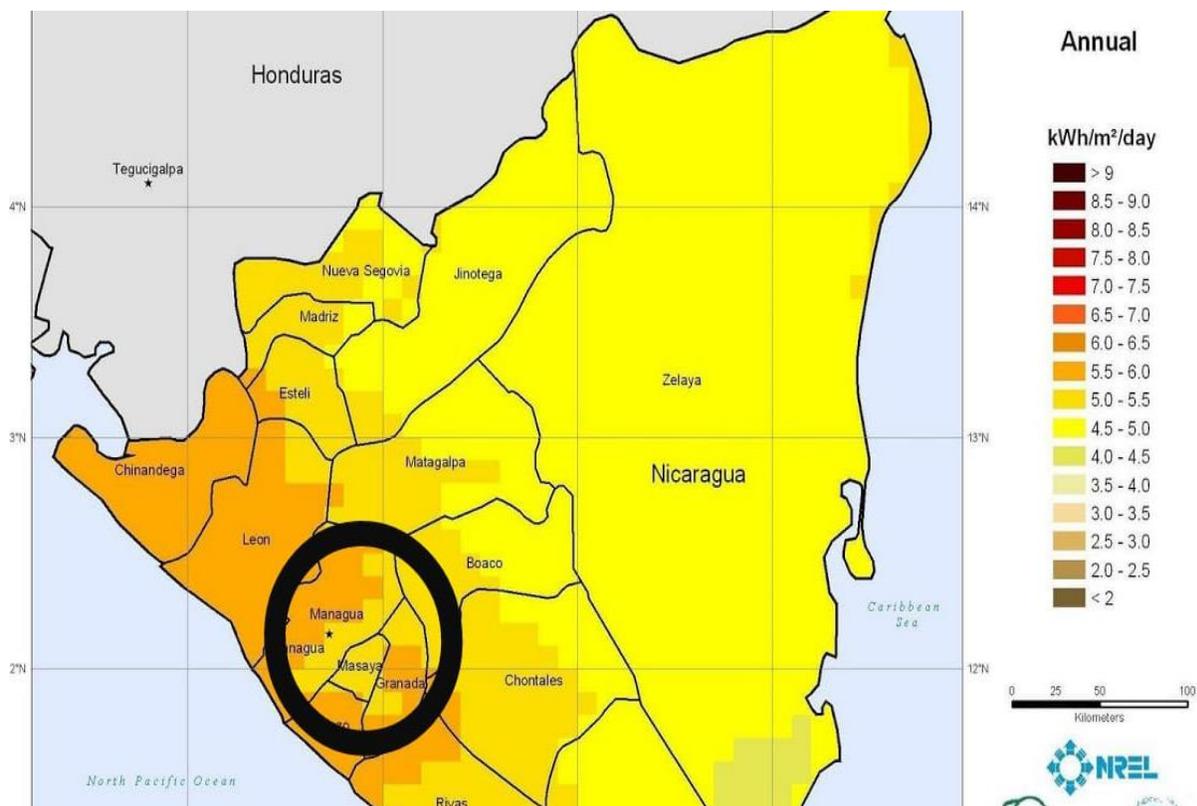


Fig. 20: Mapa solar de Nicaragua
Fuente: Fuentes de energía renovables

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

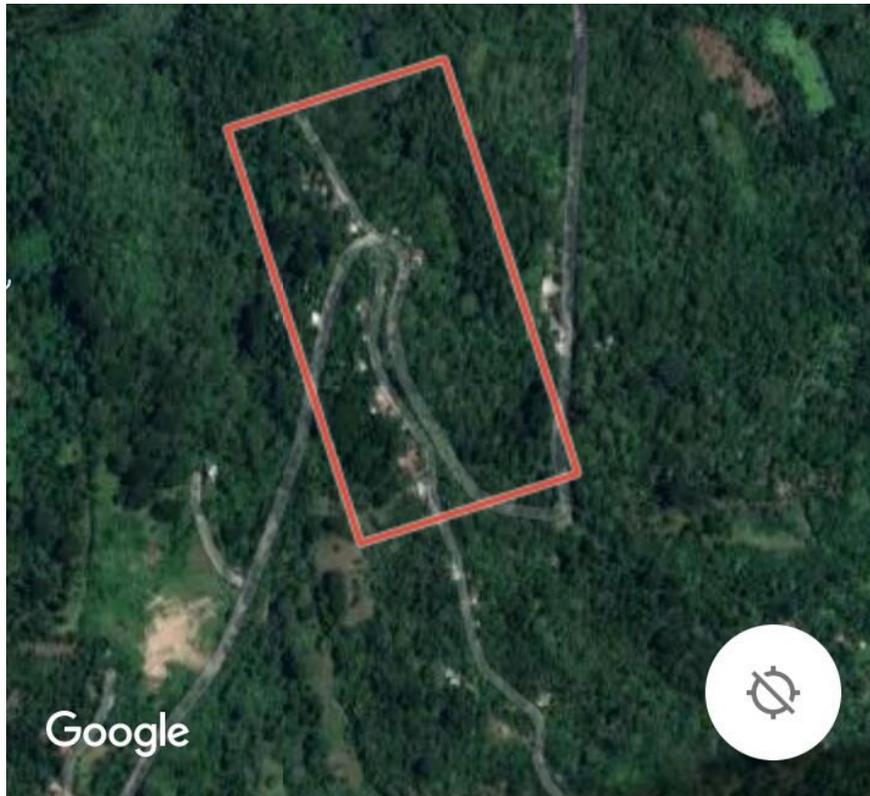


Fig. 21: Comunidad el jocote desde vista área satelital

Fuente: Google Earth



Fig. 22: Mapa de Relieve

Fuente: Google Earth

2. Dimensionamiento del sistema de Bombeo Fotovoltaico

Tomando en consideración las necesidades del proyecto de la comunidad El Jocote del municipio de Masaya. Para dimensionar el sistema de bombeo se parte del conocimiento de las necesidades diarias de agua que con la altura manométrica nos permitirá determinar la energía hidráulica que se necesita cada día, se escogió como fuente de generación de energía la fotovoltaica debido a la radiación solar que presenta la zona.

Para el dimensionamiento se tomó en cuenta la cantidad de familias, el número promedio de personas por familia y la cantidad de animales que conviven con ellos. Cabe indicar que estos datos fueron obtenidos mediante encuestas a la población de la zona, porque ellos son los que conocen las necesidades de sus cultivos, estos datos de población y cantidad de agua de riego promedio se observan en la Tabla 1.

Descripción	Cantidad
Familias	20
Personas por familia	5
Secundarios (animales de crianza)	20

Tabla 4: Datos obtenidos del lugar
Fuente: propia

La profundidad del pozo es de 65m, información otorgada por los mismos pobladores, la cantidad de agua consumida por cada especie se mostrará en la tabla 2 (pág. 47)

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Descripción	Consumo de agua (litros por día)
Personas	20
Ganado equino(Caballo, burro)	15
Ganado Vacuno	35
Ganado porcino	4
Ganado lanar (Oveja)	2
Ganado caprino (Cabra)	2
Aves de corral (gallinas)	0.1

**Tabla 5: cantidad de agua consumida
Fuente: López (2010)**

Entonces la demanda Hídrica será:

Descripción	Cantidad	Cantidad de agua por unidad en litros	Cantidad total en litros
Personas	100	20	2000
Secundarios (animales de crianza)	20	15	300
Riego a pequeñas parcelas	2	1000	2000
Cantidad de agua requerida en la población en litros (Qr)			4300

**Tabla 6: Demanda hídrica
Fuente: propia**

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Una vez que se conoce la energía hidráulica necesaria, a partir de los datos de energía solar disponible se diseña el sistema generador. Ya conocida la demanda de agua a diario,

La capacidad del pozo y las dimensiones, se procedió a realizar los cálculos para dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico.

A continuación, se presenta un esquema básico de cálculo para el diseño de instalaciones de bombeo solar.

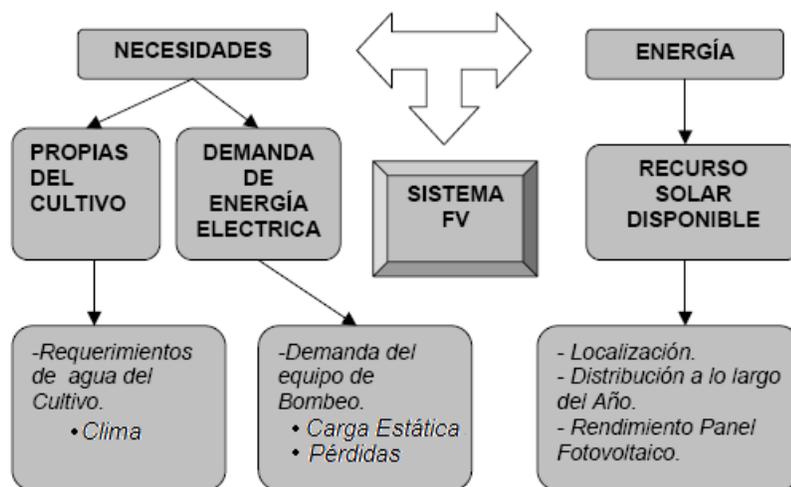


Fig.23: Esquema básico de cálculo para el diseño de instalaciones de bombeo solar

Fuente: Valdivia-Chile (2007)

Conociendo el sistema generador se elige el motor y la bomba más adecuados a su curva característica I-V, dentro del tipo que se haya seleccionado atendiendo a las características de la instalación: altura manométrica, diámetro del pozo, etc. Posteriormente se determina el caudal máximo que pueda proporcionar el equipo para dimensionar el sistema de tuberías, teniendo en cuenta que las pérdidas de carga en las mismas no deben superar el 10 %.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo solar se utiliza el método del peor mes de radiación que es en el mes de noviembre 5.0 kWh/m² día.

La insolación solar día en horas se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{\text{radiacion } \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ día}}\right)}{\text{potencia nominal } \left(\frac{kW}{m^2 \text{ día}}\right)}$$

La potencia nominal que utilizan los fabricantes de paneles es de 1 kW/m² día, por lo que la insolación será:

$$I_n = \frac{5}{1} = 5 \text{ horas día}$$

Con este dato obtenemos el régimen de bombeo que no es nada más que el caudal requerido para completar el volumen de agua necesario, bombeando en las horas de mayor insolación durante el día. Este valor se obtiene por la siguiente formula:

$$R_{\text{bom}} = V_r / I_n$$

2.1 Cálculo del régimen de bombeo

Dónde:

R_{bom} = Es régimen de bombeo en m³/día

V_r = Volumen de agua requerida en m³

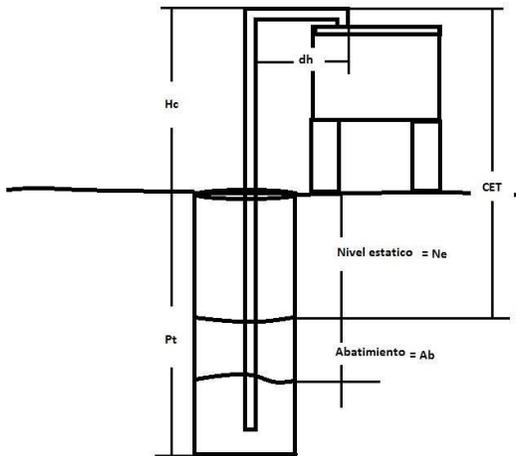
I_n = Insolación solar en h

Con los datos de requerimiento de agua obtenemos el régimen de bombeo.

$$R_{\text{bom}} = \frac{4300}{5} = 860 \text{ l/día} = 0.86 \text{ m}^3/\text{h}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Donde los datos del pozo son los siguientes:



Hc= altura de descarga
dh= distancia del tanque
Pt= profundidad total
Ne= nivel estático
Ab= abatimiento

Hc= 8.2 m, dh= 2 m, Pt= 65 m, Ne= 38.6m, Ab=18

Ahora con los datos obtenidos del pozo podemos proceder al caculo de la potencia requerida.

2.2 Cálculo de la carga estática.

Es la suma del nivel estático medido desde el nivel del suelo hasta el espejo de agua cuando no opera una bomba, más el abatimiento medido desde el nivel estático al nivel del agua cuando opera una bomba, con frecuencia este valor se obtiene con de pruebas realizadas durante el aforo, más la altura de descarga medida desde el nivel del suelo hasta el punto donde el agua es descargada.

$$\text{Carga estática (m)} = \text{Nivel estático (m)} + \text{Altura de descarga (m)} + \text{abatimiento}$$

Esto da como resultado:

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

$$CE = 38.6m + 8.2m + 18m$$

$$CE = 64.8 m$$

2.3 Cálculo del factor de pérdida en la tubería

Para hallar la fricción o factor de pérdida en la tubería se toma el coeficiente de rugosidad de materiales según la tabla, de coeficientes de Hazen - Williams (C) de acero galvanizado que es de 125 para una tubería de 2 pulgadas su diámetro interno es 48.3 mm = 0.0483 m

Material	Coficiente de Hazen-Williams
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y Latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado usado	85
PVC	140
PE	150
Plomo	130 -140
Aluminio	130

Tabla 7: coeficientes de Hazen - Williams (C)

Fuente: López (2010)

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Diámetro nominal		Espesor (mm)	Diámetro interno(mm)
pulgadas	(mm)		
1 1/3	33.9	1.00	31.9
2	50.8	1.27	48.3
2 3/4	69.9	1.27	67.3
3	76.2	1.27	73.7
3 1/2	88.9	1.27	86.4
4	101.6	1.27	99.1
5	127	1.32	124.4
6	152.4	1.47	149.5

Tabla 8: Diámetro nominal

Fuente: López (2010)

Tomando los datos y el caudal de 0.86 m³/h que requiere el sistema de bombeo se aplica la fórmula de Hazen- Williams en función del caudal.

$$fr = \left(\frac{10.679}{c^{1.852}} \right) * \left(\frac{L}{D^{4.87}} \right) * Q^{1.852}$$

Dónde:

fr= pérdida de carga en m

L=longitud de la tubería en m

D= diámetro interno de la tubería en m

Q=caudal en m³/s

C= coeficiente según material y años de uso de las tuberías de Hazen-Williams

$$L = P_t + H_c + d_h = 65 \text{ m} + 8.2 \text{ m} + 2 \text{ m} = 75.2 \text{ m}$$

$$Q = 0.76 \frac{m^3}{h} = 2 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Reemplazando tenemos:

$$fr = \left(\frac{10.679}{125^{1.852}} \right) * \left(\frac{75.2}{0.0483^{4.87}} \right) * Q^{1.852}$$

$$fr = \left(\frac{10.679}{125^{1.852}} \right) * \left(\frac{75.2}{0.0483^{4.87}} \right) * 2 \times 10^{-4} 1.852$$

$$Fr = 0.038 \text{ m}$$

2.4 Cálculo de carga dinámica

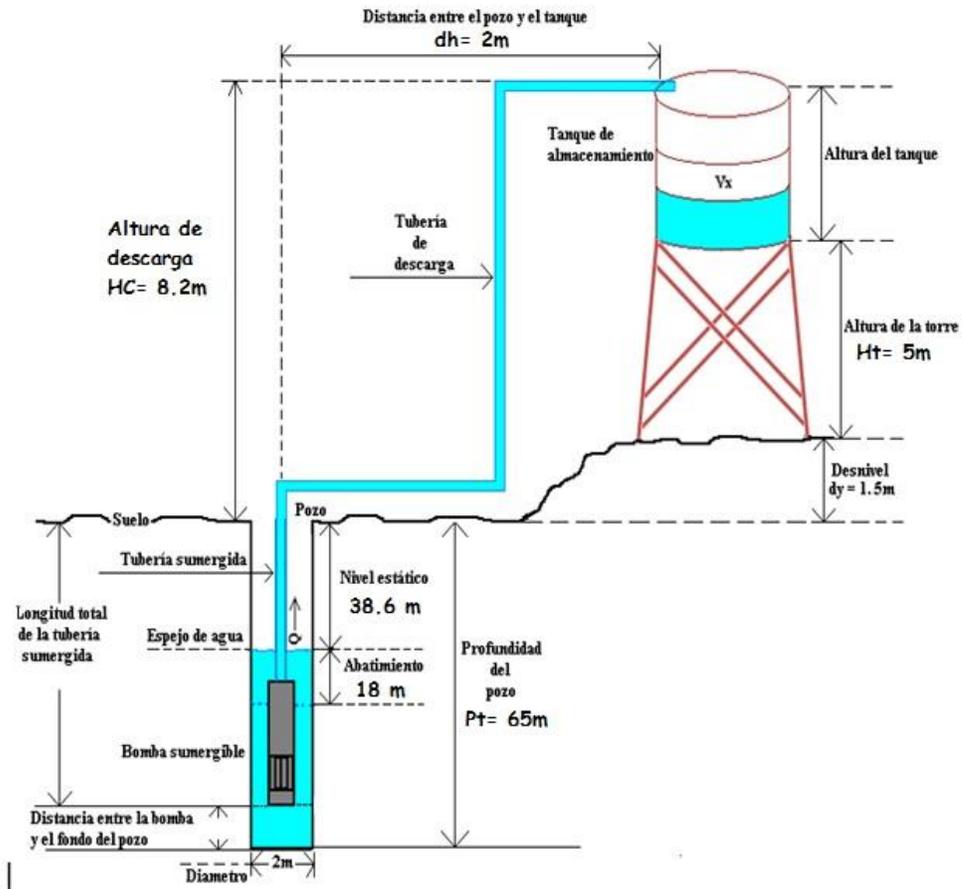
Una vez determinado la fricción procedemos a calcular la carga dinámica:

$$CD = \text{Abatimiento} + fr = 18 \text{ m} + 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$CD = 18.03 \text{ m}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Fig. 24: Medidas de los componentes hidráulicos para calcular la CDT



Fuente: propia

2.5 Cálculo de la carga dinámica total

Entonces la carga **dinámica total** es:

$$HT = CE + CD = 64.8\text{ m} + 18.03\text{ m}$$

$$HT = 82.83\text{ m}$$

2.6 Cálculo de energía eléctrica requerida

Ahora obtenido HT podemos proseguir con el cálculo de la energía eléctrica requerida

Dónde: $Qr = 4.3 \text{ m}^3$

Entonces la energía requerida para poder satisfacer la demanda de agua es:

$$E = 2.725 * \left(\frac{(82.83 * Qr)}{\eta} \right) = 2.725 * \left(\frac{82.83 * 4.3}{0.7 * 0.5} \right)$$

$$E = 2773.0 \text{ Wh} = 2.77 \text{ kWh}$$

2.7 Cálculo de la potencia de la bomba

Con este valor obtenemos la potencia eléctrica de la bomba de agua:

$$P = \frac{E}{In} = \frac{2.77 \text{ kWh}}{5 \text{ kWh}}$$

$$P = 0.55 \text{ kWh} = 1.3 \text{ hp}$$

Entonces la bomba necesaria debe tener las siguientes características:

$P = 0.55 \text{ kW}$, $HT = 64.83 \text{ m}$, $n = 0.7$, $R_{bom} = 0.86 \text{ m}^3/\text{h}$, $V = 12 \text{ V}$

2.8 Evaluación de potencia requerida por el sistema de bombeo solar.

Para la potencia real requerida del sistema de bombeo, con los datos obtenidos teóricamente verificamos las bombas disponibles dentro de nuestro mercado y verificar que cada una tenga un rango óptimo de operación.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Realizando un sondeo de las bombas de agua dentro de nuestro mercado se escoge el modelo 4HS 02/02H MPde la marca NASTEC.

Descripción	Requerimiento	4HS MP series
Potencia	0.55 kWh = 1.3hp	1.3 kWh
Altura de descarga	65 m	20-100(m)
Rendimiento	70%	95%
Régimen de bombeo	0.8 m ³ /h	0.5 – 3 m ³ /h

Tabla 9: Dimensionamiento del sistema Motor – Bomba

Fuente: propia

En esta comparación podemos observar una diferencia en donde vemos que se reduce la potencia, se obtiene un mejor rendimiento, y mayor caudal, debido a que con la mejora de la tecnología se ha aumentado la cantidad de impulsores a las bombas de agua y también se ha mejorado en la construcción del motor DC, ya que este no cuenta con escobillas.

4H 02/02H MP	
Max current	13 A (100 VCD) 13 A (100 VCA)
Power factor	1
Max power p1	1300 W
Lenght	1350 mm
Discharge	1 ¼”
Pump Weight	19,5 Kg
Max diameter	99 mm
Packing dimensions	120 x 20 x 29 cm
Total weight	20,5 kg

Tabla 10: Características generales de la bomba

Fuente: propia

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

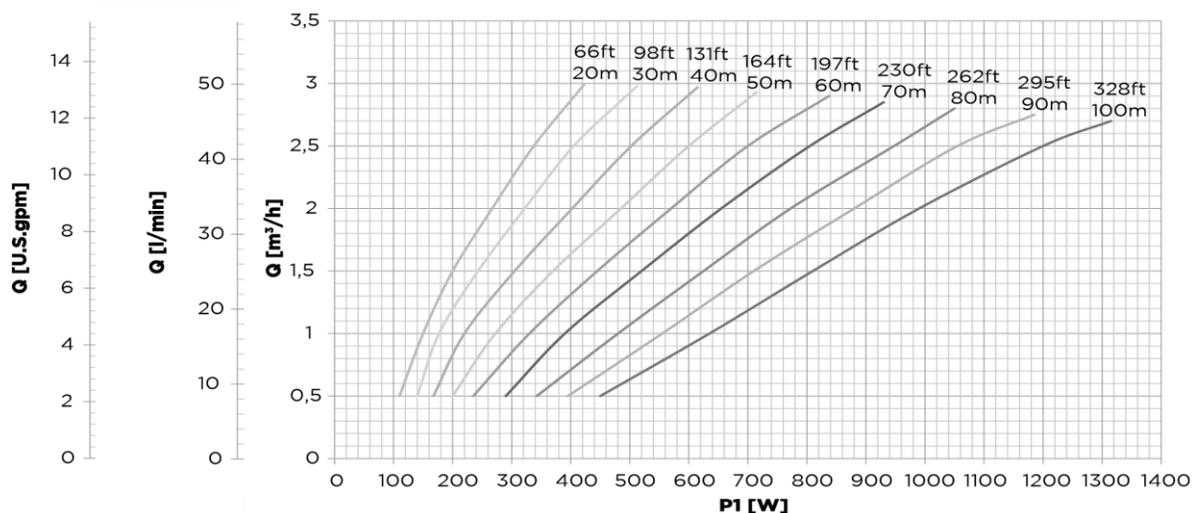


Fig. 25: curva característica de la bomba

Fuente: Nastec

Con los datos adquiridos se seleccionó el modelo de bomba mencionado y tomamos la potencia nominal de 1.3 kW para dimensionar el sistema de paneles fotovoltaicos para la alimentación del mismo. Viendo la necesidad de alimentar el sistema de control de carga de batería e iluminación nocturna y el control de la planta de bombeo, se determina la energía eléctrica adicional requerida que es la siguiente:

Ítem	Equipo	Cantidad	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Horas de uso	Energía (Wh)
1	Controlador	1	1.5	12	18	24	432
2	Lámparas	4	10	12	100	12	1200
Energía Total (Ea)							1632

Tabla 11: Energía requerida

Fuente: propia

2.9 Cálculo del panel fotovoltaico

Para el cálculo del número de paneles fotovoltaicos primero calculamos la energía total requerida. La energía requerida se calcula multiplicando la potencia de la bomba, por las horas de radiación solar pico de insolación para este caso es de 5 horas. Entonces la energía requerida por el sistema será:

$$Et = Pbom * In + Ea = 1300 * 5 + 1632$$

$$Et = 8132 Wh = 8.13 kWh$$

Entonces con los datos obtenidos tenemos que la potencia requerida es:

$$Pr = \frac{Et}{In * 0.8} = \frac{8.13}{5 * 0.8}$$

$$Pr = 2.03 kW$$

Teniendo esta potencia requerida podemos obtener la cantidad de paneles necesarios para este sistema, tomando en cuenta las potencias de los paneles comerciales son de 50W, 63W, 100W, 120W, 150W y 200W, entonces para cada parte del sistema separaremos la alimentación para cada uno, ósea independiente el de control e iluminación y para alimentar la bomba. Para este los 2 casos tomaremos los paneles de 120 W entonces la cantidad de paneles necesarios es:

Para la bomba:

$$Np = \frac{Pr}{Ppanel} = \frac{1300}{120} = 10.02 \cong 10 \text{ paneles para la bomba}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Para la energía eléctrica adicional:

$$Pr = \frac{1632}{5 * 0.8}$$

$$Pr = 408 Wh$$

$$Np = \frac{Pr}{P_{panel}} = \frac{408}{120} = 3.5 \cong 4 \text{ paneles para la energia electrica adicional}$$

Entonces con la cantidad de paneles se determinar la conexión para logra la cantidad de voltaje requerido por la bomba, para este caso varia de 72 a 96V de corriente continua, con el cual puede operar la bomba de agua, descrito por el fabricante. Las características del panel son las siguientes: Panel marca Bp solar modelo BP MSX 120 Mono cristalino.

Especificaciones:

- Voltaje en circuito abierto (Voc) 22.3V
- Voltaje óptimo de operación (Vmp) 18.0V
- Corriente de corto circuito (Isc) 7.27A
- Corriente óptimo de operación (Imp) 6.67A
- Potencia máxima en condiciones estándar * (Pmáx) 120Wp
- Temperatura de operación -45°C a 85°C
- Tolerancia de potencia +/- 5%
- Voltaje Nominal 12V
- Voltaje Máximo del Sistema 600V
- Eficiencia del Módulo 20.0%
- Condiciones estándar radiación 1000 W/m2, temperatura 25 °C, espectro solar AM = 1.5

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Por lo requerido con 10 paneles en serie podemos obtener el voltaje y corriente necesaria para alimentar la bomba de agua.

$$V_{\text{sistema}} = \text{numero de paneles} * \text{voltaje nominal del panel}$$

$$V_{\text{sistema}} = 10 * 12 = 120 \text{ VDC}$$

El voltaje de 120 VDC será aplicado para la bomba de agua y la disposición del arreglo de los paneles se observa en el Grafico. Entonces la distribución se ve en el siguiente diagrama:

Diagrama para la energía adicional:

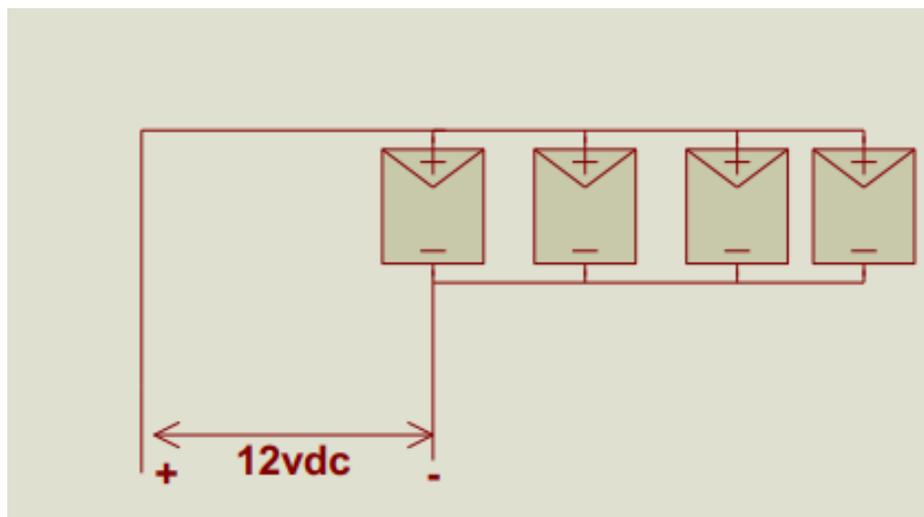


Fig. 26: Disposición de paneles para la energía adicional

Fuente: propia

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Diagrama de disposición de paneles para la bomba

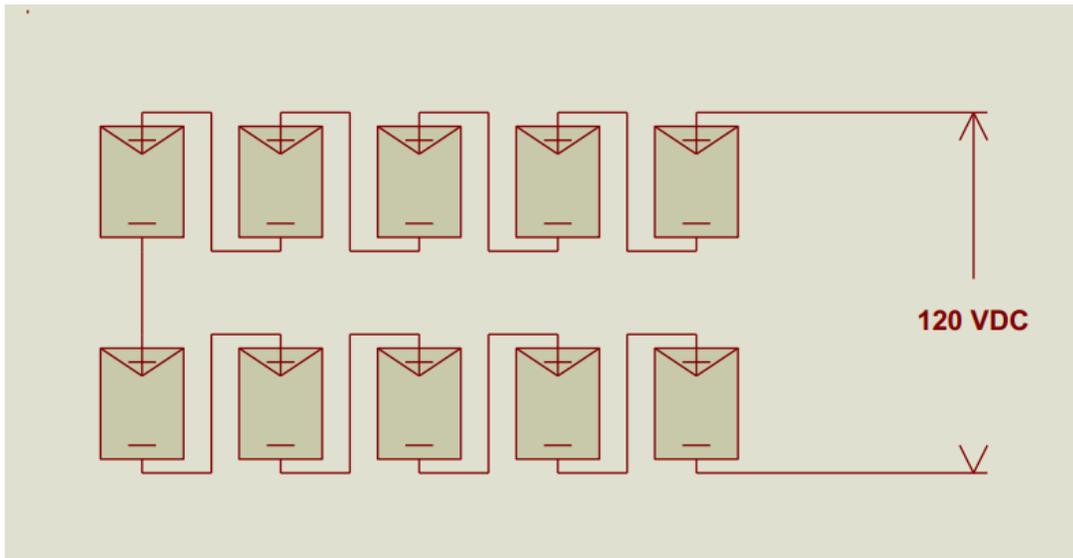


Fig. 27: Disposición de paneles para la bomba

Fuente: propia

2.10 Cálculo de la batería

Determinación de la capacidad del banco de baterías tomando 14 horas de funcionamiento que sería igual a 0.6 días:

$$C_B = \frac{E_{dr} * D_{aut}}{P_{des} * correct\ temp * correct\ P_{des}}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Datos:

C_B = capacidad de la bacteria en Wh

E_{dr} = energía diaria en Wh/día

D_{aut} = días de autonomía

P_{des} = profundidad de descarga 0.5

Correc temp= factor de corrección por temperatura igual a 0.95

Correc P_{des} = factor de corrección de profundidad de descarga igual a 0.9

Entonces sustituyendo valores:

$$C_B = \frac{408 \text{ Wh} * 0.6}{0.5 * 0.95 * 0.9}$$

$$C_B = 572.63 \text{ Wh}$$

Entonces la capacidad en amperios hora (Ah) será:

$$Ah = \frac{C_B}{\text{Voltaje}} = \frac{572.63 \text{ Wh}}{12 \text{ v}}$$

$$Ah = 47.71$$

Entonces calculamos el número de baterías para este sistema ya que se tomó la energía adicional requerida

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Escogiendo una batería accesible en el mercado tenemos:

CARACTERÍSTICAS GAMA SOLAR						
Modelo	Tensión nominal	Capacidad (Ah)			Medidas (mm) ancho x fondo x alto	Peso Kg
	Vcc	Ah/C ₁₀	Ah/C ₂₀	Ah/C ₁₀₀		
S12/6.6 S	12	5,1	5,7	6,6	151 x 65 x 98	2,6
S12/17 G5	12	14,3	15	17	181 x 76 x 167	6,1
S12/27 G5	12	23,5	24	27	167 x 176 x 126	9,7
S12/32 G6	12	27,0	28	32	197 x 132 x 184	11,2
S12/41 A	12	34,0	38	41	210 x 175 x 175	14,8
S12/60 A	12	47,5	50	60	261 x 136 x 230	19,0
S12/85 A	12	74,0	76	85	353 x 175 x 190	27,3
S12/90 A	12	78,0	84	90	330 x 171 x 236	31,3
S12/130 A	12	104,5	110	130	286 x 269 x 230	39,8
S12/230 A	12	190,0	200	230	518 x 274 x 238	70,0

Tabla 12. Modelos de baterías

Fuente: Global Bat

Entonces por Tablas se tiene el modelo (S12/60 A) cuyas características se ve en la Tabla 8.

Con este valor se determinar cuántas baterías se disponen en paralelo.

$$Bat. \text{ paralelo} = \frac{Ah/Dia \text{ prom} \times (Dias \text{ de Autonomia} / profundidad \text{ de descarga})}{Capacidad \text{ de Baterias en Ah}}$$

Donde:

Los días de autonomía son generalmente 3.

La profundidad de descarga es el 50% en todas las baterías.

Se sugieren baterías con capacidad de 105 Ah.

$$Bat. \text{ paralelo} = \frac{47.71Ah \times (3 / 0.5)}{105 Ah} = 3$$

En este caso se conectarán 3 baterías en paralelo.

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Para obtener las baterías en serie se toma en cuenta el voltaje del sistema que es de 12V y el voltaje de la batería que tentativamente se escogieron de 12V.

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de batería}}$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{12V}{12V} = 1$$

En resumen, se usarán 4 baterías de 12V, 105 Ah, para almacenar la energía solar.

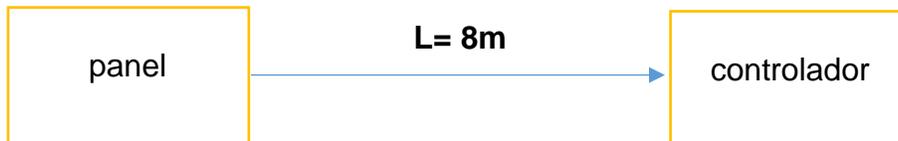
2.11 Cálculo de los conductores

La caída de tensión en porcentaje es:

3% del panel al controlador

1% entre la batería y para los cables de control (sensores)

a)



La potencia de 1.3 kW de la bomba de agua y un voltaje de 96 VDC, la corriente es:

$$I = \frac{1300}{96} = 13.54 A$$

Entonces la sección del conductor es:

$$S = \frac{2 * L * I}{p * e}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Donde:

S: es la sección del conductor en mm²

L: longitud del conductor en m

I intensidad de corriente en A

P: conductividad del cobre 56m/Ωmm²

e: caída de tensión en V

Ahora calculando tenemos:

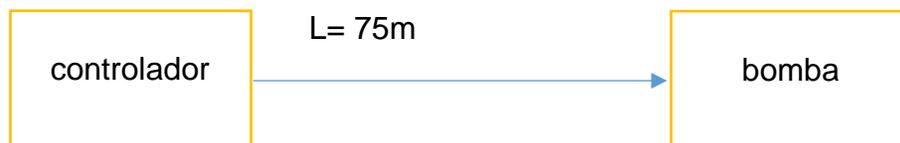
La caída de tensión es de 3% de 96 V igual a 2.88 V

$$S = \frac{2 * 8 * 13.54}{56 * 2.88}$$

$$S = 1.34 \text{ mm}^2$$

Según Tabla AWG tenemos el número 15 AWG porque tiene 1.65 mm²

b)



La caída de tensión es de 3% de 96 V igual a 2.88 V

$$S = \frac{2 * 75 * 13.54}{56 * 2.88}$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

$$S = 12.59 \text{ mm}^2$$

Según Tabla AWG tenemos el número 6 AWG porque tiene 13.30 mm²

c) Del sistema control a la Carga adicional



La potencia por luminaria es 25 W

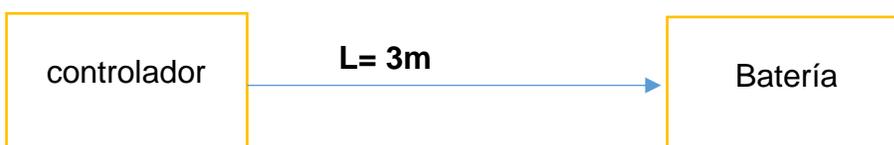
$$I = \frac{25}{12} = 2.08 \text{ A}$$

La caída de tensión es de 3% de 12 V igual a 0.36V

$$S = \frac{2 * 10 * 2.08}{56 * 0.36}$$
$$S = 2.06 \text{ mm}^2$$

Según Tabla AWG tenemos el número 14 AWG porque tiene 2.08 mm²

d) Del controlador a la batería



"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

La potencia 408 W

$$I = \frac{408}{12} = 34A$$

La caída de tensión es de 1% de 12 V igual a 0.12V

$$S = \frac{2 * 3 * 34}{56 * 0.12}$$
$$S = 30.35 \text{ mm}^2$$

Según Tabla AWG tenemos el número 3 AWG, pero este tiene 26.67 mm² optimizando el sistema se utilizará el cable 2 AWG

2.12 Dimensionamiento de tanque

Para el dimensionamiento del tanque de agua, tomaremos en cuenta la cantidad de agua requerida que es de 4.3 m³, pero como es mejor almacenar agua que energía eléctrica, el tanque debe tener capacidad de almacenar una cantidad para 3 días de independencia.

Entonces la capacidad del tanque será:

$$V_{tan} = 4.3 \text{ m}^3 * 3 \text{ dias}$$

$$V_{tan} = 12.9 \text{ m}^3$$

Determinando el peso que debe soportar la estructura será. Tomando la densidad del agua de 1000kg/m³

$$\text{peso especifico}_0 = \text{densidad del agua} * \text{volumen requerido}$$

$$\text{peso especifico}_0 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 12.9 \text{ m}^3$$

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

$$\text{peso específico}_0 = 12,900 \text{ Kg} = 12.9 \text{ toneladas}$$

El tanque propuesto es de la empresa nacional La Casa del Tanque, tiene una altura de 3.4m, un diámetro de 3m, una capacidad de almacenamiento de agua de 20 m³ y el material es de plástico.

Fig. 28: Tanque para almacenamiento de agua

Fuente: La casa del tanque



Capítulo III

3.1 Diagramas y esquemas del sistema

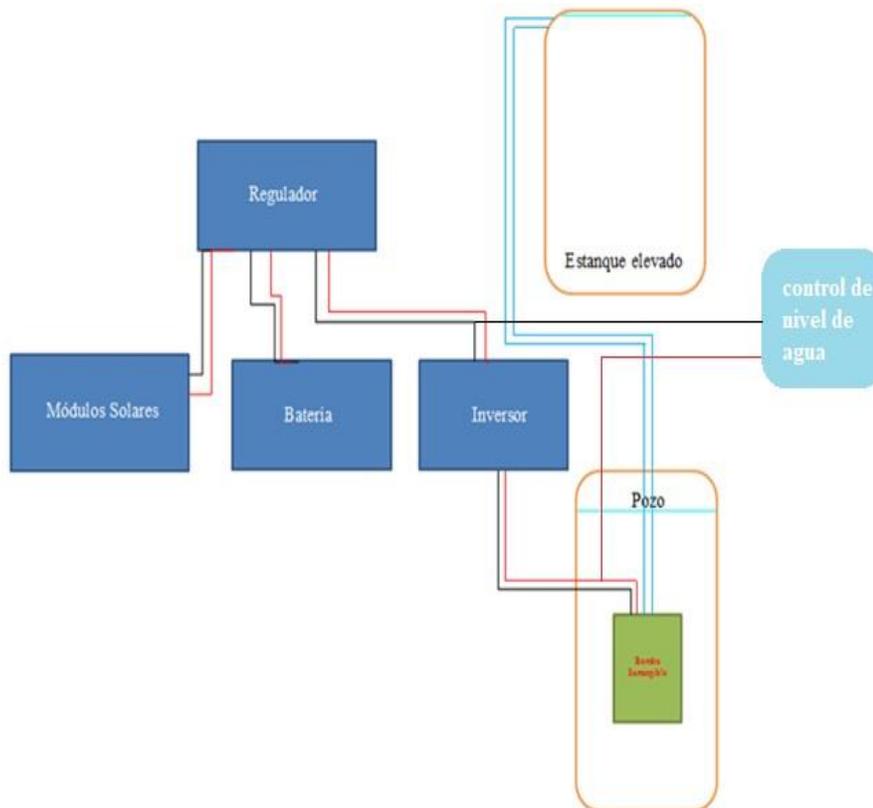


Diagrama 29: Diagrama de bloque del sistema FV

Fuente: Sistemas solares (2012)

El sistema está diseñado en 3 Etapas: Captación y conversión de la energía solar donde los componentes correspondientes a esta etapa son los módulos solares, encargados de captar y transformar la energía solar en eléctrica para alimentar la bomba a lo largo del periodo de insolación, y el controlador solar encargado de

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

optimizar la potencia de entrada de la bomba, el bombeo que en esta etapa corresponde a la bomba, que es la que se encarga de trasladar el agua para el riego del pozo al tanque y el control del volumen de agua almacenado en el tanque que es donde el controlador de nivel de agua tiene la función de controlar el volumen de agua de riego en el tanque apagando y encendiendo la bomba a lo largo de las horas de sol, de forma que al final de este periodo, el volumen de agua almacenado en el tanque.

En la actualidad la tecnología permite operar sistemas de bombeo con generadores fotovoltaicos. Las aplicaciones van desde bombeo de agua a unos pocos metros (10 a 12m) hasta de grandes profundidades (300 hasta 500m).

En esta sección, se dará a conocer los diferentes componentes que conformarán el sistema de bombeo fotovoltaico, en donde se describirán, cada uno de los elementos que configuran este sistema. La siguiente figura muestra una configuración típica de bombeo FV, para dar una idea de los elementos que interfieren en dicho sistema.

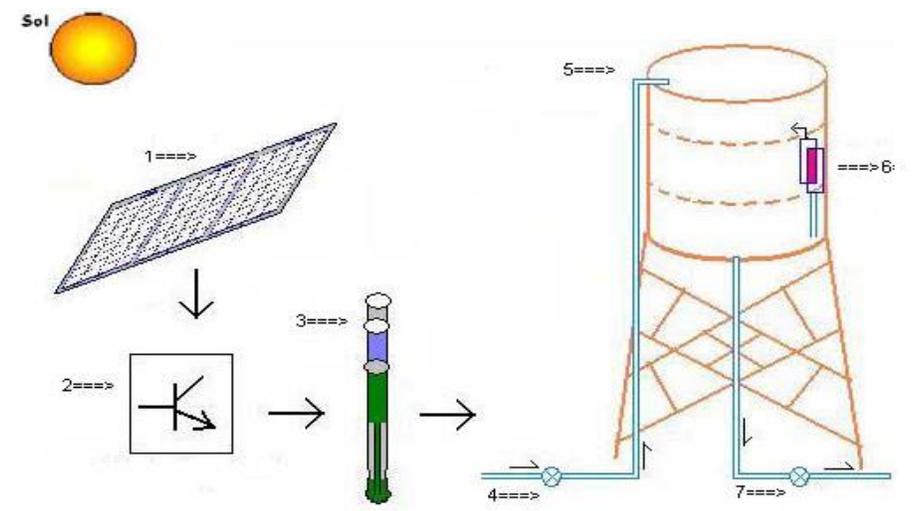


Fig. 30: Configuración típica de un sistema de bombeo fotovoltaico

Fuente: Molina M. & Escobar M. (2009)

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

1. Paneles fotovoltaicos
2. Controlador
3. Bomba solar
4. Válvula de retención
5. Tanque de almacenamiento
6. Control de nivel de agua
7. Válvula de compuerta

Paneles solares

Es el corazón del sistema, si éste falla no podrán funcionar de manera correcta ninguno de los otros componentes, por lo que no se podrá hacer llegar energía al resto de los consumidores (Barrau, 2010). Está compuesto por celdas individuales conectadas en serie. Este tipo de conexión permite adicionar tensiones (voltajes). La tensión nominal del módulo será igual al producto del número de celdas que lo componen por la tensión de cada celda (aprox. 0,5 Volts).

La capacidad de generación de corriente eléctrica de los módulos depende de la radiación solar. La conexión entre paneles puede ser en serie para aumentar el voltaje y paralelo para aumentar la corriente.

Regulador de carga

Este dispositivo electrónico mantiene la potencia de entrada de la bomba en un valor continuo, en caso de que los niveles de producción sean bajos. Los reguladores para aplicaciones de bombeo solar incluyen la función Punto de Máxima potencia Tracker (MPPT) que controla continuamente la energía solar disponible para garantizar la potencia máxima de entrada a la bomba.

Válvula de retención

Su función esencial es impedir el paso del fluido en una dirección determinada, y no retorno (retén). Mientras el sentido del fluido es el correcto, la válvula de retención se mantiene abierta, cuando el fluido pierde velocidad o presión, la válvula de retención tiende a cerrarse, evitando así el retroceso del fluido. La diferencia de presiones entre la entrada y la salida hace que la válvula esté abierta o cerrada.



Fig.31: Válvula de retención

Fuente: 2010, Valvret

Tanque de almacenamiento

Almacena el volumen de agua de salida de la bomba y suministra el vital líquido. En los sistemas de bombeo fotovoltaico debido a su naturaleza se debe almacenar la energía sobrante, para poder cubrir las necesidades cuando la disponibilidad del recurso solar sea insuficiente. Almacenar agua en tanques de almacenamiento es mucho más barato que la utilización de baterías.

El uso de baterías se justifica más cuando se requiere de bombear agua durante la noche, además, la introducción de baterías en un sistema de bombeo FV podría reducir su confiabilidad e incrementar sus requerimientos de mantenimiento.



Fig.32: Tanque industrial

Fuente: <http://www.efusionsa.com/index.php>

Control de nivel de agua

Son dispositivos o estructuras hidráulicas cuya finalidad es la de garantizar el nivel del agua en un rango de variación preestablecido, los controles del nivel máximo del agua en un tanque de almacenamiento tienen la doble función de garantizar la seguridad de las estructuras y de evitar el desperdicio de agua.

El control del nivel máximo se hace mediante un sensor de nivel conectado en alguna forma, ya sea mecánica o electrónica con la operación de una válvula a la entrada del tanque. Como todo mecanismo siempre puede fallar en el momento de su operación, es importante que el tanque disponga de un sistema de seguridad de funcionamiento totalmente automático como por ejemplo un vertedero libre, eventualmente conectado con una alarma.

El control del nivel mínimo del agua tiene la función de garantizar el buen funcionamiento del sistema evitando la entrada de aire en la tubería que se encuentra aguas abajo del tanque, como por ejemplo en la red de distribución de agua, o en la succión de la o las bombas. En este caso también el sistema está

compuesto por un sensor de nivel conectado a una alarma, para que el operador intervenga, o en sistemas más sofisticados, el sensor actúa directamente, para aumentar la entrada de agua al tanque.



Fig. 33: Controlador de nivel de agua
Fuente: Sunisolar

Válvulas de compuerta

Es una válvula que abre mediante el levantamiento de una compuerta o cuchilla (la cuál puede ser redonda o rectangular) permitiendo así el paso del fluido. Lo que distingue a las válvulas de este tipo es el sello, el cual se hace mediante el asiento del disco en dos áreas distribuidas en los contornos de ambas caras del disco. Las caras del disco pueden ser paralelas o en forma de cuña. Las válvulas de compuerta no son empleadas para regulación.



Fig. 34: Válvula de compuerta
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Valve.jpg>

3.2 Diagrama de Tuberías

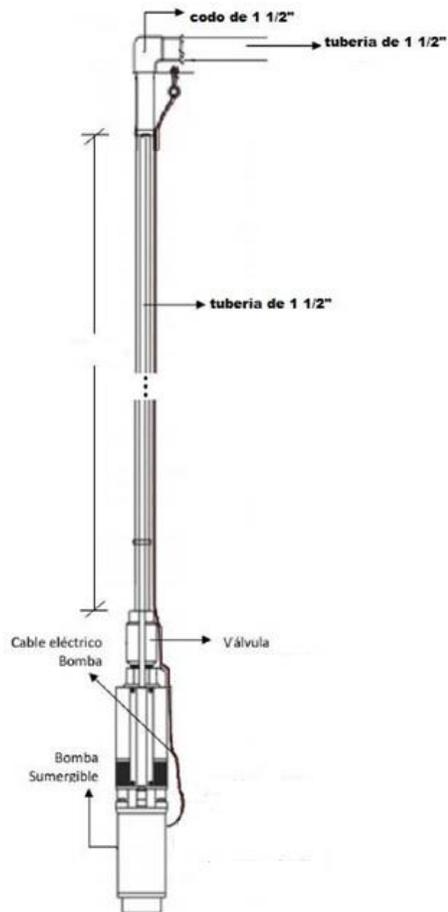


Fig. 35: Esquema de tubería de motor-bomba

Fuente: Nes.net

Los criterios fundamentales para seleccionar una tubería son:

- Coste
- Presión
- Temperatura
- Corrosión

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

En nuestro caso los criterios de temperatura y corrosión se han despreciado debido a que se proponemos utilizar tubos de acero galvanizado. No obstante, estos dos criterios son fundamentales para seleccionar el material de la tubería y su correcta selección.

Las tuberías que se propone para la conducción del agua son de acero galvanizado. El acero es un material fácil de encontrar, pero de un costo un poco elevado, pero de dura viabilidad. El conjunto de motor-bomba seleccionado lleva en su parte superior un hueco cilíndrico de 1 1/2" de diámetro que es la sección de tubería que nos obliga a utilizar para entrar a la bomba.

Para la creación de red de agua potable se determinó en el terreno la velocidad y la presión con la que el agua trabajaría al momento de estar instalado el sistema, en el diagrama se muestra el punto de partida que sería del tanque donde se almacena el agua hasta los distintos puntos de espera de la tubería domiciliar.

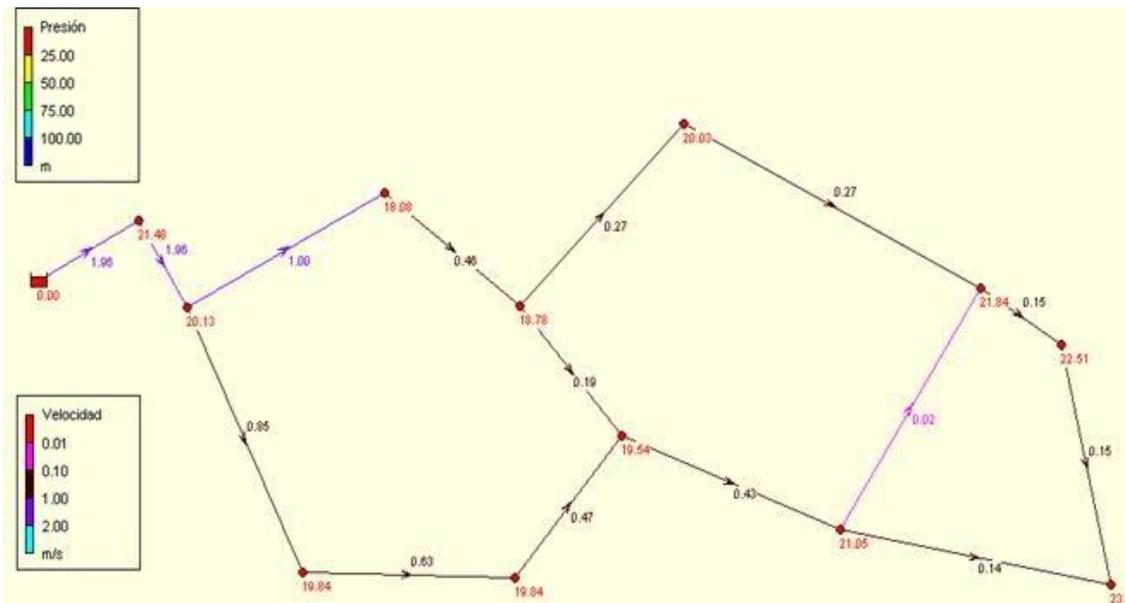


Fig. 36: Diseño de red de tubería Comunidad el Jocote, Masaya

Fuente: EPANET.net

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

En la figura se muestra como se interconectan todos los elementos que componen una red de distribución de agua potable. Con flechas azules y negras, se indica la orientación y dirección del flujo; y la magnitud de las que pasarían a ser las variables hidráulicas determinadas (Velocidad y presión del fluido).

3.3 Diagrama Eléctrico

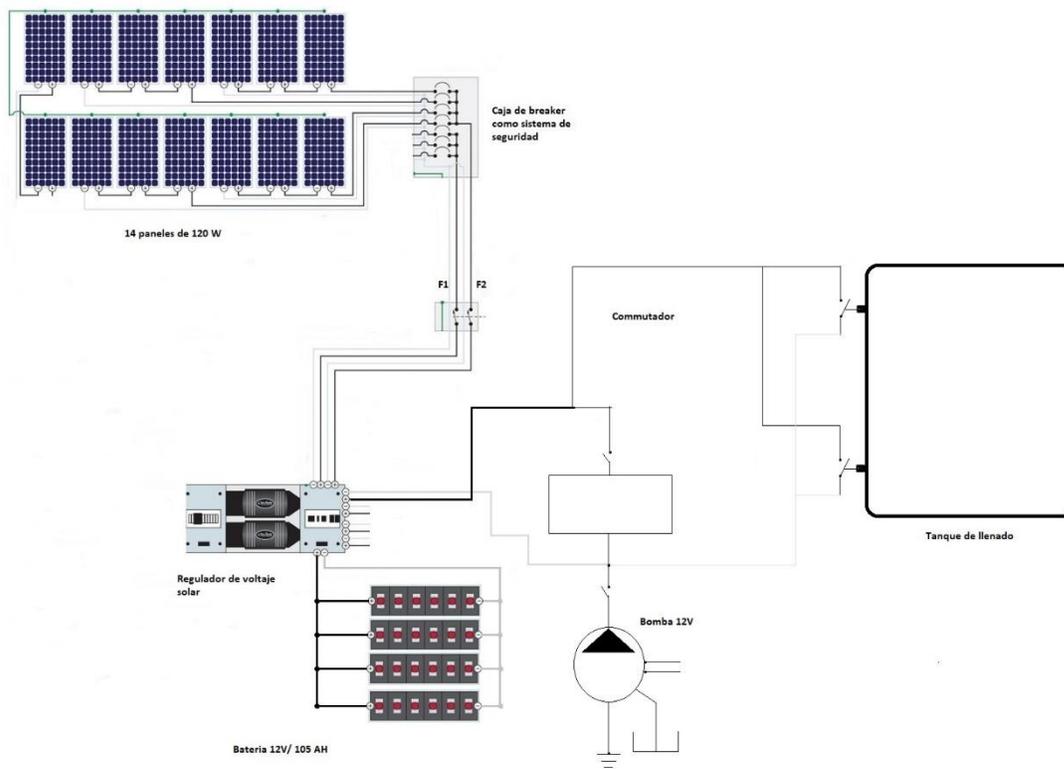


Fig.37: Esquema eléctrico del sistema de bombeo

Fuente: propia

Los paneles a utilizarse son de 120 W para generar aproximadamente 3kw de energía requerida para alimentar este sistema, cuenta con una caja de conexiones de seguridad, al conectarse al controlador de energía solar que es la que se encargara de distribuir la carga necesaria a los distintos componentes del sistema.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

El sistema cuenta con un banco de batería de 12/ 102 AH para tener carga almacenada, principalmente para los meses donde se presentan menor radiación solar que en el caso de la zona del pacifico son los meses de octubre y noviembre.

Para controlar el tiempo de funcionamiento y el tiempo inactivo de la bomba según se requiera, el controlador solar dispone de un control de nivel de agua que apaga la bomba cuando el nivel de agua en el tanque es el máximo y enciende la bomba cuando el nivel de agua en el tanque baja del nivel máximo a cierto límite.

El controlador de nivel de agua es lo que comúnmente se conoce como una boya electrónica que se coloca en el tanque de almacenamiento. Para controlar el encendido y el apagado de la bomba, la boya eléctrica hace dos pruebas de nivel de agua en el tanque a como se aprecia en la figura. Para este caso el nivel alto es cuando el tanque tiene el volumen de agua máximo, con esta prueba de nivel el controlador manda a desactivar la bomba, y el nivel bajo se estableció que es cuando el volumen de agua en el tanque baja de los 12 m³, con esta prueba de nivel el controlador manda a encender la bomba.

Prueba del nivel de agua en el tanque

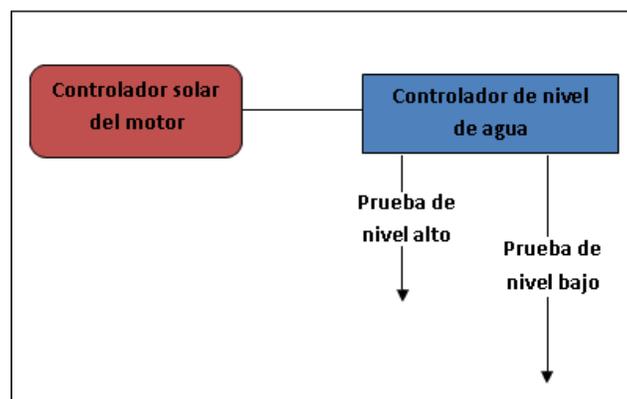


Fig. 38: Prueba del nivel de agua en el tanque
Fuente: propia

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

En la siguiente figura se ilustra el circuito electrónico del control de nivel de agua.

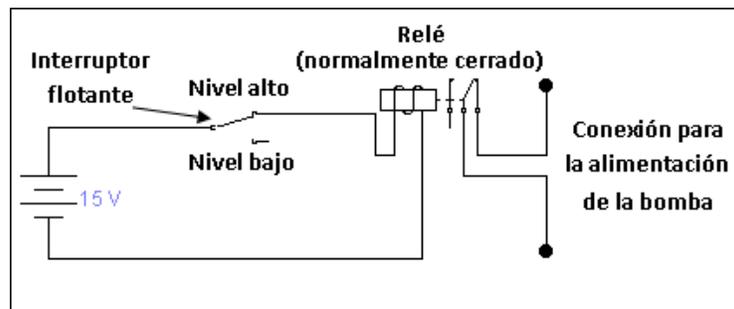


Fig. 39: Circuito electrónico del control de nivel de agua
Fuente: Propia

El interruptor flotante que cierra el circuito cuando el nivel de prueba es alto. En estas condiciones la fuente de 15v, proporcionada por el controlador solar, fuerza la apertura del relé normalmente cerrado que se encuentra en la entrada del conector de interruptor flotante del controlador solar, cortando de esta forma la alimentación de la bomba.

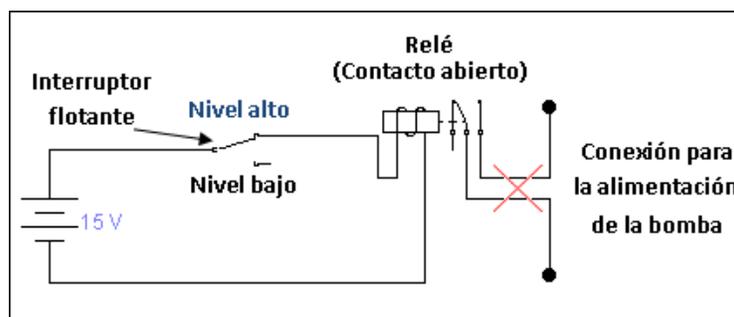


Fig. 40: Interruptor flotante cerrado, nivel de prueba alto
Fuente: Propia

Cuando el nivel de prueba es bajo, el interruptor flotante abre el circuito provocando que el relé vuelva a su estado de normalmente cerrado que permite la alimentación de la bomba.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

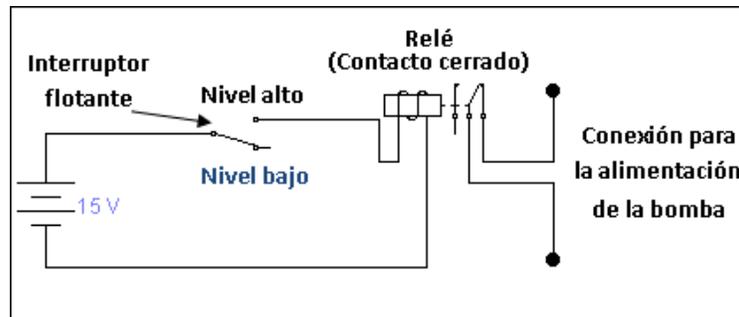


Fig. 41: Interruptor flotante abierto, nivel de prueba bajo
Fuente: Propia

3.4 Consideración del impacto ambiental de la generación de energía fotovoltaica del sistema de bombeo en La comunidad del Jocote, Masaya

Kulke, Espino y Valdez consideran que la energía generada por el sistema fotovoltaico, es limpia y renovable, contribuyendo al autoabastecimiento energético del país y es la menos nociva para el medio ambiente.

La energía solar fotovoltaica no produce efectos sobre los principales factores medioambientales, tales como:

- **Clima:** No se produce contaminación térmica ni emisiones de CO₂.
- **Suelo:** No produce contaminantes como vertidos, ni movimientos de tierra, y no causa erosión alguna.
- **Aguas superficiales y subterráneas:** No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos vertidos.

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

- **Flora y fauna:** Los efectos son completamente nulos.
- **Paisaje:** Los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.
- **Ruidos:** El sistema fotovoltaico es silencioso, lo que representa una clara ventaja sobre los generadores de motor en viviendas aisladas.
- **Espacios naturales protegidos:** La energía solar fotovoltaica representa la mejor solución para las reservas naturales y así dotarlas de energía eléctrica preservando las condiciones del entorno.
- **Medio social:** El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, este puede ser reducido por medio de la integración arquitectónica donde se puede integrar en los tejados de las viviendas y edificios.

El principal impacto ambiental de los sistemas fotovoltaicos se produce en las extracciones del silicio para la fabricación de las células fotovoltaicas que es la materia prima obtenida a partir de la arena y que es muy abundante en la naturaleza. En cuanto al uso de las cargas ambientales son despreciables y cuando cumple su vida útil, pueden establecerse para reutilización o desecho. En los medios físicos y bióticos no existen afectaciones importantes ni sobre la calidad del aire. Por tanto, las principales ventajas de sistemas conectados a red son su bajo impacto ambiental.

Conclusión:

Una vez realizado los análisis correspondientes según el tema abordado se obtuvieron los resultados de potencia eléctrica y de energía, en base a los cálculos se determinó la cantidad de paneles necesario a utilizar el cual son 14 con potencia de 120W para suministrar corriente al sistema de bombeo fotovoltaico y a la carga adicional requerida el cual es de 1.6 KVA.

Se obtuvieron resultado satisfactorio acerca las fuentes de agua disponibles en el lugar, en el cual actualmente se provee del vital líquido de un pozo con bomba de mecate, para hacer efectivo dicho resultado se realizó un censo donde se logró caracterizar la zona donde era necesario poder realizar los debidos cálculos para dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico, gracias a este instrumento se determinó la demanda de agua al día, lo cual se obtuvo un resultado de 4300 l/día.

La radiación solar y las condiciones climáticas de la región del pacifico departamento de Masaya, presentan condiciones aceptables para la instalación de sistemas fotovoltaicos, en particular para sistemas de bombeo fotovoltaico, ya que las demandas de agua incrementan con la insolación y de igual forma la producción del sistema de bombeo FV incrementa con la insolación.

La bomba que se seleccionó y se adecuo a las características que presenta el pozo, fue una bomba sumergible marca NASTEC modelo 4HS 02/02H MP. La cantidad de paneles solares que se necesitan son de 14 módulos solares de 120W, un inversor marca SAM DC/AC 3000W 120/240V este es opcional, para la realización de los cálculos de la bomba y arreglo de los módulos solares, tuvimos la ayuda de nuestro tutor y nuestro asesor como tal.

Bibliografía

1. Nassir Sapag Chain . Preparación y Evaluación de Proyectos. 2da Edición.
2. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
3. Callisaya, J. A. (2013). DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO. Bolivia.
4. Practical Action. (2017). Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica.
5. Rodríguez, D. A. (2010). ESTUDIO DE PREINVERSION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO. Jinotepe
6. Manual de Bombeo GRUNDFOS INDUSTRY
7. Guía de la Energía Solar. Dirección General de industria, energía y minas. COMUNIDAD MADRID.
8. Héctor Gasquet. Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. SOLARTRONIC S.A de CV. Morelos México.
9. http://solar.nmsu.edu/wp_guide/dim_instructions.html#top
10. Hofkes E. H. 1990 primera edición “Fuentes renovables de energía para sistemas de abastecimiento de agua”
11. Blandino S.J (2011). Diseño de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica, para una finca de cinco manzanas localizada en el viejo Chinandega.

Recomendaciones

Realizar capacitaciones de uso de estos equipos a los respectivos trabajadores que estarán a cargo de dicha planta, a fin de garantizar un correcto uso de los diferentes equipos empleados en este diseño, para que estos realicen sus funciones de manera correcta, y evitar daños en los equipos debido a la falta de experiencia del manejo del mismo.

Pasado el periodo en el que se desarrolló el trabajo, es necesario realizar un nuevo sondeo en el mercado nacional y extranjero para la obtención de nuevas y modernas tecnologías y precios actualizados.

Al realizar los cálculos se debe cerciorar tener información completa y adicional referente a la geografía de la zona y al medio que se implementaría para hacer llegar el vital líquido a los hogares

A los docentes y alumnos de la carrera de electrónica recomendamos ampliar los conocimientos acerca del funcionamiento e instalación de equipos de bombeo y energía solar fotovoltaica, ya que estas son ramas de suma importancia de la carrera, y como parte de la profesión es importante tener dominio sobre estas áreas a fin de estar capacitados para realizar instalaciones y mantenimiento de estos equipos.

Anexos

Anexo 1

Encuesta de situación socioeconómica, fuentes de agua disponibles y requisitos de consumo establecidos.

I. Datos generales del entrevistado(a).

1. Nombre y apellidos: _____

2. Edad: _____

3. Sexo:

Masculino

Femenino

II. Datos generales del lugar

4. Comunidad / Caserío _____

5. Municipio _____

6. Número de habitantes _____

7. Zona de procedencia del dueño de la casa:

a. De la misma zona..... Nombre del municipio _____

b. De otra zona del mismo municipio..... Tiempo de residir en la comunidad _____

c. De otro municipio.....

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

8. Categoría ocupacional

Empleado/Obrero	()
Jornalero/Peón	()
Cuenta propia	()
Patrón o empresario	()
Trabajador sin pago	()
Miembro de	
Cooperativa	()

9. Rama de actividad

Agricultura/Ganadería	()
Extracción de leña o madera	()
Pesca	()
Construcción	()
Manufactura (Zona Franca)	()
Minería y canteras	()
Servicios financieros	()

10. Área de Propiedad

Gobierno	()
Ente autónomo	()
Alcaldía Municipal	()
Empresa privada	()
ONG	()
Cooperativa	()

III. situación de la vivienda y servicios básicos

11. Su vivienda es:

Propia con escritura..... Propia sin escritura..... Prestada.....

Concreto y madera..... Ripio o desecho..... Otro.....

12. El título está inscrito en el libro de la propiedad:

Sí _____ No _____

13. Cuenta con servicio de agua potable: Si _____ No _____

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

14. Cuenta con sistema se alcantarillado público:

Sí _____ No _____

15. Tipo de servicio sanitario:

Retrete

Letrina

Letrina Orgánica

No cuenta con ningún tipo de servicio

IV. Fuentes de agua disponibles

16. Que tipos de fuentes de agua abastecen su zona:

Agua potable

Agua proveniente de alguna quebrada

Agua extraída de pozo manual

Agua comercializada

17. Formas de uso del agua:

Tareas domestica

Riego de parcelas

Consumo propio

Uso animal

otros

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

18. Le gustaría contar con un sistema de bombeo de agua con energía solar en su zona:

Si _____ No _____

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Anexo II

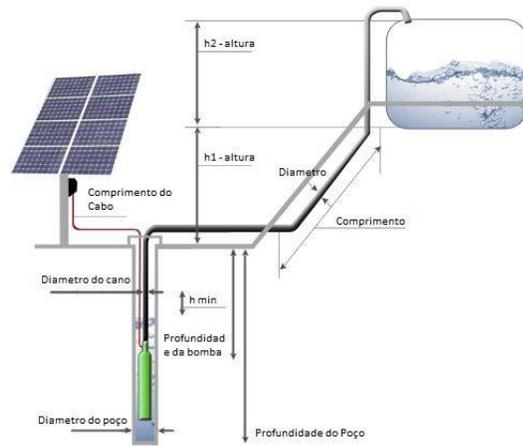


Diagrama de Sistema de bombeo fotovoltaico
Fuente: sistemas de bombeo solar



Regulador Fotovoltaico
Fuente: suni solar

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"



Kit solar
Fuente: Suni solar



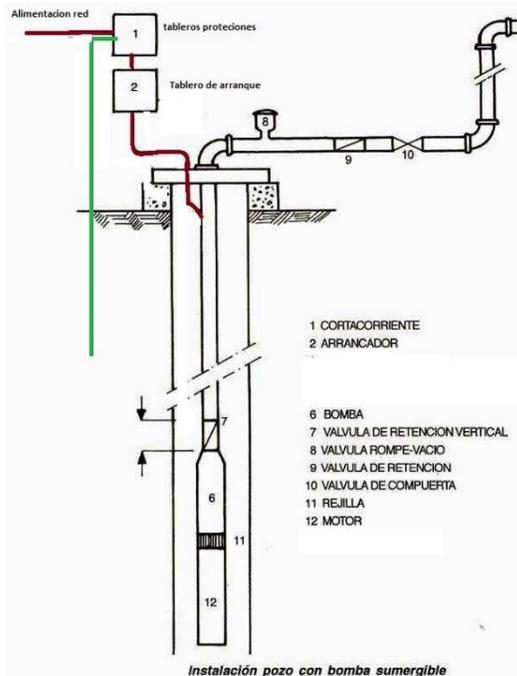
Paneles solares
Fuente: Ecami S.A



"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"



**Bomba sumergible
Fuente: Ecami SA**



**Diagrama de Bomba sumergible
Fuente: Ecami S.A**

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Anexo III

Fotos de la comunidad el Jocote



Camino hacia la comunidad el Jocote

Fuente: propia

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"



Campo donde se sitúa el pozo artesanal

Fuente: propia



Pozo donde se realizaron los debidos cálculos para la selección de la bomba

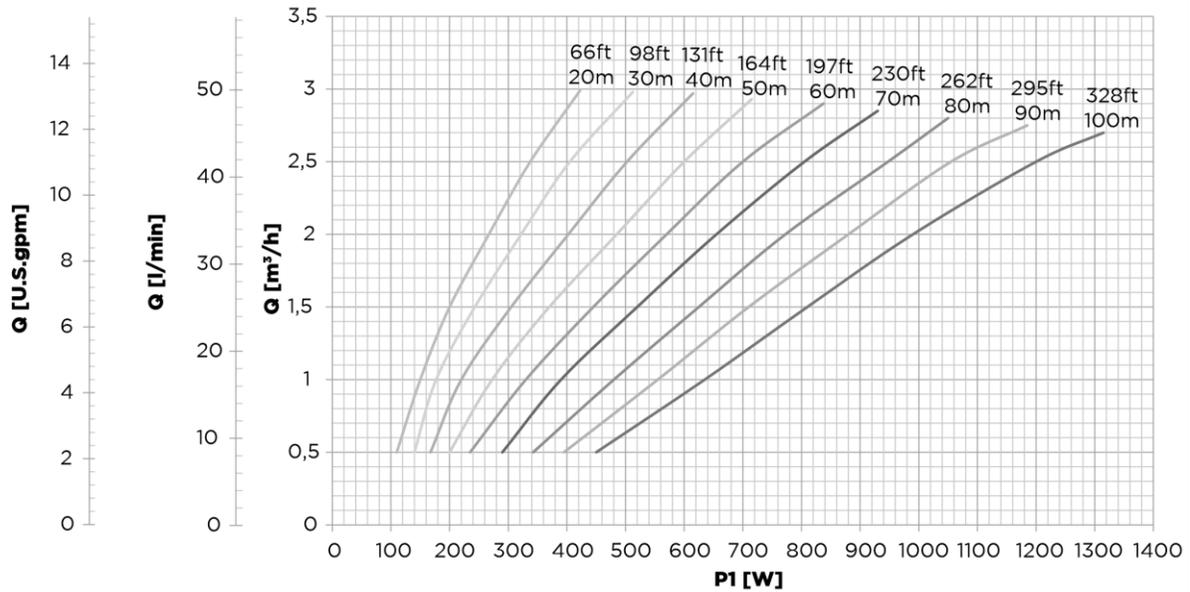
Fuente: propia

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

Anexo IV

Datos de la Bomba seleccionada por cálculos teóricos

Rendimientos
4HS 02/02H MP

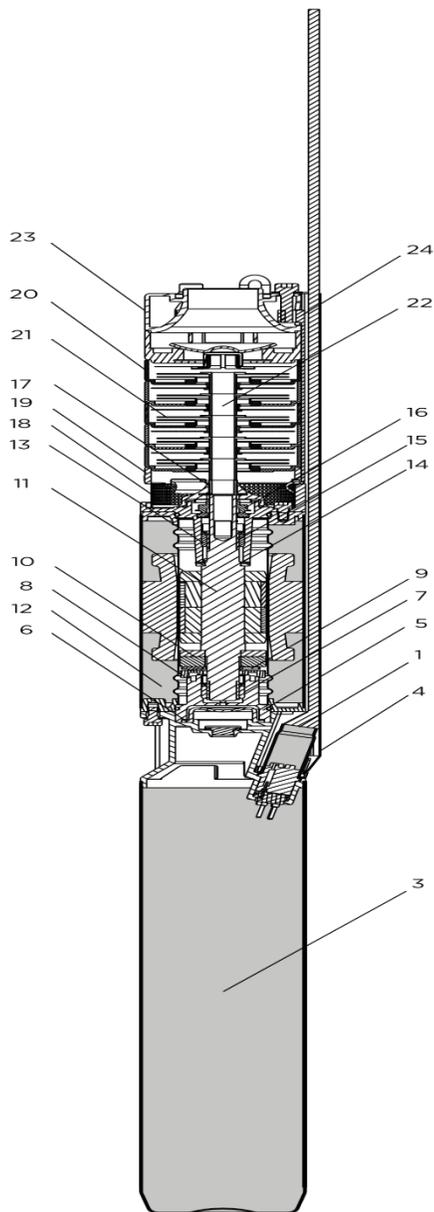


Modelo	Voltaje	Max. corriente absorbida	Factor de potencia	Max. potencia absorbida	Dimensiones	Descarga	Peso	Diametro Max.	Embalaje	Peso total
4HS		[A]		P1 [W]	[mm]		[Kg]	[mm]	[cm]	[Kg]
01/03H MP	90-400 VDC 90-265 VAC	13 (100 VDC) 13 (100 VAC)	1	1300	1385	1 1/4"	21	99 *	120x20x29	22
02/02H MP	90-400 VDC 90-265 VAC	13 (100 VDC) 13 (100 VAC)	1	1300	1350	1 1/4"	19,5	99 *	120x20x29	20,5

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"

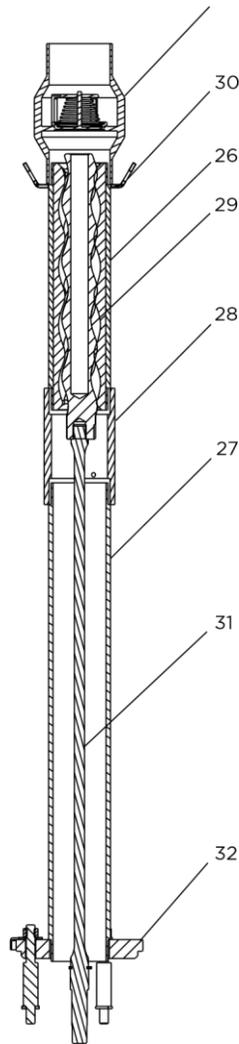
Anexo V

Materiales



Ref	Descripción	Material
1	Conector de alimentación con cable para aplicaciones de agua potable	AISI 304 + cable segun ACS-KTMWRAS
3	MINT: Módulo electrónico integrado	
4	Protector de cable	AISI 304
5	Cojinete de empuje inferior	AISI 304
6	Diafragma de goma	EPDM
7	Casquillo inferior de carbón	CTI25
8	Disco inclinable	AISI 304
9	Soportes	AISI420j
10	Disco de carbón	CTI25
11	Eje con rotor	AISI 431
12	Estátor resinado	AISI 304
13	Cojinete superior de carbón	CTI25
14	Cojinete de empuje superior	Teflon
15	Camisa cerámica	AISI 304 + Ceramic
16	Retén	FKM
17	Protector de arena	NBR
18	Filtro de bomba	AISI 304

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA"



19	Soporte de bomba	AISI 304
Bomba centrífuga		
20	Difusores	AISI 304
21	Turbinas	AISI 304
22	Eje de bomba	AISI 304
23	Cuerpo de impulsión	AISI 304
24	Tirantes	AISI 304
Rotor helicoidal		
25	Válvula antiretorno	AISI 304
26	Estátor helicoidal	EPDM + AISI 304
27	Soporte de tubo	AISI 304
28	Conector	AISI 304
29	Rotor helicoidal	AISI 316 cromed
30	Gancho de seguridad	AISI 304
31	Eje flexible	AISI 316
32	Adaptador de bomba	AISI 304

Características Generales

4H 02/02H MP	
Max current	13 A (100 VCD) 13 A (100 VCA)
Power factor	1
Max power p1	1300 W
Length	1350 mm
Discharge	1 ¼"

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

Pump Weight	19,5 Kg
Max diameter	99 mm
Packing dimensions	120 x 20 x 29 cm
Total weight	20,5 kg

Bomba 4HS MultiPower	
Temperatura máxima del líquido	35°C (92°F).
Velocidad mínima del líquido	0.2 m/s.
Características del líquido bombeado	Agua limpia y químicamente no agresiva, no volátil, sin sólidos ni fibras, con un máximo de 50 g/m3 de contenido de arena.
Grado de protección	IP68.
Profundidad máxima de inmersión	100 m
Materiales	Motor y bomba en acero INOX AISI 304.
Cable	Cable Plano ACS - WRAS - KTM aprobado.
Módulo de control CM MultiPower	
Temperatura ambiente máxima	50°C (122°F).
Grado de protección	IP55.
Materiales	Carcasa de aluminio, etiquetas en PVC, pasa cables en poliamida (PA), membrana del display en polyester (PE).
Entradas analógicas	2 entradas 4-20 mA + 2 entradas 4-20 mA o 0-10 V programables por el usuario.
Protezione di cortocircuito	mediante fusible
Certificaciones	
CE	

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

JVB-SM-120M 120w monocrystalline solar panel



- Product Model : JVB-SM-120M 120w monocrystalline solar panel
- View Count : 108
- PubTime : 2012-8-9 18:10:17

Model	JVB-SM-120M
Wp(w)	120
Arrangement	4*9
Size(L*W*H, mm)	1476*680*35
Vmp(V)	17.2
Imp(A)	7.05
Voc(V)	21.6
Isc(A)	8.4
Size of cells(wide and high)	125*125/156*156mm mono solar cells
Weight per piece	13.5kgs
Cable type and length, connector type	2.5cm ² TUV certified cable 1mlong Multi contact connector (compatible to MC type IV)
Insulation	>/=100MOhm
Voltage standoff	AC2000V, DC 3000V
Wind bearing	60m/s(200kg/sq.m)
Impact resistance hail impact test	227g steel ball fall down from 1m height
Encapsulated with toughened glass	Low iron tempered glass with thickness of 3.2mm, light transmittance above 92%
Superstrate in front	Hi-sheet RC 02B (0.45mm thick)
Backside foil	PTL3-38/75(0.17mm thick), Krempel/Germany
Tolerance Wattage	+/-3%
Temperature Range	-40degree~+85degree
Standard Test Conditions	Irradiance:1000 W/m ² temperature:25degree AM:1.5

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

ANEXO VI

PRESUPUESTO DEL SISTEMA Y BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA

PRESUPUESTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO Y BOMBEO						
Descripción	Cantidad	Precio \$	Descuento	Costo \$	T cambio	Costos C\$
Modulo solar BP MSX 120W-12v-120p-48	14	\$105.00	5%	\$99.75	C\$33.50	C\$3,341.62
Nastec bomba centrifuga sumergible 4MP 02/02 HP	1	\$1,250.00	10%	\$1,115.00	C\$33.50	C\$38,525.00
Inversor Cargador solar PVI 3KW MPPT 80A	1	\$1,100.00	0%	\$1,100.00	C\$33.50	C\$36,841.00
Batería de gel ciclo profundo 12V/105A	4	\$100.00	0%	\$100.00	C\$33.50	C\$3,350.00
Cable de acero galvanizado 2 mm2	8	\$4.00	0%	\$4.00	C\$33.50	C\$134.00
Cable de acero galvanizado 5 mm2	75	\$120.00	0%	\$12000	C\$33.50	C\$4,020.00
Cable de acero galvanizado 1.80 mm2	10	\$8.00	0%	\$8.00	C\$33.50	C\$268.00
Cable de acero galvanizado 7 mm2	8	\$10.5	0%	\$10.5	C\$33.50	C\$351.75
Caja de combinación MC4	1	\$60.00	0%	\$60.00	C\$33.50	C\$2,010.00
Fusibles AND 150 A	2	\$5.00	0%	\$5.00	C\$33.50	C\$167.50
TOTAL				\$ 2,622.25	C\$33.50	C\$87,845.38

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICO PARA UN BOMBEO DE CONSUMO DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD EL JOCOTE, MASAYA”

PRESUPUESTO DE ALMACEN DE AGUA Y ACCESORIOS						
Descripción	Cantidad	Precio \$	Descuento	Costo \$	T cambio	Costos C\$
Tanque de llenado y torre de elevación	1	\$2,200.00	5%	\$2,090.00	C\$33.50	C\$70,015.00
Rollo de manguera 80 m	1	\$60.00	0%	\$60.00	C\$33.50	C\$2,010.00
Codo 90°2"	4	\$3.00	0%	\$3.00	C\$33.50	C\$402.00
Codo 45°	1	\$5.00	0%	\$5.00	C\$33.50	C\$167.50
Válvula de retención	1	\$55.00	0%	\$55.00	C\$33.50	C\$1,842.00
Válvula esclusa totalmente abierta	1	\$24.00	0%	\$24.00	C\$33.50	C\$804.00
TOTAL				\$2,237.00	C\$33.50	C\$74,939.50

PRESUPUESTO TOTAL			
Descripción	Precio C\$	T cambio	Dólar
Presupuesto de sistema fotovoltaico y bombeo	C\$87,845.38	C\$33.50	\$ 2,622.25
Presupuesto de almacén de agua y accesorios	C\$74,939.50	C\$33.50	\$2,237.00
TOTAL	C\$162,784.88	C\$33.50	\$4,859.25